

В. В. Бессонов

**РАДИОЭЛЕКТРОНИКА
ДЛЯ НАЧИНАЮЩИХ
(и не только)**

**«СОЛОН-Р»
Москва
2001**

В. В. Бессонов

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА ДЛЯ НАЧИНАЮЩИХ (и не только)

Данной книгой автор намерен вовлечь в интереснейший мир радиоэлектроники новых юных поклонников этого творчества.

подача материала производится от простого к сложному. Использован многолетний опыт преподавания в радиокружке.

Книга рассчитана на учащихся 5—11 классов, учащихся колледжей, техникумов, студентов ВУЗов, а также на начинающих радиолюбителей.

ВНИМАНИЕ!

К книге прилагается дискета, для оказания помощи при изучении материала.



Ответственный за выпуск

Верстка

Обложка

С. Иванов

А. Виноградов

Е. Жбанов

ISBN 5-93455-112-4

© «СОЛОН-Р» 2001

© Бессонов В. В.

Введение

Книга «Радиоэлектроника для начинающих (и не только)» написана педагогом-практиком, по многолетнему опыту знающим как заинтересовать учащихся для появления у них интереса к радиоэлектронике.

Теоретический материал в книге излагается в доступной для начинающих радиолюбителей форме, для понимания физических процессов используются аналогии из механики и гидравлики, с которыми они часто встречаются в жизни.

Конструкции, рекомендуемые для самостоятельного изготовления, взяты из курса, который автор уже много лет ведет в радиокружке. Автор книги надеется, что авторы используемых в книге статей благосклонно отнесутся к такому подходу. Рекомендуемые конструкции подобраны таким образом, что каждый радиолюбитель может проверить свои знания на практике. Если в предлагаемой для изготовления конструкции радиолюбитель найдет незнакомые для себя элементы (транзисторы, микросхемы и т.д.), он может обратиться к соответствующей главе книги, где, как правило, может найти ответ на свой вопрос.

Из опыта работы с учащимися автор знает, что при появлении у ученика желания что-то изготовить своими руками, его не интересует знание об их принципе работы, конструкции, и т.д. Он хочет взять детали и начать паять. И только потом, после изготовления, его может заинтересовать принцип работы этого устройства (и самих деталей).

Книга отличается от ранее изданных тем, что:

1. изучение теории базируется, в основном, на практическом материале и принципиальных схемах устройств, предлагаемых для изготовления в изучаемой главе;

2. при изучении теоретического материала последующих глав используются не только схемы устройств данной главы, но и, что очень важно, схемы устройств и практический материал из предыдущих глав, с которыми радиолюбители уже частично знакомы и которые используются только в объеме, необходимом для изучения теоретического материала данной главы;

3. для изготовления устройств даются более широкие рекомендации по выбору и взаимозаменяемости радиодеталей не только аналогичными, но и их аналогами, что поможет выйти из затруднительного положения при отсутствии необходимых полупроводниковых приборов;

4. при изготовлении устройств на микросхемах даются рекомендации по их использованию не только по прямому назначению, но и по применению отдельных частей микросхемы. Это позволит радиолюбителю использовать микросхемы, имеющиеся в его собственности, которые, казалось, никогда не найдут применения;

5. в конце каждой главы даются полезные советы по особенностям изготовления, монтажу, настройке, взаимозаменяемости различных деталей изготавливаемых устройств, а также задачи.

Книга рассчитана на учащихся 5—11 классов, учащихся колледжей, техникумов, студентов ВУЗов, а также на начинающих радиолюбителей.

Все замечания, пожелания и отзывы о книге автор просит направлять в издательство «СОЛОН-Р» по адресу: 129337, г. Москва, а/я 5.

Глава 1

Электро- и радиотехнические материалы. Пайка и основы электрического монтажа

В этой главе приводятся краткие данные о свойствах материалов, применяемых при изготовлении радиоэлектронных устройств (РЭУ), их обработке, рассказывается об устройстве паяльника и правилах пайки. В последующих главах, где даются рекомендации по самостоятельному изготовлению различных конструкций, будут даваться ссылки на отдельные пункты этой главы, т. е. эта глава является как бы справочной для последующих глав.

1.1. МЕТАЛЛЫ

Ниже приведен перечень металлов и примеры их применения (в порядке возрастания сопротивления)

Таблица 1.1

Проводники	Типичные применения
Серебро	Контакты выключателей для электрических цепей
Медь	Электрические проводники всех типов
Алюминий	Проводники со сниженным весом
Вольфрам	Нити накала осветительных и радиоламп
Никель	Радиолампы
Олово	Припой
Сталь	В телефонных и телеграфных линиях
Свинец	Припой и пластины аккумуляторных батарей
Нихром	Нагревательные элементы, реостаты

Работа с металлами

1.1.1. Правка листового материала

Перед началом правки выпуклых мест (выпучин) их обводят мелом или карандашом, затем заготовку кладут на плиту выпуклостью вверх и начинают наносить удары в направлении от краев выпуклости к ее центру. Удары наносят частые, но не сильные. По мере приближения к центру удары должны быть слабее. Нельзя наносить удары сразу по выпуклому месту — от этого оно еще сильнее увеличится.

Полосы из мягких алюминиевых и медных сплавов лучше править (рихтовать) через прокладку из гетинакса или текстолита толщиной 1,53 мм. В этом случае ровная неповрежденная поверхность получается даже при работе обычным стальным молотком.

1.1.2. Изгибание листового металла

Приспособление для изгибания состоит из двух стальных уголков 45×45 мм и двух стальных прижимных планок. Отверстия в уголках и планках следует сверлить совместно.

1.1.3. Изгибание листового дюралюминия

Место сгиба на листе надо натереть хозяйственным мылом, а затем уже нагревать. Натертое место приобретает темно-коричневый цвет как раз тогда, когда температура листа достигает оптимального значения. Этот прием позволяет точнее определить температуру, до которой нужно нагревать деталь, а главное — не допустить ее перегрева, приводящего к нарушению структуры металла.

1.1.4. Резка металлов

При изготовлении панели и шасси прибора обычно пользуются ножовкой. В зависимости от твердости разрезаемого материала, формы и размеров заготовки используют ножовочные полотна различной длины, ширины, толщины и с различными расстояниями между зубьями. Полотно должно быть заправлено в станке так, чтобы зубья его были направлены вперед, а не назад, и натянуто

винтом так, чтобы оно не изгибалось во время работы. Ход вперед при работе делается с легким нажимом, ход назад — без нажима.

Для резки металлов ножовочные полотна выбирают в зависимости от толщины и твердости материалов. Чем тверже металл, тем более мелкими должны быть зубья ножовочного полотна. Полотно с мелкими зубьями используют также для резки мягкого, но тонкого материала. В зависимости от толщины материала полотно выбирают так, чтобы в работе участвовало одновременно не менее двух зубьев. Если шаг зубьев полотна таков, что в работе участвует один зуб, ножовку «заедает».

Тонкие листовые материалы удобно резать, зажав их между брусками из дерева твердой породы. Если разрезают под острым углом к оси трубку, ее следует вставить в заранее просверленное в деревянном бруске отверстие и пилить вместе с деревом.

1.1.5. Простые правила сверления

- Перед работой нужно тщательно очистить сверло и надежно закрепить его в патроне. Затем проверить, не бьет ли оно. Для этого включите дрель и, не поднося к детали, посмотрите на сверло. Если вы видите его как бы слегка «размазанным», закрепите сверло снова.
- Нельзя сверлить незакрепленные или плохо закрепленные детали. Это может привести не только к поломке сверла, но и к травме.
- Никогда не подносите к детали вращающееся сверло. Неподвижное сверло нужно вставить в намеченное керном углубление и только после этого нажимать на пусковое устройство. Выведя сверло из отверстия, нужно выключить дрель, а окончив работу, сразу же отключить ее от сети.
- Неспециалисту не разрешается работать с электродрелью в ванной комнате или в других помещениях с каменным полом, где есть имеющие заземление предметы (например, отопительные батареи).
- Перед работой с дрелью нужно убрать волосы под головной убор и застегнуть манжеты на рукавах.
- Если при сверлении сверло визжит или скрипит, значит, оно затупилось. Надо прекратить работу и заточить его.
- Когда вы сверлите глубокое отверстие или твердый материал, время от времени выводите сверло. Это нужно для его охлаж-

дения. Сверло может так разогреться при работе, что станет светиться красным светом. Это признак того, что оно накалилось до температуры отпуска металла. Чтобы этого не происходило, надо время от времени выключать дрель и охлаждать сверло смоченной в воде ватой.

- Тонколистовой материал (например, жель) лучше сверлить, подложив под деталь толстый лист резины.
- При большом числе отверстий разного диаметра вначале рекомендуется просверлить их все сверлом, диаметр которого равен диаметру самого малого отверстия, а уж затем рассверливать остальные отверстия до нужных размеров. Если диаметр отверстий всего в 1,21,5 раза больше диаметра самого малого отверстия, то их сверлят сразу сверлом необходимого размера.
- Качественное сверление возможно только при использовании смазочно-охлаждающих веществ. При работе с мягкими материалами (алюминий, органическое стекло, гетинакс) можно пользоваться мыльной водой.

1.1.6. «Рубашка» для сверла

Она потребуется, когда из-за малого диаметра сверла не удастся зажать его в патроне. Но «шить» ее лучше на «размер» меньше: на гвозде или сверле меньшего диаметра навейте медную проволоку плотно, виток к витку, по часовой стрелке. Наденьте полученную спираль на хвостовик нужного сверла, теперь при зажиме и работе спираль будет заклинивать, а сверло надежно удерживать в патроне.

1.1.7. Вместо сверла — напильник

Зажмите в патрон надфиль с круглым сечением или обломок круглого напильника с проточенным хвостовиком: спиральная насечка прекрасно работает не только при поступательном движении, но и при вращательном.

1.1.8. Опасности при сверлении

Если при сверлении есть опасность повредить сверлом близко расположенные детали, то на сверло рекомендуется надевать трубку из резины, хлорвинила или другого подобного материала.

Длина трубки должна быть меньше длины вставленного в дрель сверла настолько, чтобы из трубки высывался лишь конец сверла. Трубка одновременно служит надежным ограничителем глубины сверления.

1.1.9. Резьба в отверстиях

- Диаметр отверстия под резьбу приблизительно определяют, умножив размер резьбы на 0,8 (например, для резьбы М2 сверло должно иметь диаметр 1,6 мм, для М3 — 2,4 мм, для М4 — 3,2 мм и т. д.).
- Для надежности резьбового соединения размер резьбы выбирают так, чтобы в резьбовом отверстии было не меньше трех полных витков резьбы. Так, при толщине материала 2 мм можно нарезать резьбу М2, М3, у которой шаг резьбы 0,4 и 0,5 мм соответственно. Резьбу М4 применять нецелесообразно, так как шаг резьбы у нее 0,7 мм.
- При нарезании резьбы в мягких металлах (например, в алюминии) следует ограничиться нарезкой резьбы только первым метчиком. В таком отверстии винт удерживается прочнее.
- Резьбу после обрезания винта или шпильки будет легко восстановить, если предварительно навинтить на них плашку или гайку. Отрезав или откусив кусачками лишнее, конец резьбовой детали опиливают напильником, а затем свинчивают плашку (гайку) — резьба восстанавливается.

1.1.10. Самодельные метчики для нарезки резьбы

В некоторых случаях при нарезке резьбы в мягких металлах и пластмассах можно применять самодельные метчики и плашки, изготовление которых не представляет больших трудностей. Для метчиков берут стальной болт с нужным размером резьбы и конец его спиливают на конус (на 2...3 мм от конца), а затем трехгранным напильником пропиливают три-четыре режущие кромки по длине болта. В головке болта, если нет воротка, прорезают шлиц, в который вставляют и закрепляют металлический прут.

1.1.11. Очистка загрязненных поверхностей

- Значительно улучшится вид деталей из дюралюминия, если смазать их поверхности раствором буры (1 г буры на 100 мл кипяченой воды) с добавлением нескольких капель нашатырного спирта. Через 30 минут детали протирают чистой суконной ветошью.
- Поверхность медных, латунных и бронзовых деталей очищают пастой, состоящей из равных частей талька и древесных опилок, смешанных со столовым уксусом до получения тестообразной массы. Хорошие результаты получают и при использовании пасты, составленной из равных частей поваренной соли и мела, замешанных на молочной сыворотке.
- Изделия из меди, латуни сохраняют свой блеск, если их тщательно натереть воском.
- Освежить поверхность небольших изделий из меди можно, прокипятив их в течение 30 минут в растворе кальцинированной соды (40 г/л).
- Освежить алюминиевые шасси, панели и экраны можно, промыв их жесткой волосяной щеткой в теплом водном растворе хозяйственного мыла.

1.1.12. Уход за напильником

- В насечках напильника не будут застревать частицы обрабатываемого металла, если напильник предварительно натереть мелом или древесным углем или смочить спиртом.
- Если деревянные ручки у слесарного инструмента обжечь на огне (до потемнения), то можно предотвратить появление мозолей или водяных пузырей на руках во время обработки металла (или, по крайней мере, замедлить их образование).

1.1.13. Надписи на металле

Вырезанную в «размер» переднюю панель тщательно зачищают и полируют наждачной шкуркой, нагревают до 100...120°C и натирают воском с таким расчетом, чтобы он, расплавившись, покрыл поверхность металла тонким ровным слоем. Когда панель остынет, слой воска в соответствующих местах процарапывают до металла, стружки воска осторожно удаляют. Затем приготавливают

немного 20...30-процентного раствора поваренной соли, смачивают этим раствором кусок ваты и прикладывают его к панели так, чтобы полностью покрыть все надписи. Сверху на вату накладывают металлическую пластину. К панели присоединяют положительный полюс источника постоянного тока напряжением 2...4 В, а к металлической пластине — отрицательный полюс. Процесс травления продолжается 3...10 минут (в зависимости от силы тока источника и глубины травления). По окончании травления панель тщательно промывают в горячей воде и удаляют с ее поверхности воск.

Этим способом можно делать надписи на всех металлах и их сплавах, в том числе на поверхности из закаленной и нержавеющей стали.

1.1.14. Совместимые и несовместимые пары металлов

При механическом монтаже для крепления деталей широко используют винты, заклепки и т. п. Проводя механический монтаж, следует избегать непосредственного соединения разнородных металлов, так как иначе в месте их касания при попадании влаги (особенно это относится к наружным радио- и телевизионным антеннам) образуются недопустимые гальванические пары, вызывающие усиленную коррозию. По этой причине заклепываемые детали и заклепки рекомендуется делать из однородных или совместимых металлов.

В таблице 1.2 приведены совместимые и несовместимые пары металлов.

Таблица 1.2

Материалы	Алюминий	Бронза	Дюралюминий	Латунь	Медь	Никель	Олово	Припой ПОС	Сталь нелегированная	Хром	Цинк
Алюминий	С	Н	С	Н	Н	Н	Н	Н	С	Н	С
Бронза	Н	С	Н	С	С	С	П	П	Н	С	Н
Дюралюминий	С	Н	С	Н	Н	Н	Н	Н	С	Н	Н
Латунь	Н	С	Н	С	С	С	П	П	Н	С	Н

Материалы	Алюминий	Бронза	Дюралюминий	Латунь	Медь	Никель	Олово	Припой ПОС	Сталь нелегированная	Хром	Цинк
Медь	Н	С	Н	С	С	С	П	П	Н	С	Н
Никель	Н	С	Н	С	С	С	П	П	С	—	С
Олово	Н	П	Н	П	П	П	С	С	Н	—	С
Оловянно- свинцовые сплавы (припой ПОС)	Н	П	Н	П	П	П	С	С	С	—	С
Сталь нелеги- рованная	С	Н	С	Н	Н	С	С	С	С	С	С
Хром	Н	С	Н	С	С	—	—	—	С	С	С
Цинк	С	Н	С	Н	Н	С	С	С	С	С	С

Обозначения: С — совместимые пары; Н — несовместимые пары; П — совместимые при пайке, но несовместимые при непосредственном соприкосновении; «—» — не паяются.

1.2. ИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

1.2.1. Области применения

В электрических схемах, работающих при повышенных температурах, в качестве изоляции применяется асбест, керамика, слюда. Электрические провода, подводящие ток к нагревательным элементам, обычно изолируются асбестом, защищенным сверху хлопчатобумажной оплеткой. Слюда и керамика применяются в качестве основы для обмоток нагревательных элементов, например утюгов, паяльников (они хорошие изоляторы и выдерживают значительный нагрев).

В высокочастотных цепях в качестве изоляторов применяют стеатит (радиофарфор) и полистирол.

В таблице 1.3 приведены примеры использования различных диэлектриков.

Таблица 1.3

Изолятор	Примеры использования
Бумага	Изоляция обмоток в трансформаторах и электродвигателях
Слюда	В качестве диэлектрического наполнения электрических конденсаторов
Резина	Покрытие проводов
Бакелит	Корпуса штепсельных розеток и выключателей
Керамика	Нагревательные элементы, в линиях электропередачи, каркасы изоляторов, катушек индуктивности, основания для галетных переключателей и др.
Пластик	Покрытие проводов
Стеатит	Каркасы катушек индуктивности, ламповые панели, платы и др.

1.2.2. Работа с изоляционными материалами

Обработка органического стекла

Склеивать детали из органического стекла можно целлулоидным клеем, который легко приготовить, растворив в ацетоне очищенную от эмульсии фотопленку (вместо ацетона можно использовать жидкость для снятия маникюрного лака). При использовании целлулоидного клея получается средняя прочность склеиваемого шва. Лучшие результаты дает дихлорэтановый клей, который растворяет органическое стекло и образует более прочный шов. Для изготовления этого клея стружку или отходы органического стекла погружают в раствор дихлорэтана (50 г). Густота клея зависит от количества органического стекла — чем его больше, тем гуще клей. На склеиваемую поверхность палочкой или кисточкой наносят густой слой клея и через 2—3 минуты производят склеивание. Излишний клей удаляют тряпкой. Хранить клей следует в стеклянной посуде с притертой пробкой. Склейку следует производить под вытяжной трубой или в проветриваемом помещении, потому что, высыхая, клей выделяет вредные вещества.

Так как достать дихлорэтан не всегда удастся, дихлорэтановый клей можно заменить клеем для кожи, который продается в магазинах хозяйственных товаров. Процесс склеивания очень прост: склеиваемые поверхности густо смазывают клеем, соединяют и просушивают в течение 15 минут при температуре 30...35°C. Клей для органического стекла может быть получен также, если растворить стружки органического стекла в уксусной кислоте.

Для поверхностной окраски органического стекла можно приготовить состав из опилок органического стекла, уксусной эссенции (уксусной кислоты) и пасты для заправки шариковых ручек. В шести частях (по объему) крепкой уксусной эссенции следует полностью растворить одну часть опилок органического стекла и в раствор добавить пасту. От ее количества зависит интенсивность краски. Уксусная эссенция растворяет поверхностный слой органического стекла, и краска, проникая в него, придает стеклу соответствующий цвет.

Полировка органического стекла производится вручную чистой сухой суконкой или же суконкой с зубным порошком. Для получения блестящей, зеркальной поверхности органическое стекло полируют мелкозернистыми составами полировочных смесей. Хорошие результаты дает использование зубной пасты.

При механической полировки нужно использовать полировальный круг из хлопчатобумажной, а не из суконной ткани, так как при сильном прижимании детали к суконному вращающемуся кругу полируемую поверхность можно оплавить. Такой изъян ликвидировать очень трудно, а порой и невозможно.

Работа со стеклотекстолитом

Лист стеклотекстолита можно расщепить с угла неострым ножом и разделить его на два тонких листа. Такому приему хорошо поддается и фольгированный стеклотекстолит.

Двусторонний из одностороннего. Если вам необходима пластина двустороннего стеклотекстолита, а есть только односторонний, то это затруднение может быть разрешено сравнительно просто: надо склеить две заготовки эпоксидным клеем (или, в крайнем случае, клеем БФ-2).

В случае, когда имеющийся односторонний стеклотекстолит слишком толст, можно рекомендовать удалить часть слоев стеклоткани. Для этого лезвием ножа расщепляют каждую заготовку с одного из углов и разделяют ее на две части. Следует заметить, что расщепить заготовку удастся не всегда.

Резка листового материала

Для этих целей наиболее удобны специальные резакки, изготовленные из старых ножовочных полотен. Детали сложной конфигурации можно вырезать лобзиком, используя ножовочное полотно для металла.

Органическое стекло можно разрезать обыкновенной ниткой №00. Нитку натягивают в станке для ножовочного полотна или в лобзике. Резку производят так, как и ножовкой. Этим способом можно выполнять фигурную резку органического стекла с большой точностью. Для фигурной резки можно также воспользоваться отрезком нихромовой проволоки (или никелиновой) диаметром 0,2...0,3 мм, натянув на изоляторах в станке для ножовочного полотна или в лобзике и подключив к электрической сети через низковольтный трансформатор или автотрансформатор. Температуру проволоки надо подобрать опытным путем, изменяя приложенное к ней напряжение.

Трещины в органическом стекле

Продолжение трещины в органическом стекле можно приостановить, если в конце трещины просверлить отверстие диаметром 2...3 мм.

Нарезание резьбы в пластмассах

Вполне удовлетворительные результаты, особенно для резьбы М4 и менее, можно получить, спилив резьбу винта или шпильки с двух сторон вдоль длины. Чтобы нарезанная резьба была более чистой, по резьбе изготовленного метчика нужно «пройти» соответствующей плашкой или гайкой. Шпилька, болт или винт должны быть стальные и иметь нарезную, а не накатную резьбу.

Восстановление резьбы в деталях из термопласта

Подбирают гайку с нужной резьбой и небольшими внешними размерами и, подогревая паяльником, слегка вдавливают ее в деталь до полного утопления. При этом надо следить за тем, чтобы гайка была зафиксирована без перекоса. После остывания гайки заусенцы вокруг нее аккуратно удаляют.

Восстановление резьбы в деталях из любого материала

Отверстие с испорченной резьбой очищают, обезжиривают и заполняют заготовленным эпоксидным клеем. Винт смазывают вазелином или машинным маслом, излишки которого удаляют. Обмакивают винт в эпоксидный клей и ввинчивают в отверстие. Если винт входит в отверстие слишком свободно, целесообразно

поместить туда два—четыре отрезка суровой нитки и, завернув винт, обрезать их у края отверстия. Через сутки, когда клей затвердеет, винт вывинчивают. Это, как правило, не требует усилий, так как резьба была смазана вазелином. И всё же винт для этих целей лучше брать с глубоким и хорошим шлицом или с головкой под ключ, и с резьбой не накатной, а нарезной.

Изгибание листового термопластичного материала

Изгибание можно осуществить, только прогрев материал, причем хороший изгиб правильной формы получается лишь при равномерном прогреве материала (органическое стекло, полистирол, винипласт и др.), с обеих сторон на ширину 5...15 мм (в зависимости от толщины листа).

Для разогревания на лист пластика с обеих сторон вдоль линии изгиба накладывают полосу нужной ширины из тонкой алюминиевой фольги и прижимают. Концы полосы подключают к обмотке трансформатора на напряжение порядка нескольких вольт (напряжение подбирают опытным путем). Не следует допускать перегрева, так как при этом прозрачность или цвет материала по линии изгиба могут значительно измениться. Как только материал прогреется, фольгу снимают, лист изгибают на требуемый угол и выдерживают заготовку до полного остывания.

Вырезание слюдяных прокладок. При установке мощных транзисторов и диодов на теплоотвод радиолюбителю придется сталкиваться с изготовлением прокладок из тонкой (от 0,04 до 0,5 мм) слюды. Наибольшую трудность здесь представляет прорезание отверстий. Для этого можно воспользоваться обычным чертежным измерителем или циркулем с двумя иглами. На нарисованный из плотной белой бумаги в масштабе 1:1 чертеж прокладки наложить заготовку слюды. Установить одну иглу циркуля в центр будущего отверстия и осторожно вращать циркуль так, чтобы вторая игла процарапывала окружность требуемого диаметра. Вращать циркуль нужно без большого нажима и обязательно в одну сторону, иначе слюда может расслоиться.

Обработка стекла

Для вырезки фигурной пластины можно применить **нагретый паяльник**. Для этого предварительно изготавливают шаблон и на него накладывают стекло. Затем напильником или стеклорезом про-

царапывают неглубокую борозду по линии контура. После этого жало нагретого паяльника прикладывают к борозде и, не отрывая от стекла, без нажима ведут паяльник по нарисованной линии. За паяльником останется трещина в стекле.

Чтобы разрезать широкую трубку, вокруг того места, где она должна быть разрезана, делают надпил. Затем с обеих сторон обрачивают полосками сырой фильтровальной бумаги шириной 2...4 см. Потом совершенно сухое пространство, где имеется надпил, нагревают одним из возможных способов:

- вращая трубку над острым пламенем газовой горелки;
- используя обернутую вокруг трубки и подключенную в сеть через трансформатор или реостат нихромовую проволоку (проволока должна быть плотно прижата к трубке и нагрета до красного каления);
- или, наконец, применяя для этой цели толстую, пропитанную в керосине нитку. Нитку плотно обвязывают вокруг трубки и поджигают.

Между полосками фильтровальной бумаги образуется при этом кольцевая трещина и одна часть трубки отделяется от другой. Острые края каждой из частей следует после этого отшлифовать. Если при разрезании трубки не пользоваться полосками влажной бумаги, то разрез получится шероховатым.

Способ проделывания отверстия в стекле с помощью припоя

Для этого одну сторону стеклянной пластины тщательно обезжиривают ацетоном, бензином или спиртом. Затем на место, где должно быть сделано отверстие, насыпают горкой горсть слегка смоченного мелкого речного песка. После этого остро заточенной палочкой в песочной горке делают конусообразное углубление так, чтобы была видна поверхность стекла (диаметр очищенной от песка поверхности в нижней части конуса должен быть равен нужному диаметру отверстия в стекле). В сделанную песочную форму наливают расплавленный припой с температурой плавления 200...300°C. После застывания припоя песок ссыпают и вынимают конус припоя вместе с прилипшим к нему кружком стекла.

Полимерная масса и ее применение

В бытовых изделиях, в том числе и в радиоаппаратуре, широко применяется полистирол, в просторечии называемый «пластмасса», из которого изготавливают различные узлы, детали и корпуса.

Он растворяется в органических растворителях (ацетон, дихлорэтан, толуол).

Раствор полистирола в ацетоне быстро густеет снаружи, на поверхности образуется тонкая пленка, под которой масса остается жидкой, и поэтому с ней весьма неудобно работать. Гораздо удобнее применять массу из полистирола, растворенного в смеси ацетона с растворителем N646. Растворитель менее летуч, чем ацетон, и растворенная масса застывает дольше, что и обеспечивает удобство ее применения.

При этом нужно иметь в виду, что чем больше растворителя, тем дольше масса застывает. При застывании массы наблюдается ее усадка.

Полистирол бывает разных цветов: комбинируя различные цветные обломки, можно получить массу разных цветов.

Данная полимерная масса оказывается полезной в самых разнообразных случаях. Ее можно использовать для склейки деталей и узлов из полистирола и других пластмасс, заливки монтажных плат с радиокомпонентами, что увеличивает их механическую прочность и дает защиту от пыли и повышенной влажности. Эта масса годится для крепления конденсаторов, транзисторов, реле и других радиокомпонентов к монтажной плате с целью увеличения механической прочности крепления. Кроме того, можно использовать массу как добавку в эпоксидных компаундах.

Полимерную массу также можно использовать для крепления монтажных проводов и жгутов к алюминиевым панелям. Место крепления желательно хорошо зачистить и обезжирить, иначе крепление будет непрочным. Можно также покрывать пайки, но масса должна быть в этом случае очень жидкой.

При ее использовании нужно помнить, что ацетон вреден, и сушку нужно производить в проветриваемом помещении.

1.3. РАБОТА С ДРЕВЕСИНОЙ

1.3.1. Покрытие эпоксидным клеем

Покрытие эпоксидным клеем (смолой) мало уступает по внешнему виду покрытию полиэфирным лаком, которое широко используется при отделке мебели и футляров для радиоаппаратуры в промышленных условиях. Процесс состоит из следующих операций. Удалив изъяны (царапины и др.) и зачистив поверхность,

размещают одну из панелей футляра в горизонтальной плоскости и ровным слоем заливают заранее приготовленной смолой с отвердителем. Готовя панель к покрытию, шлифовать ее поверхность не требуется. Толщина слоя смолы — 1,5...2 мм. Воздушные пузырьки с покрываемой поверхности нужно тщательно удалить, прокалывая их иголкой. Через 6...7 часов поверхность затвердеет, и тогда можно будет заливать другую панель. После двух—трех суток выдержки панели на воздухе приступают к ее шлифовке и полировке. Сначала пользуются более грубой наждачной бумагой, а затем переходят на мелкозернистую. Бумагу нужно закрепить на ровном деревянном бруске. Во время обработки панель поливают водой. Полирование производят любой полировочной пастой с помощью куска войлока. Полученное покрытие достаточно теплоустойко, не боится влаги и органических растворителей.

1.3.2. Как освежить изделия и детали из светлой древесины

Изделия и детали из светлой древесины можно «освежить» следующим способом. В чистой посуде растапливают немного белого стеарина (например, кусочек свечки) и добавляют к нему такое же количество бензина (соблюдая меры предосторожности — вблизи не должно быть открытого огня), чтобы получилась однородная, не очень густая смесь. Остывшей смесью с помощью тампона из льняной ткани натирают поверхность древесины, а через 2...3 часа полируют все шерстяной тканью.

1.3.3. Ремонт трещин

Трещины, появившиеся на деревянных футлярах, можно замаскировать пчелиным воском, после чего тщательно протереть обработанные места шерстяной тканью.

1.4. МАГНИТНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Все магнитные материалы можно разделить на две основные группы — магнитно-мягкие и магнитно-твердые. Магнитно-мягкие материалы легко намагничиваются и легко размагничиваются. Магнитно-твердые материалы с большим трудом намагничивают-

ся, но будучи намагниченными, могут долго сохранять магнитную энергию. Поэтому их применяют главным образом для изготовления постоянных магнитов.

По составу все магнитные материалы делятся на металлические, неметаллические и магнитодиэлектрики. К металлическим относятся чистые металлы (железо, кобальт, никель) и магнитные сплавы некоторых металлов. К неметаллическим относятся ферриты, получаемые из порошкообразной смеси оксидов железа и других металлов. Ферриты, как и металлические материалы, могут быть магнитно-мягкими и магнитно-твердыми. Магнитодиэлектрики представляют собой композиционные материалы, состоящие из 60...80% порошкообразного магнитного материала и 40...20% диэлектрика.

Основными металлическими магнитно-мягкими материалами, применяемыми в РЭА, являются карбонильное железо, альсиферы и низкоуглеродистые кремнистые стали. Карбонильное железо применяется при изготовлении высокочастотных магнитодиэлектрических сердечников. Из альсифера изготавливают литые сердечники, работающие в диапазоне частот не более 50 кГц, и магнитные головки. Низкоуглеродистые кремниевые стали применяют в менее ответственных узлах РЭА: они значительно уступают пермаллоям. Пермаллой — сплав железа с никелем или железа с никелем и кобальтом. Основные достоинства пермаллоя — высокое значение магнитной проницаемости в слабых полях и малое значение коэрцитивной (удерживающей) силы, недостатки — большая чувствительность к механическим напряжениям, сравнительно высокая стоимость. Применяют в магнитных элементах измерительных, автоматических и радиотехнических устройств при их работе в слабых постоянных и переменных полях с частотой до нескольких десятков килогерц. Для уменьшения потерь на гистерезисе и вихревые токи магнитно-мягкие материалы при работе в области высоких частот должны обладать высоким активным сопротивлением. К таким материалам относятся ферриты и магнитодиэлектрики. Магнитно-мягкие ферриты широко используются для изготовления сердечников различного рода трансформаторов, катушек индуктивности, магнитных антенн и других изделий РЭА, работающих в широком диапазоне частот, вплоть до СВЧ-диапазона.

На основе магнитно-твердых ферритов изготавливают постоянные магниты. Магнитодиэлектрики, несмотря на несколько пониженные магнитные характеристики, чем у ферритов, применяют

для изготовления сердечников высокочастотных узлов РЭА. Это обусловлено большой стабильностью их характеристик по сравнению с ферритами и возможностью изготовления из них сердечников сложной формы.

1.5. ПРОВОДА

В таблице 1.4 указаны диаметры некоторых проводов и примеры их применения.

Таблица 1.4

Диаметр провода	Пример применения
2,5...5 мм	Электрический ввод в жилой дом, рассчитанный на осветительную и силовую нагрузку
1,6...2 мм	Внутриквартирная проводка
1,0...1,3 мм	Осветительные устройства
0,8...1,0 мм	Телефонный провод, радиосхемы
0,5...0,8 мм	Обмотка электродвигателей, звонков, реле
0,25...0,5 мм	Катушки индуктивности радиоприборов, обмотки небольших электродвигателей

1.5.1. Обмоточные провода

1.5.1.1. Медные обмоточные провода

Они предназначены для изготовления обмоток трансформаторов, дросселей, реле, высокочастотных катушек, резонансных контуров и т. п. Эти провода могут иметь эмалевое покрытие, из волокнистых материалов и комбинированную изоляцию из эмали и волокнистых материалов. Эмалевая изоляция обладает лучшими электроизоляционными свойствами по сравнению с волокнистой изоляцией. Эмалированные провода на масляных лаках марок ПЭЛ и ПЭЛУ применяются для изготовления обмоток различного рода катушек, однако если провод при изготовлении обмотки или в процессе работы катушки испытывает повышенные механические воздействия, то эти провода дополнительно защищают обмоткой из хлопчатобумажной пряжи, капроновым волокном или натуральным шелком (марки ПЭЛБО, ПЭЛШКО, ПЭЛШО и т. п.). Термостойкость проводов перечисленных марок, включая

ПЭЛ и ПЭЛУ, порядка 100...105°C, причем обмотка из капронового волокна выше по термостойкости, чем из натурального шелка и хлопчатобумажной пряжи. Кроме того, капроновое волокно превосходит натуральный шелк по стойкости против истирания и более надежно при воздействии таких растворителей, как бензин, бензол, трансформаторное масло и т. п. Электроизоляционные свойства капрона такие же, как у натурального шелка, и несколько выше, чем у хлопчатобумажной пряжи.

Однако, несмотря на высокую механическую прочность, провода с волокнистой изоляцией имеют значительно больший наружный диаметр, чем эмалированные. Поэтому созданы высокопрочные эмалированные провода марки ПЭВ-1 и ПЭВ-2, ПЭЛР-1, ПЭЛР-2, ПЭВТЛ-1 и ПЭВТЛ-2. Провода последних марок обладают повышенной термостойкостью, выдерживая длительный нагрев до 130°C, а кратковременный до 150...180°C. По сравнению с другими высокопрочными эмалированными проводами они обладают большим сопротивлением изоляции и меньшим $\text{tg}\delta$. Тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ характеризует удельные потери энергии в диэлектрике, находящемся в переменном электрическом поле. Чем больше $\text{tg}\delta$, тем больше нагрев диэлектрика. Поэтому они особенно пригодны в качестве провода для намотки высокочастотных катушек индуктивности. Кроме того, провода марок ПЭВТЛ-1 и ПЭВТЛ-2 залуживаются путем погружения в расплавленный припой или при помощи паяльника без предварительной зачистки эмали и без применения флюсов. Наиболее термостойки провода марки ПЭТВ — до 155°C. Кратковременный нагрев они выдерживают до 200°C.

Основные параметры наиболее часто применяемых медных обмоточных проводов приведены в таблице 1.5.

Таблица 1.5

Марка провода	Диаметр медной жилы, мм	Характеристика провода	Толщина слоя изоляции, мм	Максимальная температура, °C
ПЭВ-1	0,02...0,05 0,06...2,44	Изолированный высокопрочной эмалью на основе винифлекса	0,006...0,01 0,01...0,09	До 105 (класс А)
ПЭВ-2	0,05...2,44	То же, но с утолщенным слоем эмалевой изоляции	0,012...0,07	То же

Марка провода	Диаметр медной жилы, мм	Характеристика провода	Толщина слоя изоляции, мм	Максимальная температура, °С
ПЭВТЛ-1	0,02...1,56	Изолированный высокопрочной эмалью на основе полиуретана	0,005...0,035	До 120 (класс А)
ПЭВТЛ-2	0,02...1,56	То же, но с утолщенным слоем эмалевой изоляции	0,010...0,04	То же
ПЭТВ-1 ПЭТВ-2	0,06...2,44 0,06...2,44	Изолированный высокопрочной эмалью на полиэфирной основе	0,05...0,065 0,1...0,13	До 130 (класс В)
ПЭТ-155А	0,06...2,44	Изолированный высокопрочной эмалью на полиэфирноимидной основе	0,013...0,045	До 155 (класс F)

Пробивные напряжения эмалевой изоляции четырех видов обмоточных проводов приведены в таблице 1.5, а.

Таблица 1.5, а

Диаметр медной жилы, мм	Число скруток на длине 125 мм	Наименьшее пробивное напряжение эмалевой изоляции двух скрученных проводов, В			
		ПЭВ1	ПЭВ2	ПЭВТЛ1	ПЭТВ
0,05...0,11	40	350...500	450...700	350...500	650...800
0,12...0,25	33	500...900	700...1200	500...800	900...1600
0,27...0,35	23	800...900	1200...1250	800...900	1600
0,38...0,49	16	850...1000	1250...1350	850...1000	1800
0,51...0,74	12	850...1000	1350...1500	850...1000	2000
0,77...1,04	8	1000...1200	1500...1800	1000...1200	2200
1,08...1,50	6	1200...1300	1800...2000	1200...1300	2400...2600

При выборе марки провода учитывают рабочую температуру, электрическую прочность изоляции и надежность провода. В аппаратуре на полупроводниковых приборах используются в основном провода с эмалевой изоляцией. При повышенных требованиях к надежности аппаратуры рекомендуются провода с двухслойной изоляцией. Провода с комбинированной изоляцией применяют при повышенных механических нагрузках в процессе намотки или эксплуатации аппаратуры.

1.5.1.2. Высокочастотные обмоточные провода (литцендраты)

Они предназначены для изготовления высокочастотных катушек индуктивности с высокой добротностью. Эти провода состоят из пучка эмалированных проволок (их количество может быть более 1000) диаметром 0,05; 0,07; 0,1 и 0,2 мм. Изготовление таких проводов из большого числа изолированных проволок вызвано явлением так называемого поверхностного эффекта. Суть его заключается в том, что на высоких частотах ток вытесняется к внешней поверхности провода под действием переменного магнитного поля внутри сплошного провода, в результате чего увеличивается активное сопротивление этого провода. Чтобы ослабить это вредное влияние, высокочастотный провод составляют из большого числа изолированных друг от друга проволок, увеличивая тем самым его токонесущую поверхность.

Выпускаются высокочастотные обмоточные провода следующих марок: ЛЭЛ и ЛЭП — без дополнительной изоляции пучка; ЛЭЛО — с обмоткой из шелка с лавсаном в один слой; ЛЭПКО — с обмоткой из капронового волокна в один слой; ЛЭШО — с обмоткой из натурального шелка в один слой; ЛЭЛД — с обмоткой из шелка с лавсаном в два слоя; ЛЭШД — с обмоткой из натурального шелка в два слоя. Провода марок ЛЭП и ЛЭПКО перед лужением не требуют зачистки.

Основные параметры некоторых высокочастотных обмоточных проводов приведены в таблице 1.6.

Таблица 1.6

Диаметр проволоки, мм	Число проволок в пучке	Диаметр провода, мм					Расчетное сечение медной жилы, мм ²	Сопротивление 1 км провода при 20°С, Ом, не более
		ЛЭЛ	ЛЭЛО, ЛЭШО	ЛЭЛД, ЛЭШД	ЛЭП	ЛЭПКО		
0,05	10	0,25	0,32	0,38	-	-	0,0196	1012
	16	0,31	0,38	0,44	-	-	0,0314	634
	20	0,34	0,41	0,47	-	-	0,0392	507
	50	-	-	0,71	-	-	0,098	209

Диаметр проволоки, мм	Число проволок в пучке	Диаметр провода, мм					Расчетное сечение медной жилы, мм ²	Сопротивление 1 км провода при 20°С, Ом, не более
		ЛЭЛ	ЛЭЛО, ЛЭШО	ЛЭЛД, ЛЭЩД	ЛЭП	ЛЭПКО		
0,06	3	-	-	-	0,2	-	0,0085	2300
	5	-	-	-	0,25	-	0,0142	1380
0,07	7	-	0,34	-	-	-	0,0269	760
	8	0,29	0,36	0,42	0,35	0,4	0,0308	624
	10	0,33	0,4	0,46	0,39	0,44	0,0385	499
	12	-	0,42	0,48	0,42	0,47	0,0462	416
	16	-	0,47	0,54	0,47	0,52	0,0616	312
	20	-	0,52	0,59	0,53	0,57	0,077	249
	27	-	0,58	0,65	-	-	0,104	190
	32	-	0,63	0,7	-	-	0,123	161
	50	-	0,82	0,89	-	-	0,193	85,6
0,1	9	0,44	0,51	0,58	0,48	0,53	0,0707	276
	12	0,5	0,57	0,64	0,54	0,59	0,0942	207
	14	0,54	0,61	0,68	0,58	0,63	0,11	177
	16	0,57	0,64	0,71	0,61	0,66	0,126	155
	19	0,6	0,67	0,74	-	-	0,149	131
	21	0,64	0,71	0,78	0,69	0,73	0,165	118
	24	0,68	0,75	0,82	0,74	0,78	0,188	103
	28	0,74	0,81	0,88	0,8	0,84	0,22	91,3

1.5.1.3. Обмоточные провода высокого сопротивления (манганин, константан, нихром)

Для изготовления образцовых резисторов, магазинов сопротивлений, шунтов к измерительным приборам и добавочных сопротивлений к вольтметрам используют манганин, обладающий малым ТКР (температурным коэффициентом сопротивления), большим

удельным сопротивлением и малой термоэдс в контакте с медью. Для изготовления реостатов и балластных резисторов используют проволоку из никелина, нейзельберга, реотана и константана, а в нагревательных приборах — из нихрома, фехраля и хромаля.

Константановые провода, изолированные эмалями на масляных лаках (марка ПЭК), изготавливаются из твердой проволоки диаметром 0,03...0,09 мм и из твердой и мягкой проволоки диаметром 0,1...0,15 мм.

Манганиновые провода с эмалями на масляных лаках изготавливаются из твердой (марка ПЭМТ) и мягкой (марка ПЭММ) проволоки.

Нихромовые провода, изолированные масляной эмалью, выпускаются под маркой ПЭНХ. Кроме упомянутых, выпускаются эмалированные высокопрочные константановые, манганиновые и нихромовые провода с повышенной толщиной изоляции (маркируются соответственно цифрами 1 и 2), причем манганиновые и константановые провода изготавливаются из твердой и мягкой проволоки, а нихромовые провода только из мягкой проволоки.

Термостойкость всех проводов (кроме нихромовых марки ПЭНХ) такая же, как у медных проводов с соответствующей изоляцией.

Марки и основные применения наиболее распространенных обмоточных проводов высокого сопротивления указаны в таблице 1.7.

Таблица 1.7

Марка	Наименование	Назначение	Диаметр без изоляции
ПЭВКМ-1	Константановый мягкий, изолированный высокопрочной эмалью	Для катушек приборов, магазинов сопротивлений, потенциометров и т. п., работающих при температуре до 110°C и повышенных механических нагрузках	0,05...1,0
ПЭВКМ-2	То же, в два слоя	То же	0,1...0,8
ПЭВКТ-1	Константановый твердый, изолированный высокопрочной эмалью в один слой	То же	0,03...0,8

Марка	Наименование	Назначение	Диаметр без изоляции
ПЭВКТ-2	То же, в два слоя	То же	0,03...0,8
ПЭВММ-1	Манганиновый мягкий, изолированный высокопрочной эмалью в один слой	Для катушек прецизионных приборов, эталонных резисторов, магазинов сопротивлений и т. п., работающих при температуре до 119°C и повышенных механических нагрузках	0,05...0,8
ПЭВММ-2	То же, в два слоя	То же	0,05...0,8
ПЭВНХ-1	Нихромовый, изолированный высокопрочной эмалью в один слой	Для катушек приборов, деталей с высоким омическим сопротивлением и т. п., работающих при температуре до 110°C и повышенных механических нагрузках	0,02...0,4
ПЭВНХ-2	Нихромовый, изолированный высокопрочной эмалью в два слоя	Для катушек приборов, деталей с высоким омическим сопротивлением и т. п., работающих при температуре до 110°C и повышенных механических нагрузках	0,02...0,4
ПЭК	Константановый, изолированный лакостойкой эмалью	Для катушек приборов, магазинов сопротивлений, потенциометров и т. п., работающих при температуре до 105°C и нормальных механических нагрузках	0,03...1,0
ПЭММ	Манганиновый мягкий, изолированный лакостойкой эмалью	Для катушек прецизионных приборов, эталонных резисторов, магазинов сопротивлений и т. п., работающих при температуре до 105°C и нормальных механических нагрузках	0,05...1,0
ПЭМТ	То же, твердый	Для катушек приборов, магазинов сопротивлений, шунтов и т. п., работающих при температуре до 105°C и нормальных механических нагрузках	0,03...1,0
ПЭНХ	Нихромовый, изолированный лакостойкой эмалью	Для катушек приборов, деталей с высоким омическим сопротивлением и т. п., работающих при температуре до 105°C и нормальных механических условиях	0,03...0,4

Марка	Наименование	Назначение	Диаметр без изоляции
ПЭШОК	Константановый, изолированный эмалью одним слоем шелка	То же, что и ПЭК, но при повышенных механических нагрузках	0,051,0
ПЭШОММ	Манганиновый мягкий, изолированный эмалью и одним слоем шелка	То же, что и ПЭММ, но при повышенных механических нагрузках	0,05...1,0
ПЭШОМТ	Манганиновый твердый, изолированный эмалью и одним слоем шелка	То же, что ПЭМТ, но при повышенных механических нагрузках	0,05...1,0

1.5.2. Монтажные провода

Выпускаются в изоляции из полихлорвинила, полиэтилена, а также с волокнистой дополнительной изоляцией (первый слой). Провода с волокнистой изоляцией применяют в аппаратуре, работающей в нормальных условиях (при невысокой влажности и температуре), когда исключена возможность конденсации воды в аппаратуре и отсутствуют резкие климатические изменения. Наиболее термостойки провода с изоляцией из фторопласта (до 250°C).

По конструкции токопроводящей жилы различают однопроволочные (негибкие) и многопроволочные (гибкие) монтажные провода. Основные параметры монтажных проводов приведены в таблице 1.8.

Таблица 1.8

Марка	Наименование провода	Рабочее напряжение переменного тока, В	Максимальная рабочая температура, °С	Назначение
МГШВ	Монтажный многопроволочный с шелковой изоляцией в полихлорвиниловой оболочке	380*	70	Для неподвижного внутриприборного монтажа

Марка	Наименование провода	Рабочее напряжение переменного тока, В	Максимальная рабочая температура, °С	Назначение
МГШВЭ	То же, экранированный, одно-, двух- и трехжильный	380*	70	То же, при необходимости защиты от электрических помех
ГШДЛ	Монтажный многопроволочный, изолированный двойной обмоткой из полиамидного, ацетатного или равноценного искусственного шелка	250	100	Для жесткого внутриприборного монтажа
МГШДО	Монтажный многопроволочный, изолированный двойной обмоткой и оплеткой из полиамидного, ацетатного или равноценного искусственного шелка	100	90	Для монтажа подвижных и неподвижных частей аппаратуры
МГШП	Монтажный многопроволочный с шелковой и полиэтиленовой изоляцией	380	70	Для неподвижного внутриприборного монтажа
МГШПЭ	То же, экранированный	380	70	То же, при необходимости защиты от электрических помех
МШВ	Монтажный однопроволочный с шелковой изоляцией, в полихлорвиниловой оболочке	380*	70	Для жесткого внутриприборного монтажа

* Только для проводов с токопроводящей жилой сечением 0,07 и 0,12 мм²; провода с большим сечением токопроводящих жил могут работать при напряжениях до 1000 В переменного тока.

1.6. ПАЙКА И ОСНОВЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МОНТАЖА

1.6.1. Устройство паяльника

Паяльник — один из основных инструментов радиолюбителя. По своей конструкции паяльники могут быть различными. Но наибольшее распространение у радиолюбителей получили паяльники с медным жалом — прямым или изогнутым. Нагревательным элементом в них обычно служит нихромовый провод, намотанный на металлическую трубку, в которую вставляется медный стержень (жало). Для изоляции намотки от металлической трубки между ними прокладывается слой слюды.

Новый паяльник должен быть соответствующим образом подготовлен к работе. Рабочей части жала паяльника должна быть придана заостренная форма (30°), что часто делают с помощью напильника. Однако обработку жала лучше делать ковкой, так как наклеп уменьшает интенсивность растворения меди и затрудняет образование раковин, сокращающих срок службы напильника. Затем приступают к залуживанию. Для этого, слегка нагрев паяльник, покрывают слоем канифоли (опускают жало паяльника в канифоль) рабочую часть жала для предохранения медной поверхности от окисления. *Перегрев паяльника перед покрытием его канифолью недопустим.* Если же паяльник по какой-либо причине все же оказался перегретым и зачищенная часть жала покрылась темно-синим налетом окиси меди, то его следует остудить и вновь зачистить. Как только жало нагреется до температуры плавления припоя, рабочая поверхность его должна быть целиком покрыта припоем (т. е. следует облудить жало).

1.6.2. Ремонт паяльника

Наиболее часто встречающиеся повреждения в паяльнике — перегорание обмотки и пробой на корпус. Перегорание обмотки вообще лишает возможности пользоваться паяльником, пробой же создает опасность поражения током, особенно при работе с заземленной аппаратурой или в сыром помещении. Пробитый на корпус паяльник опасен и в другом смысле — пользуясь им, можно повредить радиоаппарат (вывести из строя микросхемы, транзисторы), в котором производится пайка. Для устранения этих повреждений обычно приходится разбирать паяльник и перематы-

вать его обмотку. Обычно при перемотке паяльника возникает ряд трудностей. Тонкие пластины слюды при попытке обернуть ими металлическую трубку паяльника обычно ломаются или крошатся. Чтобы избежать этого, слюду рекомендуется два—три раза нагреть в пламени (например, газовой плиты) докрасна, а затем охладить на воздухе. Слюда после этого станет мягкой и будет легче гнуться, плотнее прилегая к трубке. Если пластинка слюды раскрошилась, а достаточно большой целой пластинки в запасе нет, то для изоляции можно использовать мелкие куски от старых электронагревательных приборов. Эти куски укладывают слоем соответствующей толщины на лист тонкой бумаги или кальки, при необходимости слюду к бумаге можно слегка приклеить силикатным клеем. Затем слюду вместе с бумагой укладывают на стержень, а бумажную ленту закрепляют на стержне клеем. Далее производят намотку и сборку паяльника обычным способом.

Для изоляции слюдяными крошками можно использовать также липкую ленту, оставив конец ленты длиной около 10 мм свободным от слюды. Подготовленную полоску свободным от слюды концом приклеивают к трубке паяльника и с натяжением наматывают ее так, чтобы слюдяная изоляция образовала сплошной слой без зазоров и отверстий. Излишки ленты отрезают, а конец прикрепляют к основанию отрезком липкой ленты.

Если нагреватель необходимо изолировать снаружи, такую же полоску липкой ленты со слюдой наматывают на спираль и закрепляют шнуром из асбеста или помещают в кожух, иначе после включения паяльника в сеть липкая лента сгорит и слюда осыплется.

Нагревательную обмотку паяльника можно изолировать от корпуса паяльника и жидким стеклом (силикатным или конторским клеем). Для этого трубку паяльника следует покрыть жидким стеклом и хорошо высушить при температуре 50...60°C, но еще лучшие результаты получаются, если стержень покрыт «тестом», составленным из жидкого стекла, талька, мела (зубного порошка) или асбестовой крошки. Тесто должно быть густоты сметаны; им обмазывают трубку паяльника и высушивают. Намотку провода производят поверх этого слоя.

Вместо слюды и асбеста, которыми обмотка обычно покрывается сверху, можно в крайнем случае применить и обычную глину (но лучше огнеупорную!). Трубку паяльника обмазывают слоем глины толщиной 1...2 мм, после чего глину сушат. Затем на глине наматывают первый слой намотки и сверху опять покрывают ее

глиной, снова сушат и продолжают намотку. Поверх последнего слоя намотки еще раз наносят слой глины, заполняя ею остающееся свободное пространство между нагревательным элементом и кожухом паяльника. Обмотку паяльника чаще всего наматывают виток к витку или с некоторым принудительным шагом.

Для низковольтных паяльников (на 612 вольт), подключаемых к сети через понижающий трансформатор, вместо проволоки из нихрома можно использовать стальную проволоку. Для этой цели можно, например, применить жилу от стального (буксирного) троса, подвергнув его предварительному отжигу. После отжига проволока становится мягкой и легко наматывается на паяльник. Длину обмотки подбирают по свечению проволоки, которое должно быть темно-вишневого цвета. Вся обмотка обычно укладывается в один слой. Такой паяльник прост в изготовлении и долговечен. Преимуществом его является также большая безопасность при эксплуатации.

Низковольтный паяльник можно изготовить из перегоревшего обычного паяльника мощностью 40...90 Вт. Нагреватель паяльника разбирают и, удалив старую обмотку, наматывают на ее место новую, закрепляют витки и собирают паяльник. Витки следует располагать в один слой равномерно по всей длине, которую занимала прежняя обмотка. Для обмотки нагревателя удобно использовать нихромовый провод диаметром 0,4 мм от спирали электроплиток на 220 вольт. В таблице 1.9 приведены числа витков нагревателя, экспериментально подобранные для паяльников из нихромового провода диаметром 0,4 мм мощностью 50 или 100 Вт на различные питающие напряжения.

Таблица 1.9

Напряжение питания, В	Мощность, Вт	
	Число витков — 50	Число витков — 100
12	6...7	7×2*
24	19...20	10...12
36	34...36	24...36

* Наматывают в два провода и соединяют обмотки параллельно.

А как включить низковольтный паяльник в сеть 220 В? Можно, конечно, включить его последовательно с лампой накаливания или резистором большой мощности, но это не всегда удобно и не-

экономично. Лучше всего подключить паяльник к сети через бумажный конденсатор, емкость которого можно рассчитать по формуле:

$$C = 3000P/U_n(U - U_n),$$

где C — емкость конденсатора, мкФ;

P — мощность паяльника, Вт;

U_n — напряжение, на которое рассчитан паяльник, В;

$U = 220$ В — напряжение сети.

При этом бумажный конденсатор должен иметь рабочее напряжение не менее 400 В, а мощность паяльника должна быть в пределах 40...50 Вт.

Возникает вопрос: «Сколько паяльников и какие надо иметь, чтобы качественно изготовить какой-либо прибор?» Опыт многих практиков говорит, что даже для легких сборочных работ желательно иметь два паяльника различного типа. Большинство печатных плат можно паять с помощью паяльника 25 и 50 Вт с прямым или изогнутым жалом. Для более крупных работ следует использовать паяльники на 90 и более ватт. Следует запомнить: правильно выбранное жало облегчает работу, поэтому следует иметь несколько тонких конических и плоских жал и одно плоское широкое для распайки микросхем. С точки зрения техники безопасности рекомендуется иметь паяльники на напряжение не выше 36 В.

Вместе с паяльником неплохо приобрести различные принадлежности и инструмент. Если вы однажды поработали с хорошим инструментом, то потом вряд ли захотите работать с плохим. Поэтому лучше один раз купить хороший инструмент, чем несколько раз плохой. К примеру: в хороших бокорезах режущие части в сомкнутом состоянии соприкасаются только на концах. Не покупайте бокорезы, у которых кромки неровные, или не сходятся концы, или кромки соприкасаются не на концах, а в каком-либо другом месте.

1.6.3. Методика обучения пайке

Если вы никогда не паяли, предлагаем воспользоваться одной из двух методик, в основе которых, как в и любой другой методике, лежит практика.

Возьмите 300 мм голого провода диаметром 23 мм (или изолированного, с которого надо снять изоляцию) и разрежьте его на 12 одинаковых кусков длиной 25 мм, чтобы из них сделать куб, за-

крепив точки соединения посредством пайки. Допускается использовать только плоскогубцы с длинными губками, паяльник, припой, флюс. И никакого другого инструмента и приспособлений. Это должно научить вас держать конструкцию неподвижной во время ее охлаждения. После того как куб будет готов, дать ему остыть, а затем положить его на ладонь и сжать руку в кулак. Если хотя бы одно из соединений нарушится, надо проделать все еще раз, взяв новые куски проводов.

Можно выбрать другой путь. Нарезать куски медной проволоки длиной 30...50 мм и толщиной 2...3 мм. Обмотать освобожденный от изоляции монтажный провод вокруг этой проволоки (2—3 витка) и соединить его путем пайки. Инструмент тот же, что и выше. Это упражнение надо повторять до тех пор, пока не будут получаться аккуратные, блестящие, прочные соединения.

При пайке надо соблюдать несколько правил, тогда и пайка будет получаться надежной и аккуратной.

- Лучше всего пользоваться припоями ПОС-61, ПОС-50, ПОС-40 и спирто-канифольными флюсами.
- Необходимо прогреть место соединения до такой температуры, чтобы приложенный к нему припой мог расплавиться. Припой должен расплавиться благодаря теплу, отдаваемому местом соединения. Частая ошибка заключается в том, что припой расплавляют паяльником в надежде на то, что он стечет с паяльника и прилипнет к месту соединения. Это грубая ошибка!
- Место соединения следует тщательно зачистить.
- Место соединения должно быть неподвижным до тех пор, пока расплавленный припой не затвердеет.
- Не перегревать места соединения.
- Припой не должно быть слишком мало.
- Припой не должно быть слишком много.

Опыт многих практиков показывает, что качество пайки во многом определяется мастерством монтажника и тем выше, чем ниже давление паяльника на печатную плату при пайке, чем меньше перепаяк элементов и чем меньше время пайки при заданной температуре паяльного наконечника (внутренние дефекты на печатных платах практически не появляются, если время пайки меньше 3 с).

Распайка, хотя в это и трудно поверить, может быть немного проще пайки. Распаять контакт может почти каждый, но не повредить компоненты и проводники печатной платы очень нелегко. Для распайки надо иметь приспособления для отсасывания расплавлен-

ного припоя. Это может быть резиновый сжимающийся шар («груша»), снабженный соответствующим наконечником. После расплавления припоя отпускают до этого сжатую «грушу», происходит всасывание припоя внутрь ее. Для этих же целей можно использовать медную оплетку, заполненную флюсом. Ее подносят к расплавленной точке, нагревают паяльником, и расплавленный припой проникает внутрь оплетки благодаря капиллярному эффекту.

1.6.4. Припои и флюсы

Припои — это сплав металлов, предназначенный для соединения деталей и узлов пайкой. Выбор припоя производят в зависимости от соединяемых металлов или сплавов, от способа пайки, температурных ограничений, размера деталей, требуемой механической прочности и коррозионной стойкости и др. Для пайки толстых проводов используют припой с температурой плавления более высокой, чем для пайки тонких проводов. В некоторых случаях необходимо учитывать и электропроводность припоя (напоминание: удельное сопротивление олова равно 0,115, а свинца — 0,21 Ом·мм²/м).

Припой разделяют на мягкие с температурой плавления ниже 400°C и твердые с температурой плавления более 500°C. Твердые припои отличаются более высокой прочностью при растяжении. К ним относятся, главным образом, медно-цинковые (ПМЦ) и серебряные (ПСр) припои.

В радиотехнической промышленности и радиолюбительской практике наиболее широко используются мягкие припои, изготовленные на оловянной, свинцовой, висмутовой, кадмиевой и цинковой основах. Основные данные наиболее распространенных припоев приведены в таблице 1.10.

Таблица 1.10

Марка	Состав, %	Температура плавления, °С	Прочность при растяжении, кг/мм	Применение
ПОС-90	Олово — 89...91, свинец — остальное	220	4,9	Для пайки пищевой посуды и медицинских инструментов

Марка	Состав, %	Температура плавления, °С	Прочность при растяжении, кг/мм	Применение
ПОС-61	Олово — 60...62, свинец — остальное	190	4,3	Для лужения и пайки в аппаратуре, где недопустим перегрев
ПОС-40	Олово — 39...41, свинец — остальное	238	3,8	Для пайки в электроаппаратуре и деталей из оцинкованной стали
ПОС-30	Олово — 29...31, остальное — свинец	256	3,3	Для лужения и пайки деталей из меди и ее сплавов и стали
ПОС-10	Олово — 10...11, свинец — остальное	299	3,2	Для лужения и пайки контактных поверхностей в электроаппаратуре
ПОС 61М	Олово — 61...62, медь — 1,2...2, свинец — остальное	192	4,5	Для лужения и пайки электропаяльником тонких медных проводов, печатных проводников и фольги
ПОСК 50-18	Олово — 49...51, кадмий — 17...19, свинец — остальное	145	6,7	Для пайки чувствительных к перегреву деталей
ПОССр-15	Олово — 15, цинк — 0,6, свинец — 83,15, серебро — 1,25	276	-	Для пайки деталей из цинка и оцинкованной стали

Для самостоятельного приготовления припоя компоненты состава (олово и свинец) отвешивают на весах, расплавляют смесь в металлическом тигле над газовой горелкой и, перемешав расплав

стержнем из стали, стальной пластинкой снимают пленку шлака с поверхности расплава. Затем осторожно разливают расплав в формы — желоба из жести, дюралюминия или гипса. Плавку необходимо выполнять в хорошо проветриваемом помещении, надев защитные очки, перчатки и фартук из грубой ткани.

Флюс — это вещество или смесь, предназначенные для растворения и удаления оксидов с поверхности спаиваемых деталей. Кроме того, во время пайки они защищают от окисления поверхность нагреваемого металла и расплавленный припой. Все это способствует увеличению растекаемости припоя, а следовательно, улучшению качества пайки. Флюс выбирают в зависимости от соединяемых пайкой металлов или сплавов и применяемого припоя, а также от характера сборочно-монтажных работ.

При монтаже электро- и радиоаппаратуры наиболее широко применяются канифоль и флюсы, приготовленные (на основе) с добавлением неактивных веществ — спирта, скипидара, глицерина. Остаток канифоли негигроскопичен и является хорошим диэлектриком.

Прочную пайку с ровной поверхностью застывшего припоя можно получить, применив жидкий канифольный флюс, составленный из 20 г измельченной в порошок чистой канифоли, растворенной в 35...40 г чистого спирта, бензина или скипидара. Практически установлено, что при указанной пропорции составных частей флюс при пайке не дает вспышки паров растворителя. Этот флюс нужно хранить в пузырьке с притертой пробкой. Для жидкого флюса не рекомендуется применять канифоль, предназначенную для натирания скрипичного смычка, так как пайка может быть загрязнена посторонними примесями. Хранить жидкий флюс также удобно в полиэтиленовой масленке, хоботок которой закрывается специальной пленкой. С помощью такой масленки можно легко и быстро нанести требуемое количество флюса на место пайки. При этом флюс расходуется значительно экономичнее, уменьшается испарение его растворителя, пайка получается более чистой и аккуратной.

Еще один состав жидкого флюса: канифоль — 6%, глицерин — 14%, спирт (этиловый или денатурированный) — остальное.

Ускорить процесс пайки и повысить в ряде случаев качество соединения можно, применив вместо канифоли глицериновую пасту. С помощью пасты можно паять детали из самых разнообразных металлов и сплавов даже без предварительной зачистки и лужения, что особенно удобно при пайке в труднодоступных мес-

тах. Глицериновую пасту легко изготовить самому. Состав ее следующий: 48% веретенного масла, 12% пчелиного воска, 15% светлой канифоли, 15% глицерина, 10% насыщенного водного раствора хлористого цинка. Изготавливая глицериновую пасту, ее нужно все время подогревать. Сначала расплавляют канифоль, затем добавляют веретенное масло, воск, глицерин и в последнюю очередь хлористый цинк.

Пасту можно изготовить и по более простому рецепту. Кусочки канифоли размельчают в порошок и, подливая глицерин, растирают до густоты сметаны. Паста удобна тем, что она хорошо сохраняется длительное время. Хранить ее можно в любой посуде с крышкой. На место пайки пасту наносят с помощью кусочка проволоки.

В некоторых исключительных случаях вместо канифоли можно использовать ее заменители. Так, канифольный лак, имеющийся в продаже в хозяйственных магазинах, можно применять как жидкий флюс взамен раствора канифоли в спирте.

В качестве флюса при пайке проводников можно в случае крайней необходимости пользоваться также живицей — смолой сосны или ели, — доступным материалом, особенно радиолюбителям, живущим в сельской местности. Такой флюс можно приготовить самому. Набранную в лесу смолу нужно растопить в жестяной банке на слабом огне (на сильном огне она может воспламениться). Расплавленную массу разлить в спичечные коробки. Застывшая смола используется в качестве флюса так же, как канифоль.

Если под рукой канифоли или другого флюса нет, то в самом крайнем случае канифоль можно заменить таблеткой аспирина, имеющейся в домашней аптечке. Недостаток этого флюса — неприятный запах дыма, выделяющийся при плавлении аспирина.

При пайке в домашних условиях припой обычно наносят с помощью горячего паяльника. Контролировать количество расплавленного припоя, переносимого паяльником, крайне затруднительно: оно зависит от температуры плавления припоя, температуры и чистоты жала и от других факторов. Не исключено при этом попадание капель расплавленного припоя на проводники, корпуса элементов, изоляцию. Это заставляет вести работу крайне осторожно и аккуратно, и все же бывает трудно добиться хорошего качества пайки.

Облегчить пайку и улучшить ее можно с помощью паяльной пасты. Для приготовления пасты напильником измельчают при-

пой и смешивают его опилки со спирто-канифольным флюсом. Количество припоя в пасте подбирается опытным путем. Если паста получилась слишком густой, в нее добавляют спирт. Хранить пасту нужно в плотно закрывающейся посуде. На место пайки пасту наносят небольшими дозами металлической лопаточкой. Применение паяльной пасты позволяет избежать перегрева малогабаритных деталей и полупроводниковых приборов.

При сращивании проводов, трубок, стержней, когда нет возможности воспользоваться электрическим паяльником, применяют «паяльную ленту». Чтобы изготовить паяльную ленту, необходимо сначала составить пасту из порошка припоя, канифоли и вазелина. Порошок получают путем опиливания прутка припоя напильником с крупной насечкой (мелкая забивается припоем). Приготовленную пасту наносят тонким слоем на миткалевую ленту. Место пайки обматывают в один слой «паяльной лентой», смачивают бензином или керосином и поджигают. Соединяемые поверхности желательно предварительно облудить.

1.7. ПОЛЕЗНЫЕ СОВЕТЫ

1.7.1. Пайка алюминия

Пайка алюминия припоями ПОС затруднительна, но все же возможна, если оловянно-свинцовый припой содержит не менее 50% олова (ПОС-50, ПОС-61, ПОС-90). В качестве флюса применяют минеральное масло. Лучшие результаты получаются при использовании щелочного масла (для чистки оружия после стрельбы). Удовлетворительное качество пайки обеспечивает минеральное масло для швейных машин и точных механизмов. На место пайки наносят флюс и поверхность алюминия под слоем масла зачищают скребком или лезвием ножа (механическим путем), чтобы удалить всегда имеющуюся на поверхности алюминия оксидную пленку. Паяют хорошо нагретым паяльником. Для пайки тонкого алюминия достаточна мощность паяльника 50 Вт, для алюминия толщиной 1 мм и более желательна мощность 90 Вт. При пайке алюминия толщиной более 2 мм место пайки нужно предварительно прогреть паяльником и только после этого наносить флюс. При химическом методе удаления окисла пленки пайку производят следующим способом: место на алюминиевой панели, к которому предполагается подпаять провод, зачищают и на него аккумуля-

ратно наносят две—три капли насыщенного раствора медного купороса. Далее к панели подключают отрицательный полюс источника постоянного тока, а к положительному полюсу подсоединяют кусок медной проволоки, конец которой опускают в каплю так, чтобы проволока не касалась панели. На панели через некоторое время осядет слой красной меди, к которому (после сушки) припаивают обычным способом нужный провод. В качестве источника тока может быть применена батарейка от карманного фонарика или аккумулятор.

При пайке дюралюминия оксидную пленку можно удалить механическим путем. Для этого предварительно зачищенное место пайки заливают расплавленной канифолью и густо посыпают железными опилками, собранными при опиливании мелким напильником какого-либо гвоздя, винта и т. п. Затем горячим залуженным паяльником, потирая с усилием, хорошо зачищают место пайки, залитое канифолью и посыпанное железными опилками. Железный порошок очистит место пайки от пленки, при этом произойдет облуживание, после чего опилки можно удалить. Далее пайка ведется обычным путем.

Флюс с железными опилками можно приготовить заранее. Для этого опилки собирают на бумагу с помощью приставленного с обратной стороны магнита и добавив канифоли; можно приготовить и флюс-карандаш. Вылейте расплав канифоли с добавленными опилками в трубочку, скрученную из пропитанной парафином бумаги. После остывания такая «самокрутка» легко разматывается, освобождая готовый канифольный стержень.

Паять дюралюминий можно также паяльником со стальным жалом, нанося припой на дюралюминий. Спаиваемые поверхности надо предварительно зачистить и покрыть флюсом, предохраняющим металл от окисления. При этом в качестве флюса нужно использовать стеарин.

К известным способам пайки можно добавить еще один, очень простой. Зачищенное и обезжиренное место пайки покрывают с помощью паяльника тонким слоем канифоли, а затем сразу же натирают таблеткой анальгина (бенальгина). После этого облуживают поверхность припоем ПОС-50 (или близким к нему), прижимая к ней с небольшим усилием жало слегка нагретого паяльника. С облуженного места ацетоном смывают остатки флюса, еще раз осторожно прогревают и снова смывают флюс. Спаивание деталей производят обычным образом.

1.7.2. Пайка нихрома

Пайка нихрома с нихромом, нихрома с медью и ее сплавами, нихрома со сталью может быть осуществлена припоем ПОС-61, ПОС-50, хуже ПОС-40, с применением флюса следующего состава (граммы): вазелин — 100, хлористый цинк в порошке — 7, глицерин — 5. Флюс готовят в фарфоровой ступке, в которую кладут вазелин, а затем добавляют, хорошо перемешивая до получения однородной массы, последовательно хлористый цинк и глицерин. Соединяемые поверхности тщательно зачищают шлифовальной шкуркой и протирают ватой, смоченной в 10%-ном спиртовом растворе хлористой меди, флюсуют, лудят и только после этого паяют.

Значительно лучшие результаты, чем пайка, дает сварка, в особенности, если приходится соединять между собой концы тонкой проволоки. Преимущество сварки состоит в том, что для ее выполнения никаких припоев не требуется. Контакт при этом получается очень надежный, так как температура нагрева свариваемых металлов значительно выше, чем, например, у оловянно-свинцовых припоев. Поэтому при эксплуатации даже от сильного нагрева сваренного контакта соединение проводов не нарушается.

Для соединения проводов из нихрома, константана, манганина и т. п. их следует зачистить, скрутить и пропустить через них ток такой силы, чтобы место сварки накалилось докрасна. На это место пинцетом кладется кусочек ляписа (азотнокислого серебра), который при нагревании расплавляется, в результате чего в месте соединения возникает прочный контакт.

Если диаметр свариваемой проволоки не превышает 0,15...0,2 мм, то ее концы накладывают друг на друга (расстояние 15...20 мм) и на них наматывают тонкую медную проволоку диаметром 0,1...0,15 мм. Затем соединенные таким образом проволочки вносят в пламя горелки. Медь при этом начинает плавиться и прочно соединяет оба высокоомных провода. Оставшиеся концы медной проволоки обрезают, а место сварки изолируют, если нужно. Этот способ применим для соединения медных проводов с проводами из сплавов высокого сопротивления.

Перегоревший провод электронагревательного прибора (нихром, никелин, константан) можно соединить следующим способом: концы провода в месте обрыва вытянуть на длину 15...20 мм и зачистить до блеска шкуркой. Затем из листовой стали или алю-

миния вырезать небольшую пластинку и из нее сделать муфту, надеваемую на провода в месте их соединения. Провода должны быть предварительно скреплены обычной скруткой. В заключение муфту плотно сжимают плоскогубцами.

1.7.3. Лужение провода в эмалевой изоляции

Для зачистки эмалированных проводов малого сечения можно использовать полихлорвиниловую трубку. Отрезок трубки кладут на дощечку и, прижимая провод к трубке плоскостью жала хорошо разогретого паяльника, легким усилием 2–3 раза протягивают провод. При этом одновременно происходит разрушение эмалевого покрытия и лужение провода. Применение канифоли при этом не обязательно. Вместо полихлорвиниловой трубки можно воспользоваться обрезками монтажного провода или кабеля в полихлорвиниловой изоляции.

1.7.4. Вместо припоя — клей

Часто бывает необходимо припаять провод к детали, изготовленной из металла, трудно поддающегося пайке, — нержавеющей стали, хрома, никеля, сплавов алюминия и др. В таких случаях для обеспечения надежного электрического и механического контакта можно использовать следующий способ.

Деталь в месте присоединения провода тщательно зачищается от грязи и оксидов и обезжиривается. Луженый конец провода обмакивают в клей БФ-2 и жалом нагретого паяльника прижимают к месту соединения в течение 5...6 с. После остывания на место контакта наносят 1—2 капли эпоксидного клея и сушат до полного затвердения.

1.7.5. Провод типа «литцендрат»

Снимая изоляцию с проводов типа «литцендрат», необходимо быть очень осторожным. Если хотя бы одна из жил литцендрата окажется не зачищенной или даже не пропаянной, то добротность колебательного контура снизится во много раз (такие провода используются в основном для изготовления катушек индуктивности). Для зачистки литцендрата лучше всего предварительно обжечь изоляцию в пламени спиртовки или спички, не допуская при

этом оплавления проволочек, а затем мягкой фланелевой тряпочкой, смоченной в спирте, или опустив конец провода в спирт, аккуратно снять обгоревшую изоляцию.

1.7.6. Лак для закраски паек

После того как монтаж полностью завершен, места пайки для придания монтажу законченного красивого вида можно закрасить лаком. Подходит для этих целей лак для ногтей. Но можно приготовить и специальный лак: в ацетоне или жидкости для снятия лака с ногтей растворяют очищенную от эмульсии фотопленку и добавляют в раствор несколько капель чернил для авторучек. Цвет изготовленного этим способом лака зависит от цвета и количества влитых в него чернил.

1.7.7. Защита переводных надписей

При окончательной отделке своих конструкций многие радиолюбители пользуются переводным шрифтом. Однако надписи, выполненные таким шрифтом, недостаточно стойки, и их необходимо каким-то образом защитить.

Надежные результаты можно получить, если надпись сначала покрыть тонким слоем яичного белка, а через несколько часов сушки — уже бесцветным нитролаком. Покрытие можно выполнять мягкой кистью.

Глава 2

Постоянный электрический ток

В этой главе вы познакомитесь с понятием электрическая цепь, источник и приемник энергии, изучите основные законы постоянного тока, научитесь решать задачи по расчету электрических цепей. Кроме того, на основе приведенного подробного описания устройств вы можете самостоятельно собрать миллиавольтметр, усилитель звуковой частоты «Электронное ухо». В конце главы приведены полезные советы, которые, надеемся, будут полезны вам в вашей практической работе.

2.1. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Электрическая цепь постоянного тока состоит из источника электрической энергии, приемника электрической энергии и линейных соединительных проводов (рис. 2.1). Вместо слов «приемник энергии» в литературе чаще встречается другое название — «потребитель энергии», «нагрузка источника».

Приведем несколько примеров электрических цепей:

- Источник электрической энергии — электрохимический элемент G (рис. 2.2) или электрохимическая батарея GB (рис. 2.3). Приемник электрической энергии — резистор R (рис. 2.2) или электрическая лампа накаливания EL (рис. 2.3). И, конечно, соединительные провода.
- Источник энергии постоянного тока — выпрямитель переменного тока UZ (рис. 2.4) или электрохимическая батарея GB (рис. 2.5). Приемник энергии — телевизионный приемник (рис. 2.4) или электродвигатель постоянного тока M (рис. 2.5). И, конечно, соединительные провода.
- В некоторых случаях источник энергии становится приемником энергии, например аккумулятор в режиме подзарядки (рис. 2.6).

Для автономного питания радиоэлектронной аппаратуры наиболее широко используются электрохимические источники то-

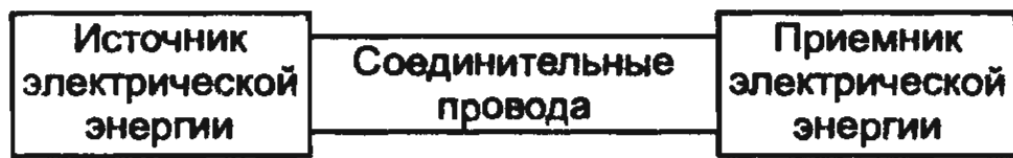


Рис. 2.1. Поясняющий, из каких элементов состоит электрическая цепь постоянного тока

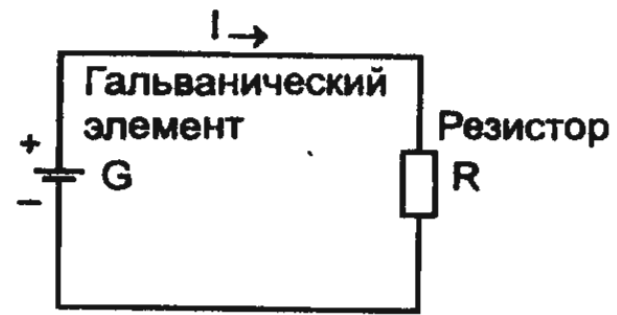


Рис. 2.2. Электрическая цепь, состоящая из гальванического элемента и резистора

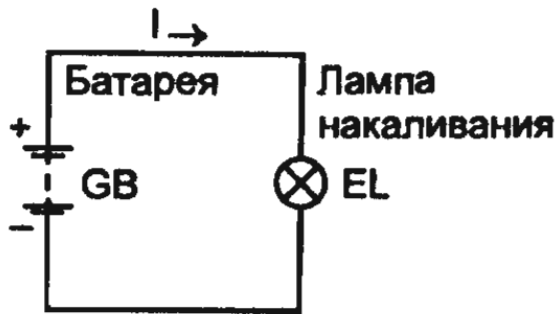


Рис. 2.3. Электрическая цепь, состоящая из электрической батареи и лампы накаливания

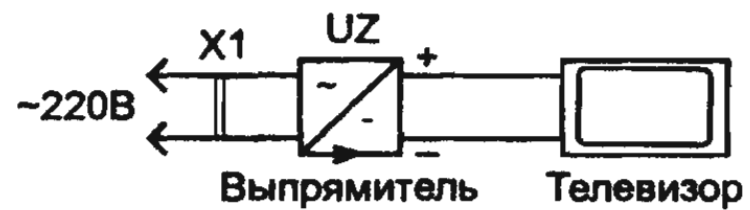


Рис. 2.4. Электрическая цепь, состоящая из выпрямителя (преобразователя переменного напряжения в постоянное) и телевизора

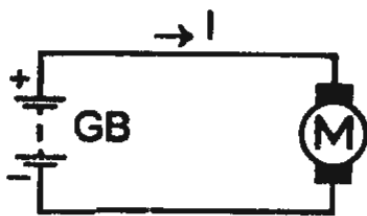


Рис. 2.5. Электрическая цепь, состоящая из аккумулятора и электродвигателя постоянного тока



Рис. 2.6. Электрическая цепь, состоящая из зарядного устройства и аккумулятора (здесь аккумулятор является приемником энергии)

ка — гальванические элементы и батареи, а также аккумуляторы (рис. 2.7). Наибольшее распространение получили элементы 373 (а), 343 (б) и 316 (д). Они различаются размерами и емкостью, исчисляемой в ампер-часах. При одних и тех же условиях эксплуатации химические элементы большего размера обеспечивают питание устройства более продолжительное время. Начальное напряжение элементов в среднем равно 1,6 В. У их аналогов — элементов таких же размеров «Орион М», «Юпитер М» и «Уран М» — электрические характеристики на 10...30% лучше.

Параметр «емкость в ампер-часах», широко применявшийся для оценки количества электричества, отдаваемого гальваническими элементами или батареями, в настоящее время почти полностью вышел из употребления. Причина этого в том, что определение величины емкости, как произведения величины разрядного тока на время разряда, встречает затруднения, поскольку в процессе разряда элемента или батареи разрядный ток не остается постоянным.

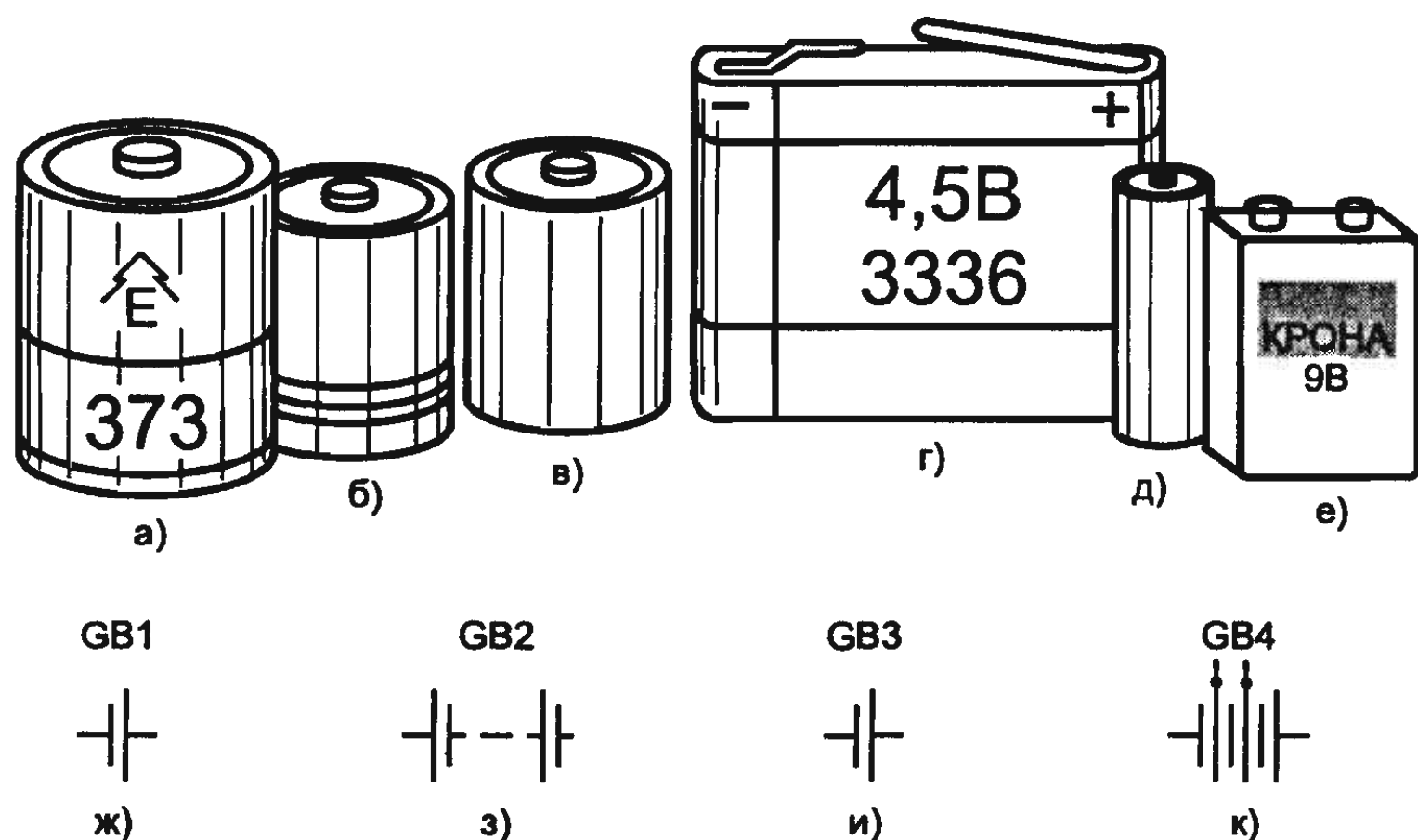


Рис. 2.7. Внешний вид гальванических элементов и батарей, их УГО и БЦО

Более удобным параметром, который в настоящее время и является основным для большинства гальванических элементов и батарей, является продолжительность работы. Это время, в течение которого напряжение на выводах элемента (или батареи), разряжаемого на внешнюю цепь с заданным сопротивлением, снижается до некоторой конечной, тоже заданной величины.

Продолжительность работы большинства цилиндрических элементов при непрерывном разряде, в том числе применяемых для питания транзисторных приемников, определяется в нормальных условиях (комнатная температура) при разряде на цепь с сопротивлением 20 Ом до конечного напряжения 0,85 В. Гарантированная продолжительность работы в этом режиме свежееизготовленных элементов типа 332 составляет 6 часов, элементов типа 343—12 часов и элементов 373 «Марс» — 40 часов.

Если элемент или батарею разряжать на сопротивление меньшей величины или после длительного хранения, то продолжительность их работы сокращается.

Основные параметры некоторых элементов и батарей приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Название	Габариты (мм)	U (В)	R _н (Ом)	I (мА)	E _{мк} (А·ч)	m (г)
316	14—50	1,52	200	7,5	0,5	20
332	22—37	1,4	200	7	0,75	30

Название	Габариты (мм)	U (В)	R _н (Ом)	I (мА)	E _{мк} (А · ч)	m (г)
336	20—58	1,4	20	70	0,7	40
343	26—49	1,55	20	75	0,85	50
373	34—61	1,55	20	75	3,2	110
3336	63—22—67	4,2	60	70	0,7	200
«Крона-ВЦ»	16—26—49	9,0	900	9,5	0,7	35

В таблице приняты следующие обозначения: U — напряжение в начале разряда; R_н — сопротивление нагрузки; I — разрядный ток; E_{мк} — емкость элемента или батареи (в ампер-часах); во второй колонке приводятся габариты источника — там, где приведены две цифры, первая означает диаметр круглого элемента, а вторая его высоту; там, где приведены три цифры, они, как обычно, относятся к высоте, длине и ширине; в последней колонке таблицы приведена масса m в граммах.

В таблице 2.1, а представлены результаты испытаний 200 экземпляров различных батареек.

Таблица 2.1, а

Обозначение по МЭК (отечеств.)	Обозначение изготовит.	Изготовитель (страна)	Емкость А · ч	Относит. стоим., %
R6 (316)	AA SUM-3 15S, R6C, Uran M HR6M, R6P Уран М	Tvtrtady, Tjshiba, Goldtn Power, Sirijus, Hi-Watt (Россия)	0,93 0,71 0,62 0,61...0,68 0,58...0,68 0,59	125 160 170 105 75...120 100
R14 (343)	SUM-2 Юпитер М, С, HR4M, R14P	Toshiba, (Рос- сия) Tvtrtady, Hi-Watt	2,21 1,83 1,72 1,63...3,12	140 100 145 85...125
R20 (373)	SUM-1, 0, R20S, Hr20P, .R20P, 13S Орион М	Toshiba Eveready Sirijus Hi-Watt, Golden Power(Россия)	4,23 3,89 3,21 2,37...3,4 2,28 2,05...3,11	120 110 30...35 95...115 165 90..120.
6F22 (Крона)	H6F22M, 1604 216ST	Hi-Watt Evtrtady GoldenPower	0,31 0,28 0,23	100 190 185

Карманные радиоприемники питаются от малогабаритных батарей типа «Крона» (е), начальное напряжение которых 9 В. Используются также батареи 3336Л (г), начальное напряжение которых равно 4,5 В, или аккумуляторная батарея 7Д-0,1 из дисковых аккумуляторов (в), начальное напряжение которой 8,75 В. Батарею можно составить и из последовательно соединенных аккумуляторов Д-0,1 или Д-0,25. Напряжение каждого из них равно 1,25 В. Соединив два аккумулятора, как показано на рис. 2,7,к, получим батарею, номинальное напряжение которой равно 2,5 В.

На схеме гальванический элемент и аккумулятор обозначаются так, как показано на рис. 2.7,ж,з соответственно. Батарею можно обозначать и так, как на рис. 2.7, и, указывая ее напряжение в вольтах.

Широкое применение в радиоэлектронике находят резисторы. Наиболее распространенные типы непроволочных резисторов (рис. 2.8): ВС (а) — высокостабильные, сопротивлением 10 Ом...1 МОм на рассеиваемую мощность 0,125...10 Вт; УЛМ (б) — углеродистые лакированные малогабаритные, сопротивлением 10 Ом... 1 МОм на рассеиваемую мощность 0,12 Вт; МЛТ (в) — металлизированные лакированные теплостойкие, сопротивлением 8,2 Ом... 10 МОм на рассеиваемую мощность 0,125...2 Вт. Кроме названных, используются и другие типы непроволочных резисторов: ОМЛ, ОМЛТЕ (при таких же параметрах, что и МЛТ, обладают повышенной механической прочностью и надежностью); МТ, МТЕ, С1-4 и С2-6 (по внешнему виду, размерам и рассеиваемой мощности аналогичны резисторам МЛТ, но более теплостойкие).

Из проволочных резисторов в радиоэлектронной аппаратуре применяются следующие типы: ПЭ (г) — проволочные эмалированные, сопротивлением 1 Ом...51 кОм на рассеиваемую мощность 7,5...150 Вт; ПЭВ (д) — проволочные эмалированные влагостойкие, сопротивлением 1 Ом...56 кОм на рассеиваемую мощность 2,5...100 Вт. Для печатного монтажа специально разработаны и выпускаются резисторы С5-14В (з), С5-22 (и), С5-41 (к), С5-44 (л), С5-49 (м), С5-55 (н), С5-58 (о), сопротивлением 1 Ом...20 МОм на рассеиваемую мощность 0,05...10 Вт.

Малогабаритные и миниатюрные резисторы имеют сокращенное обозначение. Если сопротивление резистора выражается целым числом, то обозначение единицы этой величины пишется после него. Например, 47ЕС — 47 Ом \pm 10% (для резисторов, изготовленных после 01.07.84 г., обозначение другое: 47РС), 51 КВ — 51 кОм 20%, 47МВ — 47 МОм 20%. Здесь буквы С, В и проценты показывают допустимое отклонение сопротивления от номинала.

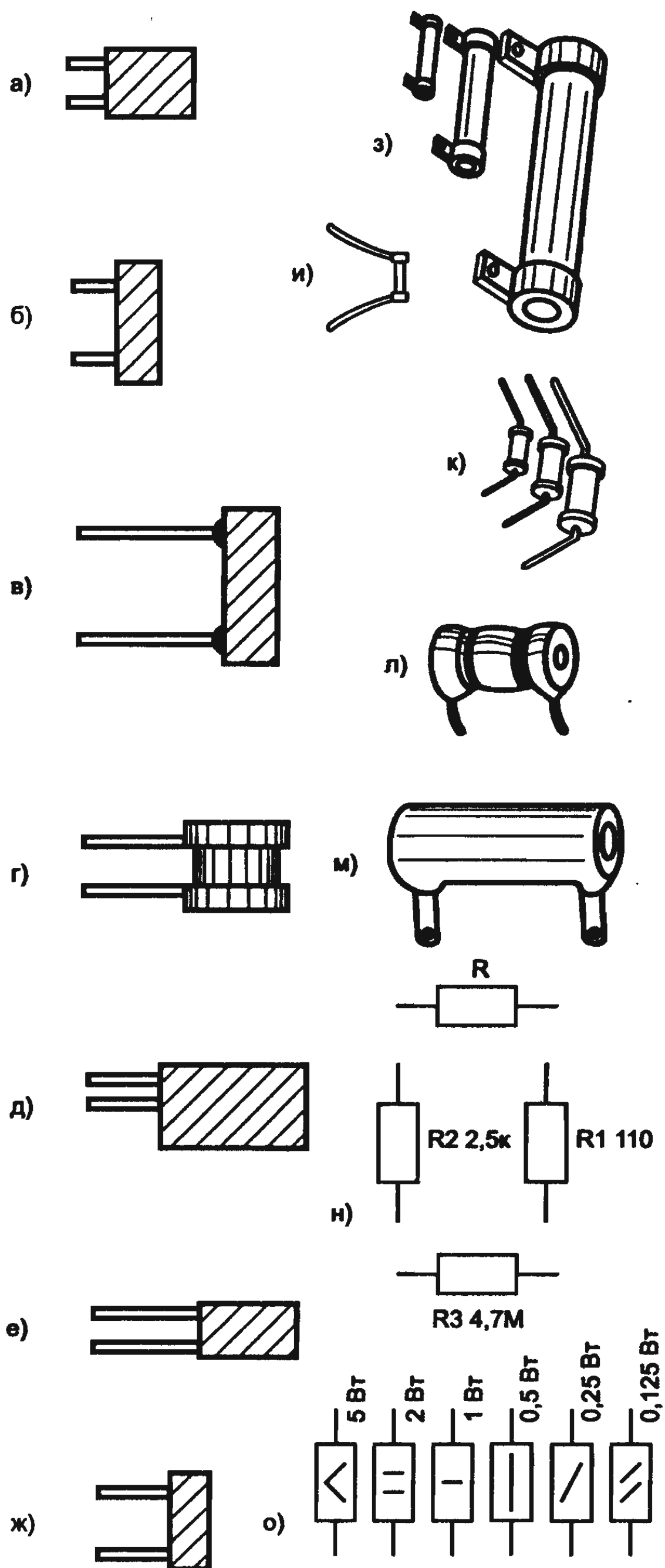


Рис. 2.8. Внешний вид, УГО и БЦО постоянных резисторов

Если значение сопротивления резистора дробное, то буквенное обозначение ставят вместо запятой. Например, резистор сопротивлением 2,2 кОм при допустимом отклонении от номинала $\pm 5\%$ маркируют как 2K2I, резистор сопротивлением 5,6 Ом маркируют как 5R6C (5,6 Ом $\pm 10\%$).

Если сопротивление резистора выражается десятичной дробью с нулем впереди, то вместо нуля и запятой впереди ставят буквенное обозначение единицы этой величины. Например, K33C — 0,33 кОм $\pm 10\%$, M51B — 0,51 МОм 20%. Для указания мощности, на которую рассчитан резистор, применяются обозначения, показанные на рис. 2.8, ж.

Основные параметры резисторов:

1. Номинальное сопротивление (номинал);
2. Допустимое отклонение от номинала;
3. Номинальная рассеиваемая мощность;
4. Температурный коэффициент сопротивления (ТКС);
5. Уровень собственных шумов.

I. Номинальное сопротивление R_n — сопротивление, указанное на резисторе. Фактическое сопротивление резистора может отличаться от номинала на значение, не превышающее допустимое отклонение. Измеряется в омах (Ом), килоомах (кОм), мегаомах (МОм). 1 МОм = 1000 кОм = 1 000 000 Ом.

Номинальные сопротивления резисторов имеют строго определенную градацию; установлено шесть рядов номинальных сопротивлений: E6, E12, E24, E48, E96, E192. Число, стоящее после символа E, определяет количество номиналов величин в ряду. Каждый ряд задается числовыми коэффициентами, умноженными на 10^n , где n — целое положительное или отрицательное число. Это будут числа: 0; 1; 10; 100; 1000 и т.д.

Резисторы изготавливаются с номинальными сопротивлениями, соответствующими одному из числовых коэффициентов ряда. Наиболее распространенными являются ряды E6, E12, E24, которые представлены в таблице 2.2.

Если Вы разобрались с таблицей, то ответьте на вопросы, не глядя в таблицу: сколько числовых коэффициентов имеется в ряду E12? (Ответ: 12.)

Примеры пользования таблицей 2.2.

1. В ряду E6, например, величине номинала «1,5» соответствуют сопротивления: 0,15; 1,5; 15; 150 Ом; 1,5; 15; 150 кОм; 1,5; 15; 150 МОм и т.д.

Таблица 2.2

Ряд	Числовые коэффициенты						Отклонение, %
E6	1,0	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8	± 20
E12	1,0	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8	± 10
	1,2	1,8	2,7	3,9	5,6	8,2	
E24	1,0	1,5	2,2	3,3	4,7	6,8	± 5
	1,1	1,6	2,4	3,6	5,1	7,5	
	1,2	1,8	2,7	3,9	5,6	8,2	
	1,3	2,0	3,0	4,3	6,2	9,1	

2. В ряду E24 величине номинала «4,3» соответствуют сопротивления: 0,43; 4,3; 43; 430 Ом; 4,3; 43; 430 кОм и т.д.

II. Допустимое отклонение от номинала также нормировано и соответствует ряду: $\pm 0,01$; $\pm 0,02$; $\pm 0,05$; $\pm 0,1$; $\pm 0,2$; $\pm 0,5$; $\pm 1,0$; $\pm 5,0$; ± 10 ; ± 20 ; $\pm 30\%$.

- *Пример 1.* Резистор сопротивлением 10 кОм имеет допустимое отклонение 10%. Значит, его сопротивление может принимать любое значение в интервале от 9 кОм до 11 кОм (так как 10% от 10 кОм составляют 1 кОм). В таблице 2.2. приведены допустимые отклонения номиналов сопротивлений для рядов E6, E12, E24.
- *Пример 2.* Вам нужен резистор сопротивлением 62 кОм, допустимое отклонение которого не должно превышать 5%. Из каких рядов номинальных сопротивлений можно выбрать эту величину? (Ответ: E24, т.к. только резисторы этого ряда имеют допустимое отклонение от номинала 5%).
- *Пример 3.* Вам нужен резистор сопротивлением 390 Ом, допустимое отклонение которого не должно превышать 10%. Из каких рядов номинальных сопротивлений можно выбрать эту величину? (Ответ: E12, E24).
- *Пример 4.* Расчетным путем, например, вы определили, что нужен резистор сопротивлением 44 кОм. Но резистор с таким номиналом промышленность не выпускает (его нет в ряду номинальных сопротивлений), поэтому требуется выбрать ближайший номинал из имеющихся в рядах номинальных сопротивлений (таблица 2.2.). Из таблицы видим, что наиболее близким по номиналу являются резисторы сопротивлени-

ем 43 кОм (ряд E24) и 47 кОм (ряды E6, E12 и E24). Резисторы сопротивлением 43 кОм имеют допустимое отклонение 5% (ряд E24), поэтому их сопротивление равно $43 \pm 2,15$ кОм, т.е. сопротивления этих резисторов могут принимать любое значение в интервале от 40,85 кОм до 45,15 кОм (т.к. 5% от 43 кОм составляют 2,15 кОм).

Если вы затрудняетесь с вычислением процентов, то рекомендуем воспользоваться правилом пропорции. Для данного примера:

$$\begin{aligned} 43 \text{ кОм} &\rightarrow 100\%, \\ R_0 \text{ кОм} &\rightarrow 5\%. \end{aligned}$$

Отсюда неизвестная величина: $R_0 = 43 \cdot 5/100 = 2,15$ кОм.

Резистор 47 кОм из ряда E24 имеет допустимое отклонение $\pm 5\%$, поэтому его сопротивление может находиться в пределах от 44,65 кОм до 49,35 кОм (т.к. 5% от 47 кОм составляют 2,35 кОм), и для наших целей он не подходит. Правила вычисления здесь такие же, как и выше:

$$\begin{aligned} 47 \text{ кОм} &\rightarrow 100\%, \\ R_0 \text{ кОм} &\rightarrow 5\%. \end{aligned}$$

Отсюда: $R_0 = 47 \cdot 5/100 = 2,35$ кОм.

А вот резисторы сопротивлением 47 кОм из ряда E12 (а тем более из ряда E6) можно использовать, так как их сопротивление может находиться в пределах от 42,3 кОм до 51,7 кОм (для ряда E12) и от 37,6 кОм до 56,4 кОм (для ряда E6).

Чтобы из этих резисторов выбрать нужный сопротивлением 44 кОм, необходимо использовать омметр. Следует иметь в виду, что и омметр имеет погрешности измерения; так, например, авометр Ц4317 имеет погрешность измерения сопротивления 1,5%.

III. Номинальная рассеиваемая мощность P_n — это максимальная мощность, на которую рассчитан резистор при длительной его работе без изменения его параметров в течение гарантийного срока службы. Измеряется в ваттах (Вт), милливаттах (мВт):

$$1 \text{ Вт} = 1000 \text{ мВт}.$$

Ограничивающими факторами при работе резистора являются температура окружающей среды и максимальное напряжение. Поэтому с повышением температуры допустимая рассеиваемая мощность снижается. Рабочее напряжение резистора не должно пре-

вышать напряжения, рассчитанного исходя из номинальной мощности P_n и номинального сопротивления R_n : $U_n \leq \sqrt{P_n \cdot R_n}$

Например, для резистора сопротивлением 1 кОм и рассеиваемой мощностью 0,125 Вт максимальное напряжение составляет 15 В. Однако при больших номинальных сопротивлениях это напряжение может достигать таких значений, при которых возможен пробой. Поэтому для каждого типа резистора с учетом его конструкции устанавливается предельное рабочее напряжение $U_{\text{пред}}$.

Номинальную рассеиваемую мощность в ваттах выбирают из ряда: 0,01; 0,025; 0,05; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 5; 10; 15; 25; 50; 75; 100; 150; 250; 500 Вт. Наиболее распространенные значения рассеиваемой мощности равны: 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2 Вт.

Чтобы любой прибор надежно работал в отведенный для него гарантийный срок, резисторы не должны работать в предельном режиме. Рассеиваемая резистором мощность не должна превышать $0,8 \cdot P_{\text{макс}}$.

Условное графическое обозначение (УГО) постоянных резисторов с указанием рассеиваемой мощности показано на рис. 2.8, ж: *чем больше рассеиваемая мощность, тем больше размеры резистора*. На рис. 2.8, в показан общий вид резисторов МЛТ.

IV. Температурный коэффициент сопротивления (ТКС) — это величина, характеризующая относительное изменение сопротивления резистора при изменении температуры на 1°C .

Так, ТКС резисторов типа МТ и МЛТ не превышает $0,02\%/^\circ\text{C}$. Вы можете провести несколько экспериментов. Возьмите какой-либо резистор, например МЛТ или ВС, подключите его к омметру. Прибор «покажет» какое-то сопротивление резистора. Поднесите под резистор на расстоянии нескольких сантиметров горящую спичку и понаблюдайте за положением стрелки омметра. В этом эксперименте стрелка отклонится незначительно, это означает, что резисторы МЛТ и ВС имеют малый ТКС. А вот если вы проделаете аналогичный эксперимент с терморезистором (о них речь пойдет ниже), то увидите, что его сопротивление меняется значительно при изменении температуры.

V. Уровень собственных шумов резистора — это отношение электрического напряжения помех резистора, возникающих при прохождении по нему постоянного тока, к приложенному напряжению.

По уровню шумов некоторые резисторы делятся на две группы. К группе А относятся резисторы, уровень шумов которых не более

1 мкВ/ В в полосе частот 60 Гц...6 кГц. К группе Б относятся резисторы, уровень шумов которых превышает 1 мкВ/ В. Некоторые специальные резисторы имеют более низкий уровень собственных шумов, а переменные резисторы имеют более высокий уровень за счет шумов переходного контакта.

А как на практике проявляется этот параметр? Во время паузы при прослушивании передач по приемнику (особенно если он много лет находится в эксплуатации) в динамике прослушивается «шипение». Это и есть проявление собственных шумов резисторов (и других элементов приемника).

Широкий класс резисторов составляют переменные резисторы (потенциометры), которые позволяют плавно изменять сопротивление. Они делятся на непроволочные, проволочные и полупроводниковые. Среди непроволочных переменных резисторов наибольшее распространение получили резисторы следующих типов (рис. 2.9): СП (а) — сопротивления переменные от 470 Ом до 5 МОм на рассеиваемую мощность 0,25...2 Вт; СПО (е) — сопротивления переменные объемные от 47 Ом до 4,7 МОм на рассеиваемую мощность 0,15...2 Вт; СПЗ — малогабаритные с выключателем (б) и без него (в).

Потенциометры имеют три вывода: два от концов токопроводящего слоя и средний от щетки ползунка. УГО потенциометра на схемах показано на рис. 2.9,ж слева, а подстроечного резистора — на рис. 2.9,ж справа. Кроме одинарных применяются сдвоенные переменные резисторы (г); варианты УГО их на схемах показаны на рис. 2.9,к:

По характеру изменения сопротивления в зависимости от угла поворота оси резистора переменные непроволочные резисторы выпускаются со следующими функциональными характеристиками (д): А — линейные, Б — логарифмические, В — обратно логарифмические. Характеристики Е и И имеют сдвоенные переменные резисторы с общей осью, применяемые в регуляторах стереобаланса двухканальных стереофонических устройств: один из них включается в левый канал, другой — в правый. Маркировка переменных резисторов и БЦО (Буквенно-цифровое обозначение) их на схемах такие же, как и постоянных.

Для стабилизации работы радиоэлектронной аппаратуры используются полупроводниковые резисторы — терморезисторы (з) и варисторы (л). Основным параметр первых — температурный коэффициент сопротивления (ТКР), в зависимости от которого они делятся на терморезисторы с отрицательным ТКС и с положитель-

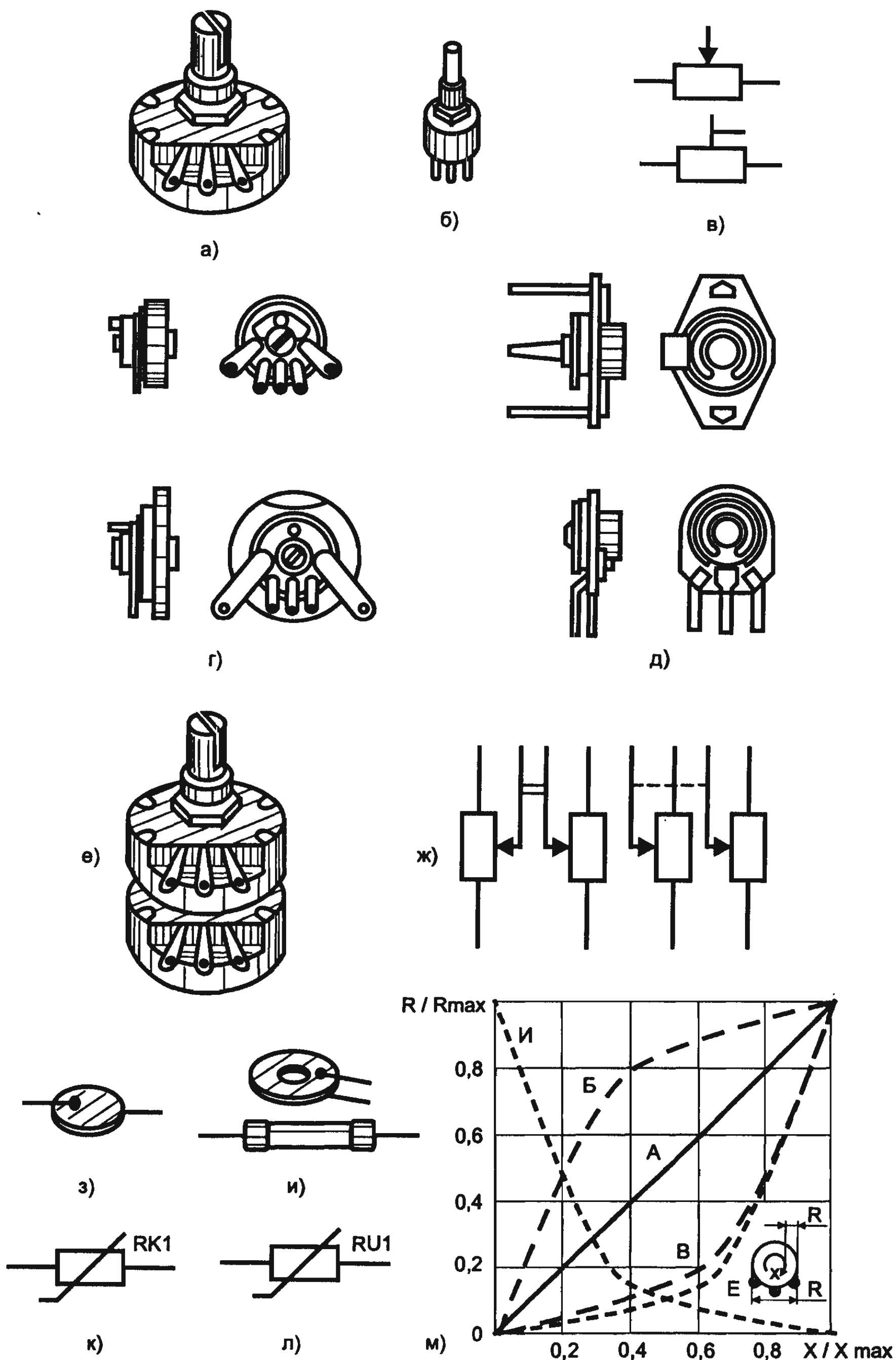


Рис. 2.9. Внешний вид, УГО и БЦО непроволочных и полупроводниковых переменных резисторов

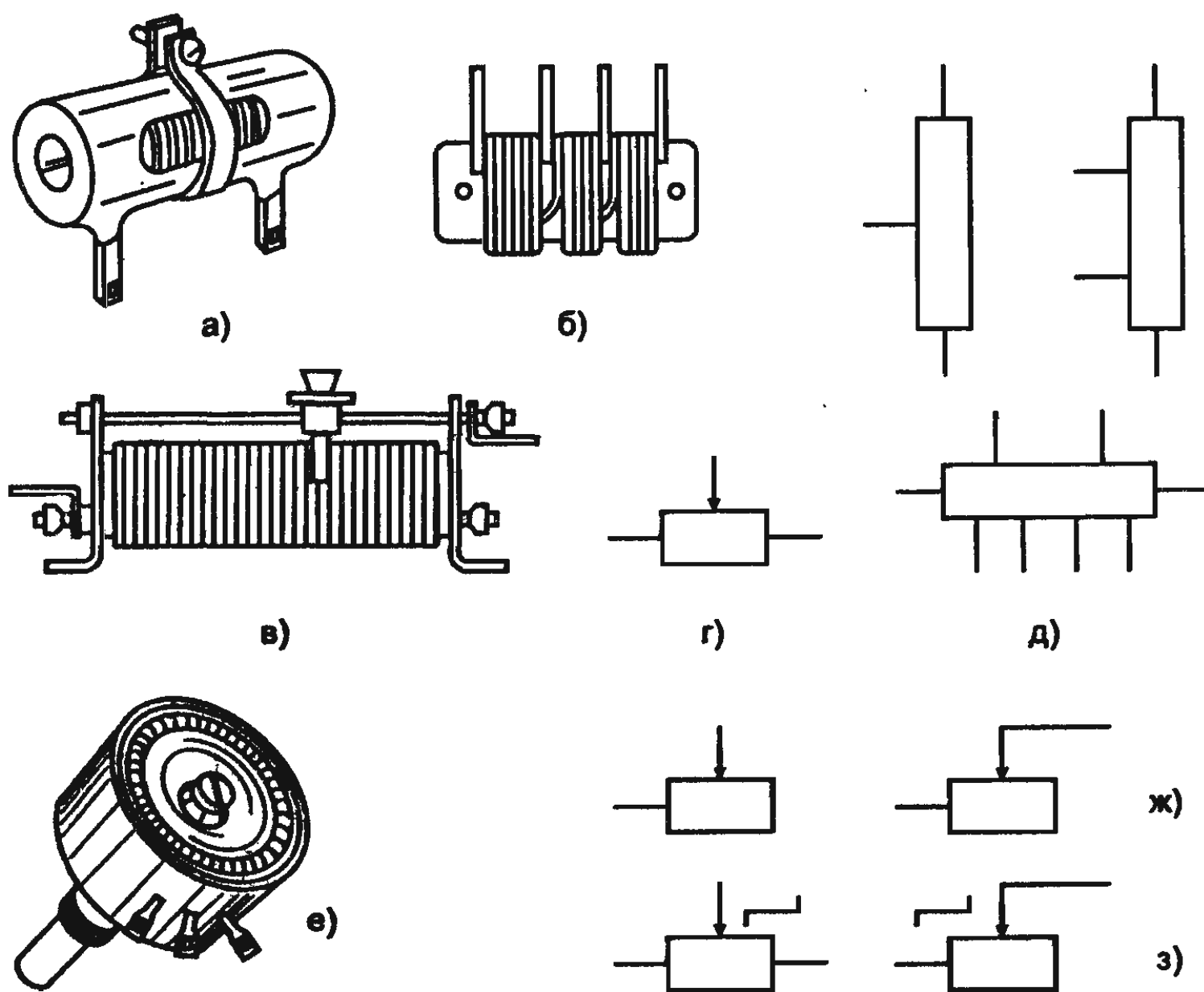


Рис. 2.10. Общий вид, УГО проволочных переменных резисторов

ным ТКС. Номинальное сопротивление терморезисторов составляет 1 Ом...10 МОм. Используются для температурной стабилизации электрических цепей и контуров, для температурной компенсации электроизмерительных приборов, в устройствах измерения и регулирования температуры и в устройствах автоматики и контроля. УГО и БЦО терморезистора с положительным ТКР на схемах показаны на рис. 2.9, и. Параметры терморезисторов приведены в таблице П1 Приложения.

Варисторы — это полупроводниковые резисторы, сопротивление которых зависит от приложенного напряжения. Они выпускаются двух видов: стержневые и дисковые (рис. 2.9, л). Находят применение в стабилизаторах и ограничителях напряжения, в частности в устройствах стабилизации высоковольтных источников напряжения телевизоров, для стабилизации тока в отклоняющих катушках кинескопов, в системах размагничивания цветных кинескопов, в системах автоматического регулирования и т.д. УГО и БЦО варисторов на схеме приведены на рис. 2.9, м. Параметры варисторов приведены в таблице П2 Приложения.

Конструкция переменных проволочных резисторов, используемых в радиоэлектронной аппаратуре, зависит от назначения и

места установки в устройстве. При внутренней установке такие резисторы (рис. 2.10, а) могут иметь линейную либо функциональную зависимость сопротивления от перемещения подвижного контакта и выполняются как с круговым, так и с прямолинейным перемещением подвижного контакта. Пределы изменения их сопротивления составляют 10 Ом...47 кОм при допустимой рассеиваемой мощности 1...5 Вт.

Широкое распространение получили переменные резисторы группы ПП1 и малогабаритные подстроечные резисторы группы СПБ. УГО резистора с плавным регулированием сопротивления показаны на рис. 2.10,б: слева общее обозначение, справа — переменный резистор, у которого не используется один вывод.

2.2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК И НАПРЯЖЕНИЕ

Прежде чем вести разговор об электрическом токе, совершим маленький экскурс в историю. Он поможет усвоить основные понятия об электричестве.

- Уильям Гильберт (1540—1603 гг.) предложил прилагательное **электрический** для описания силы притяжения (янтарь, натертый шерстью или мехом, притягивает перья или кусочки соломы); это понятие происходит от греческого слова **электрон**, означающего **янтарь**.

- Представление о содержащихся в веществах электрических частицах было высказано в качестве гипотезы английским ученым Г. Джонстоном Стонеем. В 1891 г. он предложил название **электрон** для введенной им единицы электричества. Зная о существовании электронов, можно довольно просто объяснить некоторые свойства электричества. В любом металле имеются электроны, обладающие значительной свободой движения, и при приложении разности потенциалов они перемещаются между атомами данного металла.

Постоянный электрический ток, протекающий по медной проволоке, представляет собой поток электронов вдоль этой проволоки. Проведем простой эксперимент (рис. 2.11): с помощью ключа SA подключим батарею 3336Л на несколько секунд к электролитическому конденсатору емкостью 50 мкФ, который за это время успеет зарядиться до напряжения батареи; затем вместо батареи переключателем SA подключим к конденсатору электрическую лампочку от карманного фонаря. Лампочка на мгновение вспыхнет, что свидетельствует о кратковременном протекании тока.

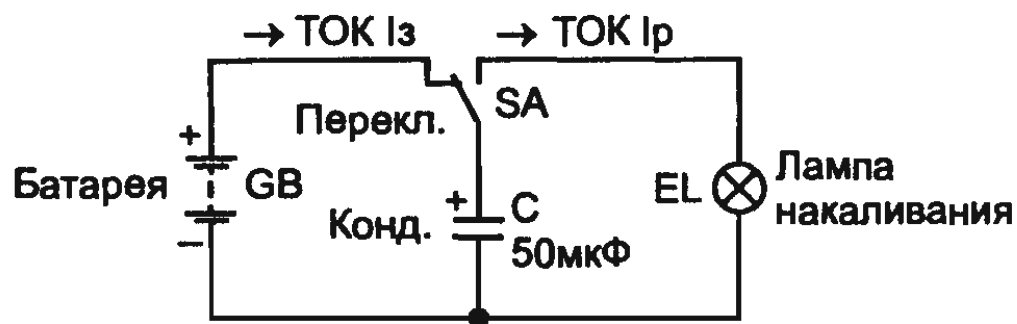


Рис. 2.11. Поясняющий процесс накопления зарядов и протекания тока через лампу накаливания

Чтобы лучше представить весь этот процесс, воспользуемся аналогией между электрическим током и течением воды по трубе. Так как труба оказывает тормозящее действие на воду, то для обеспечения протекания воды по ней необходимо создать между входом и выходом трубы некоторую разность давлений. В водопроводе, например, эта разность давлений создается с помощью водонапорной башни, уровень воды в которой выше любой точки водопроводной сети. Разность уровней (или напор) эквивалентны разности потенциалов (напряжению) электрической цепи, а наполненный водой бак на вершине водонапорной башни играет роль заряженного конденсатора. И подобно тому, как при протекании электрического тока конденсатор разряжается и разность потенциалов на его обкладках падает, стремясь к нулю, так и бак постепенно опорожняется, а разность уровней стремится к нулю, и течение воды прекращается, подобно электрическому току. Чем меньше емкость конденсатора и больше сила тока, протекающего через лампочку накаливания, тем на меньшее время будет вспыхивать лампочка; аналогично течение воды прекратится тем быстрее, чем меньше емкость бака и чем больше расход воды (чем больше диаметр труб). Следуя этой же аналогии, количество воды измеряют в кубических метрах (м^3); количество электричества обычно измеряют в кулонах (Кл), ампер-секундах (АЧтный метр ($\text{Н}/\text{м}^2$)). Электрический ток в проводнике зависит от разности электрических потенциалов (или от падения напряжения между концами проволоки), измеряемого в вольтах (В).

Не огорчайтесь, если из прочитанного материала вам не все понятно. Это вполне закономерно. Шаг за шагом, изучая новый материал, вы будете не один раз возвращаться назад, к ранее прочитанному, и таким образом будете как бы заново открывать для себя ранее прочитанное.

А теперь проведем простой эксперимент (рис. 2.12, а): между двумя деревянными столбиками натянута тонкая нихромовая проволока, которая соединена с выводами выпрямителя переменного

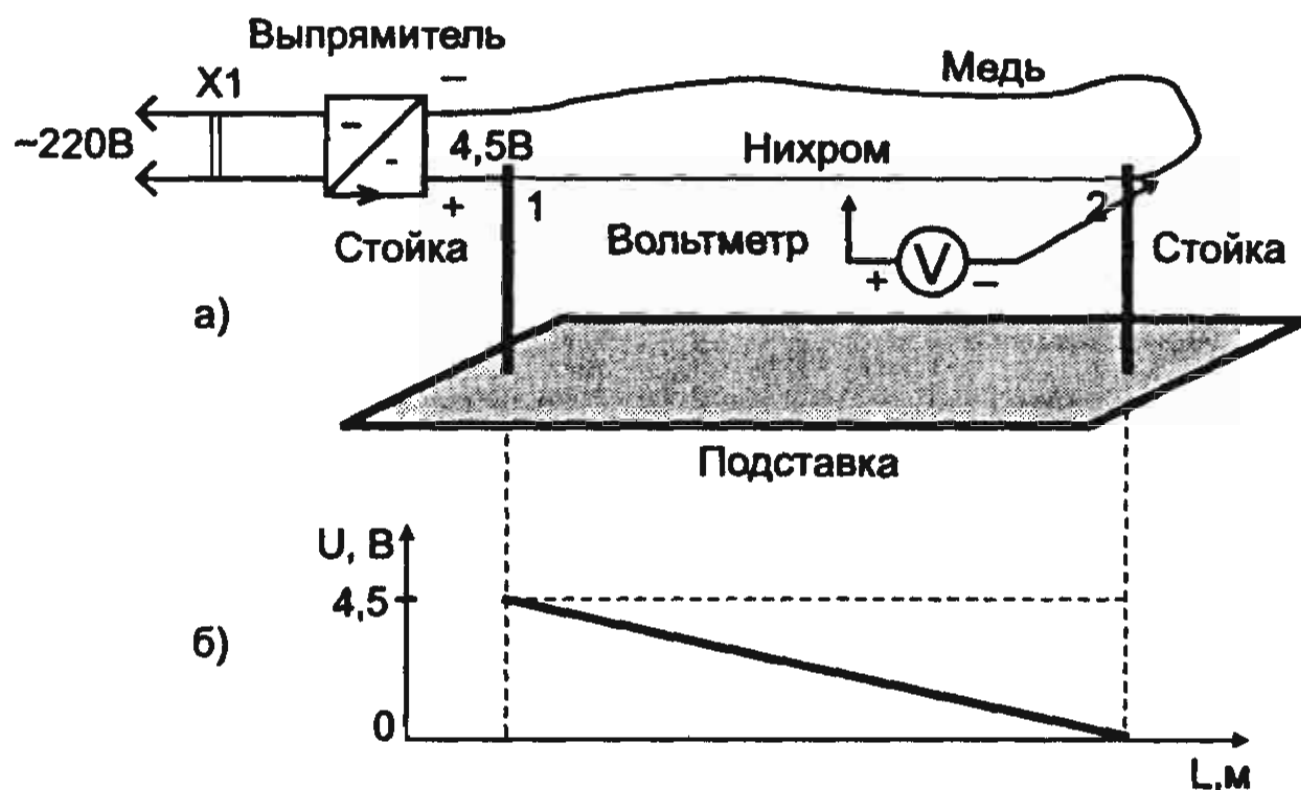


Рис. 2.12. Демонстрирующий распределение напряжения вдоль проводника с током

тока с выходным напряжением 4,5 В с помощью толстых медных проводов. Нихромовая проволока выбрана потому, что она имеет значительно большее сопротивление, чем медная, поэтому она будет более короткой. С помощью вольтметра определим падение напряжения на проволоке вдоль ее длины. Для этого общий зажим вольтметра с помощью провода (щупа) подсоединим к столбику 2, а щуп от положительного зажима вольтметра будем перемещать вдоль проволоки (нихрома). Когда щуп находится у столбика 1, вольтметр покажет напряжение 4,5 В, а когда щуп будет придвинут к столбику 2, вольтметр покажет нуль напряжения. График распределения напряжения вдоль проволоки приведен на рис. 2.12, б (сплошная линия). Если медный провод отсоединить от отрицательного провода выпрямителя, то тока в проводнике не будет. Если теперь подключим общий зажим вольтметра к отрицательному выводу выпрямителя, то вольтметр будет показывать напряжение 4,5 В независимо от положения его щупа (рис. 2.12, б, пунктирная линия). Если Вы не совсем хорошо поняли, почему так получается, попробуем снова обратиться к аналогии между прохождением электрического тока по цепи и воды по трубе. Существование разности потенциалов между точками проводника с током аналогично существованию разности давлений в струе жидкости при ее течении с трением по трубе. Это сходство можно проследить на приборе, изображенном на рис. 2.13. Наклонная пунктирная линия на рисунке показывает распределение давления вдоль горизонтальной трубы (сравните ее с наклонной линией распределения напряжения вдоль проводника на рис. 2.12, б). Если закрыть кран на конце трубы (рис. 2.13), то течение жидкости

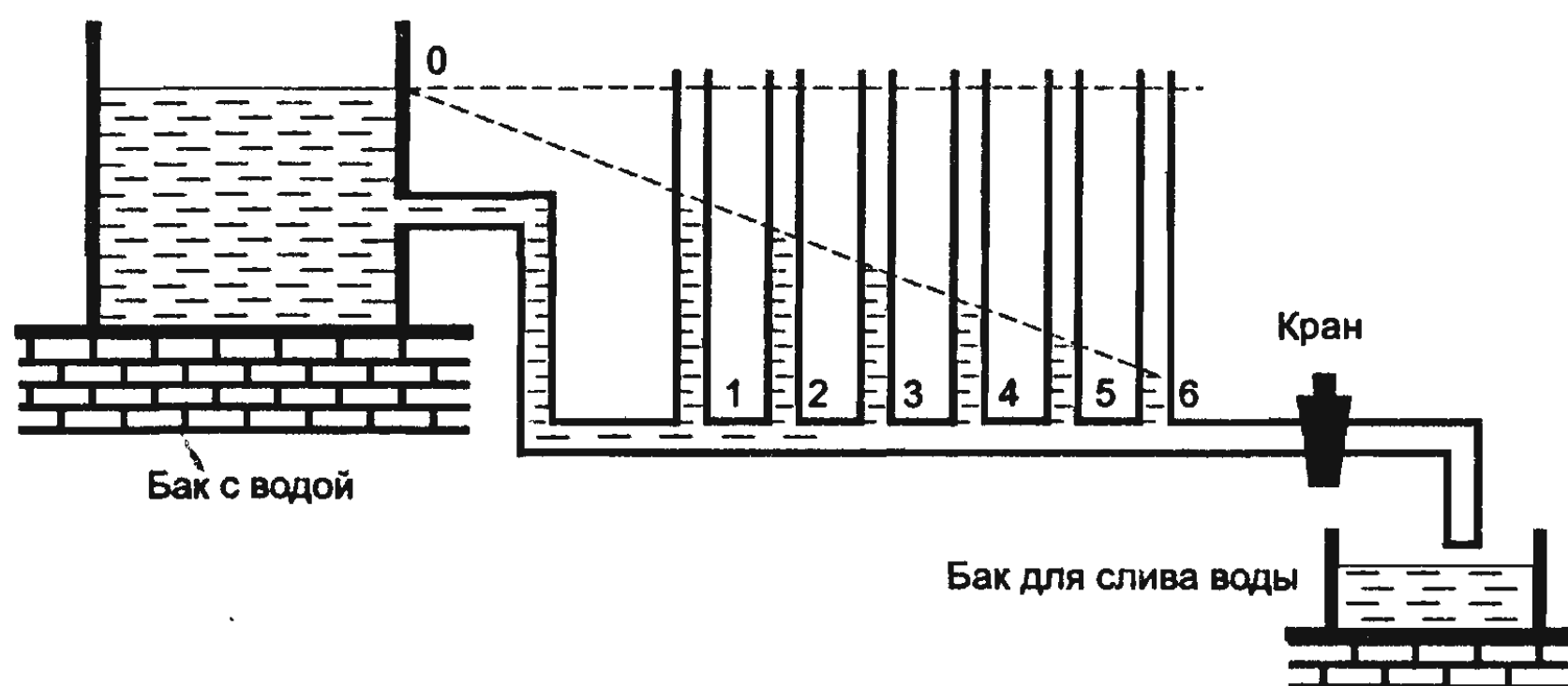


Рис. 2.13. На котором можно продемонстрировать аналогию между потоком жидкости и силой тока в проводнике, между электрическим потенциалом и давлением воды на концах трубы

прекратится и во всех трубах 1—5 жидкость установится на одном уровне (обозначенном штрих-пунктирной линией), что свидетельствует об отсутствии разности давлений, точно так же, как между точками проводника, по которому не течет ток, нет разности потенциалов. При открывании крана возникает течение жидкости, между участками горизонтальной трубы появляется разность давлений (наклонная пунктирная линия).

2.3. ЗАКОН ОМА. СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРОВОДОВ

Закон Ома для участка цепи устанавливает зависимость между силой тока, протекающего через проводник (резистор), и напряжением, приложенным к концам этого проводника (резистора). Этот закон носит название в честь немецкого физика Георга Ома (1787—1854 гг.).

$$I = U / R. \quad (2.1)$$

Здесь I — сила тока в проводнике, измеряется в амперах (А), миллиамперах (мА) или микроамперах (мкА); U — напряжение, приложенное к концам проводника, измеряется в вольтах (В), милливольты (мВ), микровольты (мкВ); R — сопротивление проводника, измеряется в омах (Ом), килоомах (кОм), мегомах (МОм). Из закона Ома следует, что чем больше сопротивление проводника R , тем меньше сила тока I в проводнике при одном и том же напряжении U между концами проводника.

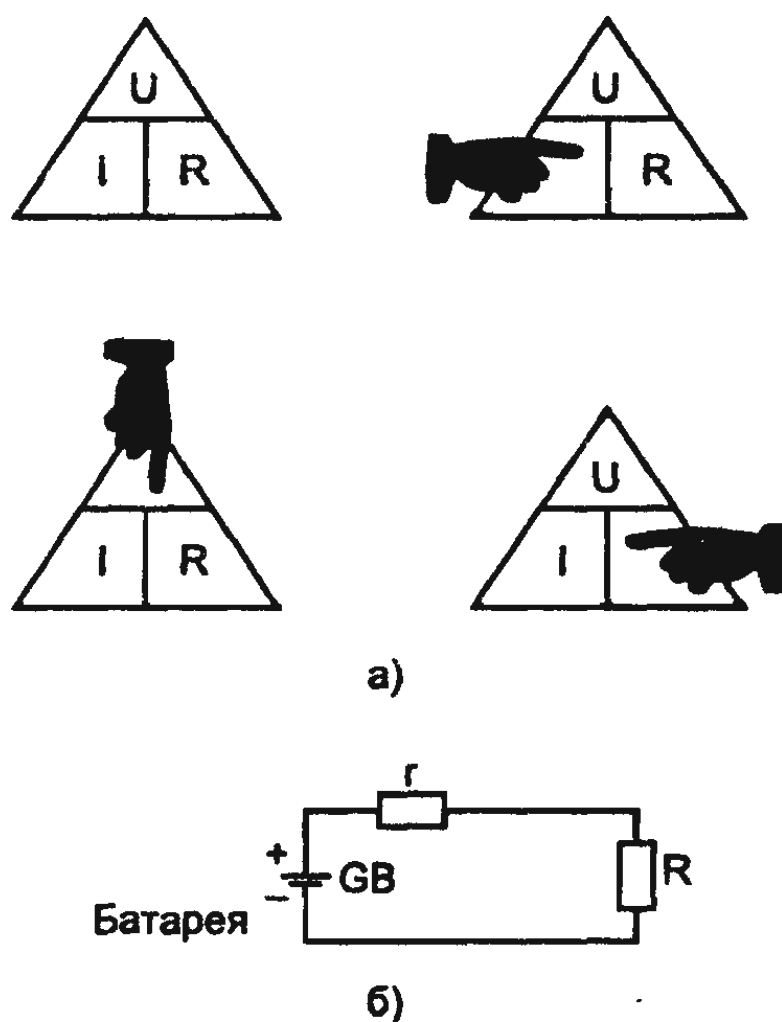


Рис. 2.14. Который позволяет быстро записать формулы для закона Ома

Формулу (2.1) можно записать иначе:

$$U = I \cdot R. \quad (2.2)$$

Из этой формулы видно: чем меньше сопротивление R проводника при одной и той же силе тока I , протекающей через проводник, тем меньше напряжение U , требуемое для протекания этого тока через этот проводник.

Зная силу тока I , протекающего через проводник, а также напряжение U , приложенное к концам проводника, из формулы (2.1) можно определить сопротивление R этого проводника:

$$R = U / I. \quad (2.3)$$

При пользовании этими формулами обратите особое внимание на соответствие размерностей входящих величин. Сила тока I должна быть выражена в амперах, напряжение U в вольтах, а сопротивление R в омах. Для того чтобы запомнить закон Ома, можно из картона вырезать равносторонний треугольник и оформить его, как показано на рис. 2.14. Искомую величину (силу тока I , напряжение U или сопротивление R) закрывают пальцем на треугольнике, а взаимное расположение двух оставшихся открытыми величин укажет, какие арифметические действия над ними необходимо произвести: на левом нижнем рисунке — умножение, на правых рисунках — деление.

Решим несколько примеров.

- Вычислить силу тока I , протекающего через проводник, имеющий сопротивление $R = 5$ Ом, если к нему приложено напряжение $U = 1,5$ В.

Решение. $I = U/R = 1,5/5 = 0,3$ А.

- К электрической лампе накаливания приложено напряжение $U = 220$ В, при этом через нее протекает сила тока $I = 300$ мА. Вычислить сопротивление нити накала.

Решение. Так как сила тока выражена в миллиамперах, преобразуем в амперы. Учитывая, что 1 А = 1000 мА, составим пропорцию:

$$\begin{aligned} 1 \text{ А} &\rightarrow 1000 \text{ мА}, \\ 1 \text{ А} &\rightarrow 300 \text{ мА}. \end{aligned}$$

Отсюда $I = 1 \cdot 300 / 1000 = 0,3$ А.

А теперь вычислим сопротивление нити накала:

$$R = U/I = 220/0,3 = 733 \text{ Ом}.$$

- Человек случайно коснулся руками двух проводов, находящихся под напряжением $U = 220$ В. Сопротивление человеческого тела $R = 36$ кОм (оно различно для различных людей). Чему равна сила тока, проходящего через тело человека? *(Это опасно для жизни, поэтому проводов, находящихся под напряжением, касаться нельзя!)*

Решение. Преобразуем килоомы в омы. Так как 1 кОм = 1000 Ом, то 36 кОм = 36000 Ом. Тогда:

$$I = U / R = 220/36000 = 0,006 \text{ А} = 6 \text{ мА}.$$

Каждый источник питания обладает внутренним сопротивлением. И на нем так же, как и на других элементах цепи, создается какое-то напряжение. С учетом этого напряжение на зажимах источника питания будет всегда меньше э.д.с. (электродвижущей силы) как раз на величину падения напряжения на внутреннем сопротивлении. Если увеличится потребляемая от источника питания сила тока, то в полном согласии с законом Ома увеличится и падение напряжения на внутреннем сопротивлении источника, а значит, уменьшится напряжение на зажимах источника питания. Чтобы изменение нагрузки (изменение силы тока) меньше влияло на выходное напряжение источника, его внутреннее сопротивление стараются свести к минимуму.

Напряжение батарейки уменьшается и при ее старении, так как со временем увеличивается ее внутреннее сопротивление.

Закон Ома для полной цепи (с учетом внутреннего сопротивления источника) запишется так (рис. 2.14, б):

$$I = E / (R + r). \quad (2.1,6)$$

Здесь E — э.д.с. источника питания; R — сопротивление нагрузки; r — внутреннее сопротивление источника питания.

В практике вам часто придется иметь дело с проводами при изготовлении трансформаторов, катушек индуктивности и в других случаях. Сопротивление провода вычисляется по формуле:

$$R = \rho \cdot l / S \quad (2.4)$$

Здесь R — сопротивление провода в омах (Ом), l — его длина в метрах (м), S — площадь поперечного сечения в квадратных миллиметрах (мм²).

$$S = 1,57 \cdot d^2$$

где d — диаметр провода в миллиметрах (мм); ρ — коэффициент пропорциональности, зависящий от рода материала, называется удельным сопротивлением материала, измеряется в омах, умноженных на метр (Ом·м). Его значения для различных материалов приведены в таблице П3. Приложения.

- *Решим еще пример.* Какой площади сечения S_1 нужно взять алюминиевую проволоку, чтобы ее сопротивление R_1 было такое же, как у железной проволоки (R_2) сечением $S_2 = 2 \text{ мм}^2$? Длина обеих проволок одинакова ($l_1 = l_2$).

Запишем исходные условия по другому.

Дано: $R_1 = \rho_1 \cdot l_1 / S_1$, $R_2 = \rho_2 \cdot l_2 / S_2$. По условию задачи: $R_1 = R_2 = R$, $l_1 = l_2 = l$, $S_2 = 2 \text{ мм}^2$.

Из таблицы П3 Приложения:

$$\rho_1 = 2,5 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}; \quad \rho_2 = 12 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Определить S_1 .

Тогда $\rho_1 \cdot l_1 / S_1 = \rho_2 \cdot l_2 / S_2$. Отсюда:

$$S_1 = S_2 \cdot \rho_1 / \rho_2 = 2,5 \cdot 10^{-8} = 0,41 \text{ мм}^2. \quad \text{Ответ: } S_1 = 0,41 \text{ мм}^2.$$

Вернитесь еще раз к формуле (2.4) и запомните размерность величин, которые должны подставляться в формулу.

На рис. 2.15 приведена номограмма для расчета сопротивления проводов с высоким удельным сопротивлением. Приведен пример (пунктирная линия) определения сопротивления манганинового провода диаметром 0,22 мм. Оно равно 3 Ом на каждый метр.

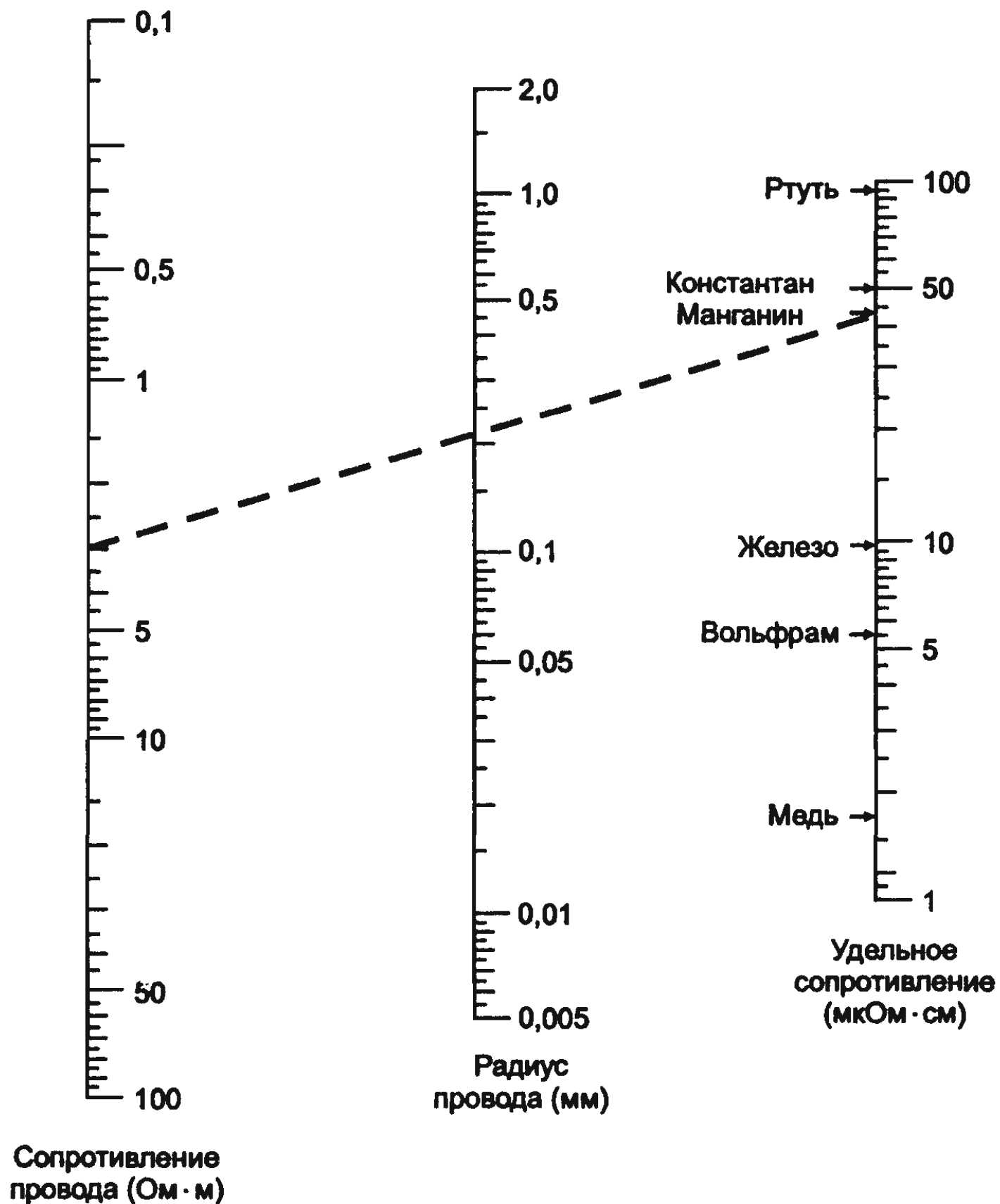


Рис. 2.15. Номограмма для расчёта сопротивления проводов с большим удельным сопротивлением

Известно, что при повышении температуры сопротивление металлов увеличивается. У некоторых металлов это увеличение значительно: у чистых металлов оно достигает 40...50%. Такие сплавы, как константан и манганин имеют очень малое изменение сопротивления от температуры. Зависимость сопротивления металлов от температуры используется для устройства термометров сопротивления. Его (термометр из металла) помещают внутрь, например, печи, а концы обмотки включают в электрическую цепь. Измеряя сопротивление обмотки, можно определить температуру в печи (рис. 2.16, а). Такие термометры часто применяются для измерения очень высоких и очень низких температур, при которых ртутные термометры уже неприменимы. В настоящее время очень широкое распространение получили полупроводниковые

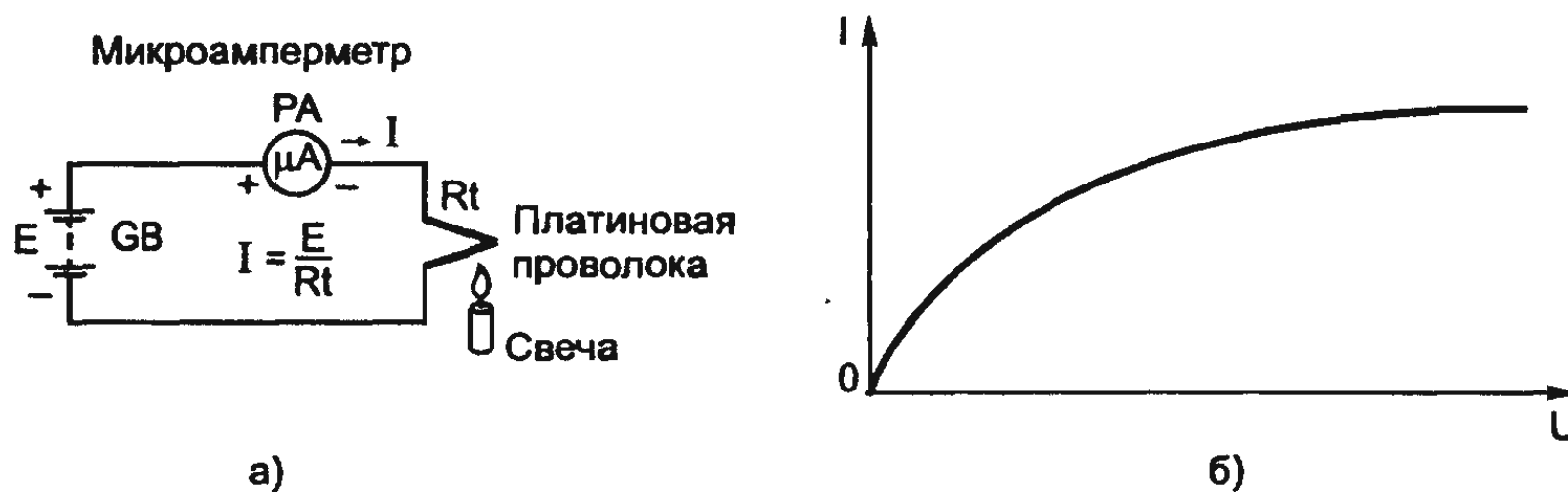


Рис. 2.16.

а) Термометр сопротивления, который позволяет измерять высокие и низкие температуры

б) Из вольт-амперной характеристики нити накала лампы видно, что сопротивление нити накала зависит от напряжения (а, следовательно, от температуры) нелинейно. Среднее значение ТКС ($\alpha_{\text{ср}}$) этого не учитывает.

термометры, у которых температурный коэффициент сопротивления в 10—20 раз больше, чем у проволочных термометров.

Если сопротивление проводника при температуре t_1 равно R_1 , а при температуре t_2 равно R_2 , то среднее значение температурного коэффициента сопротивления (в интервале от 0 до 100°C):

$$\alpha_{\text{ср}} = (R_1 - R_0) / R_0 (t - t_0). \quad (2.5)$$

Обычно в качестве R_0 принимают сопротивление при температуре $t_0 = 0^\circ\text{C}$.

- *Решим пример.* Сопротивление нити накала выключенной электрической лампочки накаливания с вольфрамовой нитью равно 60 Ом. При полном накале сопротивление лампочки возрастает до 636 Ом. Какова температура накаленной нити?

Воспользуемся таблицей П3 Приложения для нахождения $\alpha_{\text{ср}}$. Так как $t_0 = 0^\circ\text{C}$, то формула (2.5) запишется так:

$$\alpha_{\text{ср}} = (R_1 - R_0) / R_0 \cdot t, \quad (2.5, \text{a})$$

откуда $t = (R_1 - R_0) / R_0 \cdot \alpha_{\text{ср}}$.

При изменении температуры в больших пределах сопротивление некоторых металлов также изменяется в больших пределах и нелинейно. На рис. 2.16,б изображена нелинейная вольт-амперная характеристика нити накала лампы накаливания.

При очень низких температурах, начиная с некоторой «критической», сопротивление многих металлов внезапно, скачком, па-

дает до нуля. Это явление было открыто в 1911 г. нидерландским физиком Х. Камерлинг-Оннесом и получило название сверхпроводимости. Критическая температура, при которой наступает сверхпроводимость, различна у разных металлов: у свинца она равна 7,3 К (около -266° по формулу:

$$T \text{ (К)} = 273 + t \text{ (}^\circ\text{С)}. \quad (2.6)$$

Постарайтесь запомнить эту формулу, так как в справочниках по полупроводниковым приборам (диодам, транзисторам и т.д.), которыми вы будете пользоваться, температура, как правило, выражена в Кельвинах.

Камерлинг — Оннес (1853—1926 г.г.) сделал свинцовое кольцо и охладил его до сверхпроводящего состояния (-266°С)

2.4. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ И ПАРАЛЛЕЛЬНОЕ СОЕДИНЕНИЕ РЕЗИСТОРОВ

Лучший способ изучения закономерностей в цепи постоянного тока — это провести все измерения самостоятельно. Предполагается, что у вас дома имеется ампервольтметр (авометр), прибор для измерения силы тока, напряжения и сопротивления резисторов, и Вы все опыты будете проводить дома. Прежде чем приступать к измерениям, вы должны внимательно изучить техническое описание авометра, чтобы научиться им пользоваться. Только после этого можете приступить к проведению опытов.

Задание первое. Приготовьте батарею 3336Л, либо «Крону» и два резистора: $R_1 = 100 \text{ Ом}$ и $R_2 = 150 \text{ Ом}$. Если таких резисторов нет, возьмите другие, по номиналам близкие к этим. Соберите схему, изображенную на рис. 2.17,а; на этой схеме в качестве амперметра постоянного тока использован авометр. Чтобы выбрать верхний предел измерения авометра, воспользуйтесь законом Ома:

$$I = U / (R_1 + R_2).$$

Для нашего случая $I = 4,5 / (100 + 150) = 4,5 / 250 = 0,018 \text{ А} = 18 \text{ мА}$. Значит, верхний предел измерения тока не должен быть меньше 18 мА. Предел измерения следует выбирать таким образом, чтобы стрелка прибора при измерении находилась во второй половине шкалы, в этом случае относительная погрешность измерения наи-

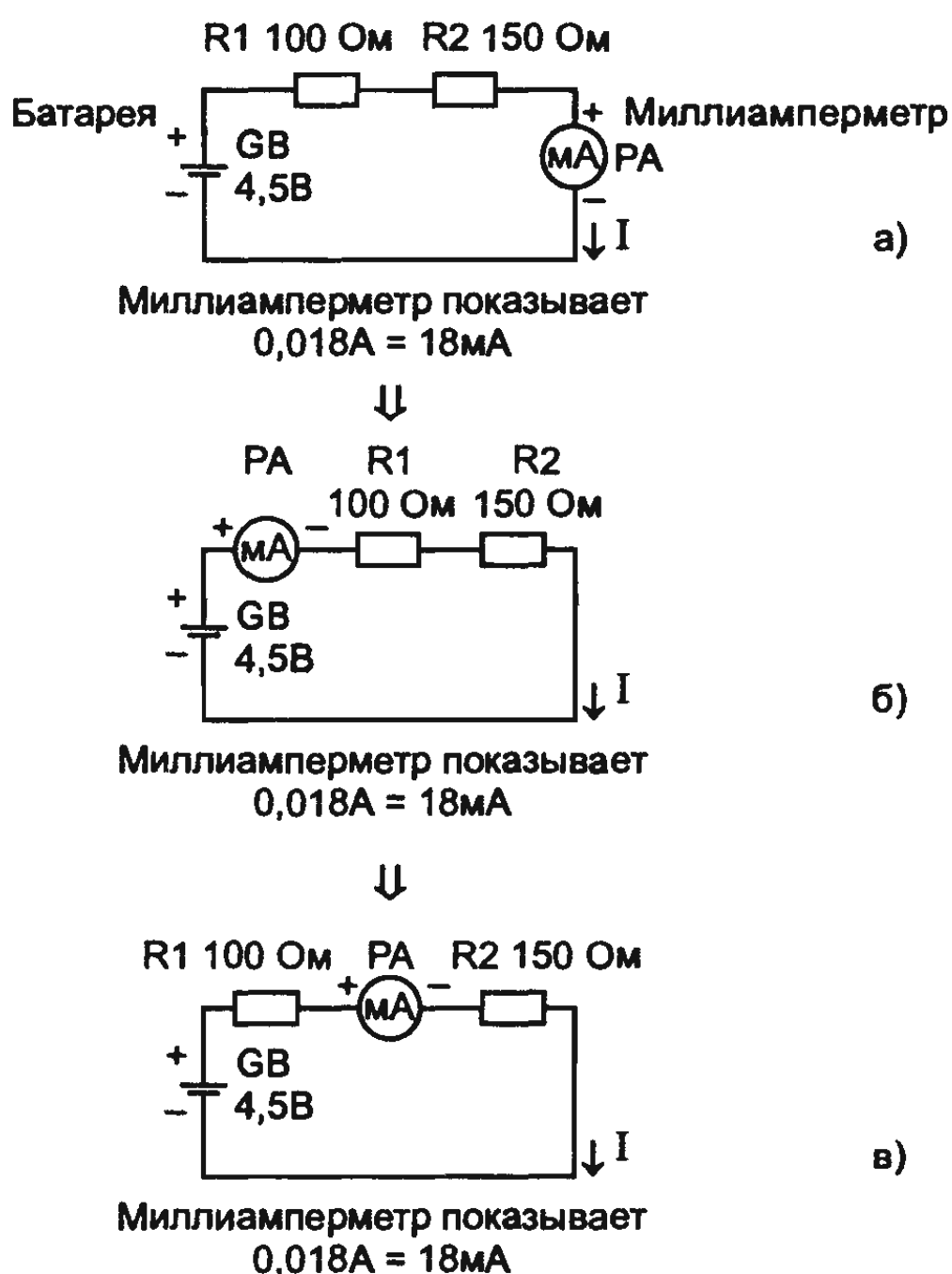


Рис. 2.17. Из которого можно сделать вывод, что при последовательном соединении резисторов сила тока в электрической цепи одинаковая

меньшая. Снимите показания прибора. Затем отключите батарею и включите прибор между резисторами R_1 и R_2 (рис. 2.17, б), зафиксируйте его показания: миллиамперметр должен показывать такое же значение тока, что и в первом случае. Затем подключите прибор между положительным зажимом батареи и резистором R_1 (рис. 2.17, в). Не забудьте отключать батарею на время переключения прибора. Включите батарею и снова зафиксируйте показания прибора: его показания совпадут с двумя предыдущими. Из этих измерений следует вывод: при последовательном соединении элементов через них протекает одна и та же сила тока:

$$I_1 = I_2 = I_3 = I. \quad (2.7)$$

При изучении закона Ома мы получили формулу (2.3), которой сейчас воспользуемся для определения общего сопротивления R цепи:

$$R = U / I = 4,5 / 0,018 = 250 \text{ Ом.}$$

$$\text{Отсюда следует, что } R_0 = R_1 + R_2. \quad (2.8)$$

Сделаем вывод: при последовательном соединении сопротивлений общее сопротивление цепи равно сумме этих сопротивлений. Это будет также справедливо, если последовательно включить любое количество резисторов.

А теперь подготовьте прибор для измерения напряжения постоянного тока: Верхний предел измерения выберите равным 2,5 или 5 В, замерьте падение напряжения на резисторе R1 (рис. 2.18, а). Вольтметр «покажет» напряжение 1,8 В. Затем подключите вольтметр к резистору R2 (рис. 2.18, б) и снимите его показания, — вольтметр покажет 2,7 В. Во время проведения опыта вы снимете показания, несколько отличающиеся от приведенных, не огорчайтесь, это закономерно, ведь при измерениях имеют место погрешности измерения.

Если вы теперь сложите оба показания вольтметра: (1,8 + 2,7) В = 4,5 В, то увидите, что сумма напряжений на резисторах равна напряжению на зажимах батареи. **Отсюда вывод:** при последовательном соединении резисторов сумма падения напряжений на них равна напряжению на зажимах источника.

$$U_1 + U_2 = U. \quad (2.9)$$

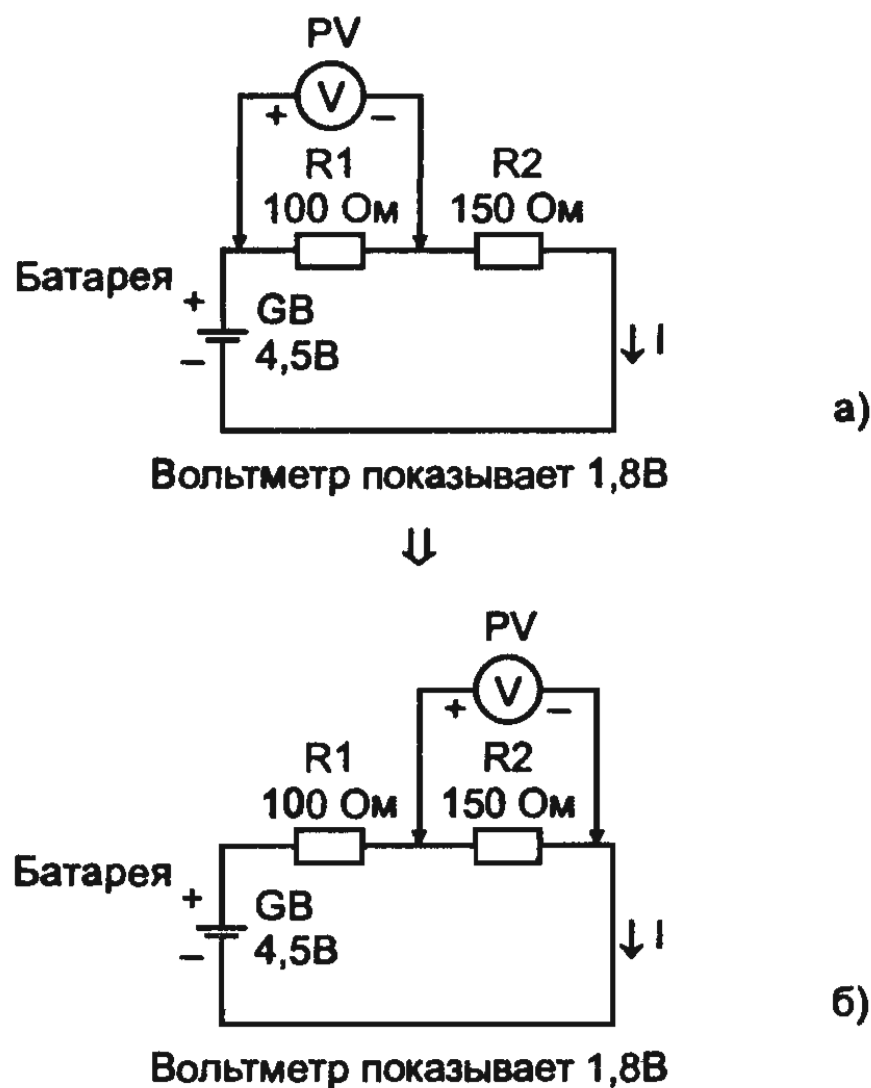


Рис. 2.18. Из которого можно сделать вывод: 1) что напряжение на резисторах, соединенных последовательно, прямо пропорционально сопротивлению резисторов; 2) что сумма напряжения на всех резисторах цепи равна напряжению на зажимах источника питания; 3) что общее сопротивление цепи равно сумме сопротивлений всех резисторов цепи

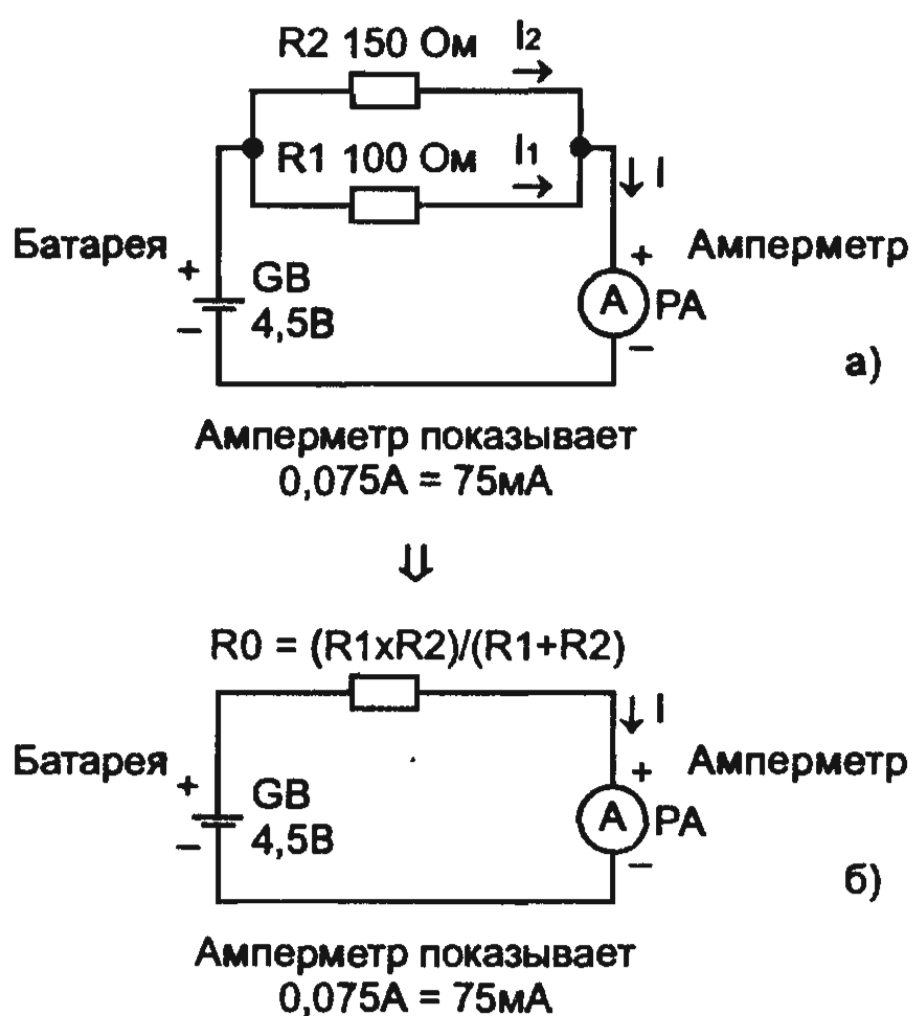


Рис. 2.19. Из которого можно сделать вывод, что при параллельном соединении резисторов общее сопротивление цепи меньше наименьшего сопротивления одного из резисторов цепи

А можно определить напряжение на резисторах, не пользуясь вольтметром? Можно, для чего следует воспользоваться законом Ома:

$$U_1 = I \cdot R_1 = \left[U / (R_1 + R_2) \right] \cdot R_1,$$

$$U_2 = I \cdot R_2 = \left[U / (R_1 + R_2) \right] \cdot R_2.$$

Из этих формул следует: зная напряжение на зажимах батареи и сопротивление резисторов, можно вычислить падение напряжения на резисторах R_1 и R_2 . Если последовательно включены три резистора, то:

$$U_1 = I \cdot R_1 = \left[U / (R_1 + R_2 + R_3) \right] \cdot R_1,$$

$$U_2 = I \cdot R_2 = \left[U / (R_1 + R_2 + R_3) \right] \cdot R_2,$$

$$U_3 = I \cdot R_3 = \left[U / (R_1 + R_2 + R_3) \right] \cdot R_3.$$

Так как $U = I \cdot R$, то можно сделать вывод: чем больше сопротивление резистора, тем больше будет падение напряжения на нем.

Из эксперимента (рис. 2.18) вы убедились, что напряжение на резисторе R_2 больше напряжения на резисторе R_1 в $R_2 / R_1 = 150/100 = 1,5$ раза.

- *Решим задачу.* Электрическая цепь состоит из батареи «Крона» и трех последовательно соединенных резисторов:

$R1 = 1\text{кОм}$; $R2 = 2,2\text{ кОм}$; $R3 = 3,3\text{ кОм}$. Определите падение напряжения на резисторе $R3$.

Решение. $U3 = I \cdot R3 = [U / (R1 + R2 + R3)] \cdot R3 = [9 / (1000 + 2200 + 3300)] \cdot 3300 = 4,57\text{ В}$.

А теперь возьмем те же два резистора, что и в опыте с последовательным соединением, но соединим эти резисторы параллельно (рис. 2.19, а): два любых вывода резисторов $R1$ и $R2$ соединим вместе и подключим к положительному выводу батареи, затем соединим вместе два остальных вывода резисторов $R1$ и $R2$ и соединим их с выводом «+» миллиамперметра, а его вывод «-» подключим к отрицательному выводу батареи. Миллиамперметр включим на пределе 100 мА (0,1 А). При сборке схемы всегда помните: *батарея подключается к схеме всегда последней, а отключается первой*.

Итак, подключите батарею и снимите показания миллиамперметра: прибор покажет 75 мА. Зная напряжение батареи и силу тока в общей цепи, можно вычислить общее сопротивление цепи (рис. 2.20, б, 2.19, б):

$$R_0 = U / I = 4,5 / 0,075 = 60\text{ Ом}.$$

Здесь: $75\text{ мА} = 0,075\text{ А}$.

Отсюда вывод: **общее сопротивление цепи при параллельном соединении резисторов всегда меньше наименьшего из двух резисторов**, т.е. $R_0 = 60\text{ Ом}$ меньше сопротивления резистора $R1 = 100\text{ Ом}$ и тем более R_0 меньше $R2 = 150\text{ Ом}$. Общее сопротивление цепи при параллельном соединении можно найти по формуле:

$$1 / R_0 = 1 / R1 + 1 / R2. \quad (2.10, \text{ а})$$

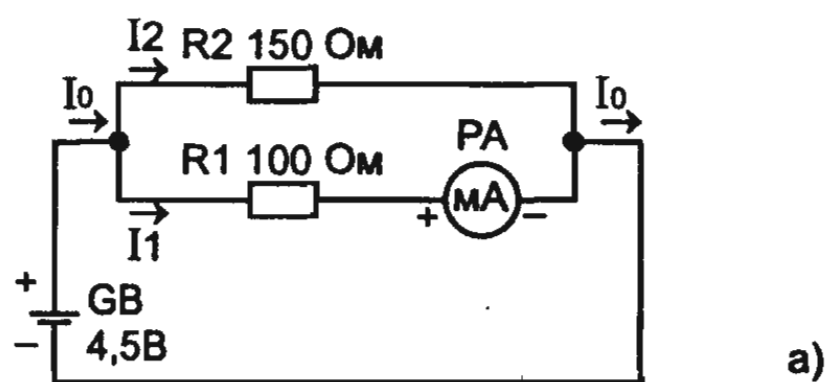
$$\text{Отсюда получаем: } R_0 = R1 \cdot R2 / (R1 + R2). \quad (2.10, \text{ б})$$

Для трех параллельно соединенных резисторов:

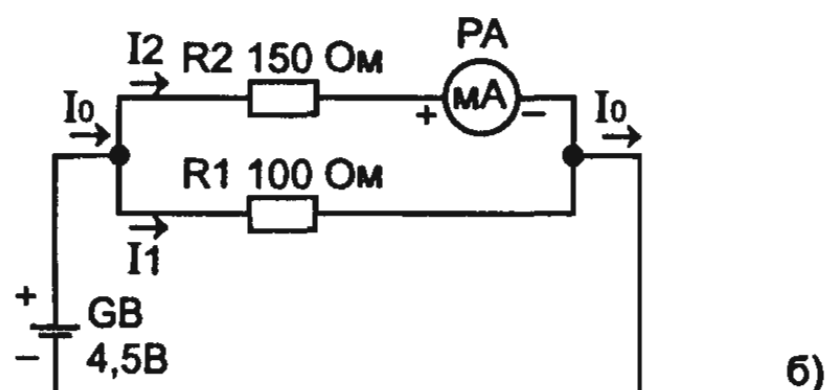
$$1 / R_0 = 1 / R1 + 1 / R2 + 1 / R3. \quad (2.10, \text{ в})$$

А теперь включите миллиамперметр в цепь первого резистора (рис. 2.20, а), верхний предел должен быть примерно 50 мА. Когда подключите все элементы схемы, подключите батарею. Прибор покажет силу тока $I1 = 45\text{ мА}$. Отключите батарею и подключите миллиамперметр в цепь второго резистора (рис. 2.20, б). Подключите батарею и замерьте силу тока: прибор покажет $I2 = 30\text{ мА}$. А теперь сравните все три показания миллиамперметра: сумма сил токов через резисторы $R1$ и $R2$ равна силе тока в общей цепи (си-

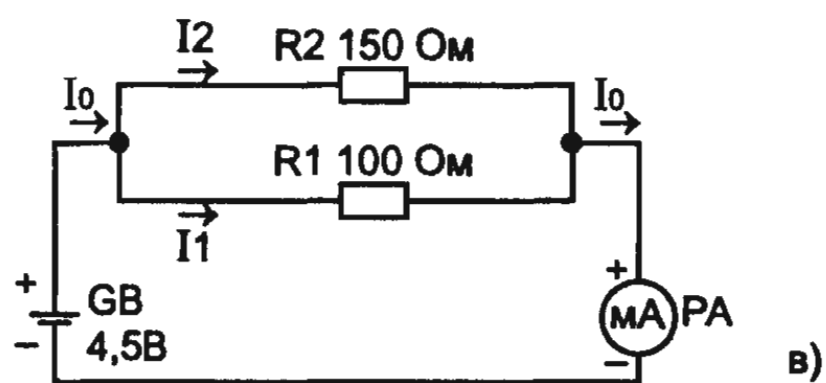
$$\begin{aligned} \text{Сила тока в общей цепи } I_0 &= I_1 + I_2 = \\ &= 0,045\text{A} + 0,030\text{A} = 0,075\text{A} = 75\text{mA} \end{aligned}$$



Миллиамперметр показывает
 $0,045\text{A} = 45\text{mA}$



Миллиамперметр показывает
 $0,030\text{A} = 30\text{mA}$



Миллиамперметр показывает
 $0,075\text{A} = 75\text{mA}$

Рис. 2.20. Из которого можно сделать вывод, что сумма силы токов в ветвях (при параллельном соединении) равна силе тока, потребляемого от источника (силе тока в неразветвленной части цепи)

ле тока, потребляемой от батареи). Отсюда вывод: при параллельном соединении резисторов сила тока в общей (неразветвленной) цепи равна сумме сил токов, протекающих через резисторы.

$$I_0 = I_1 + I_2. \quad (2.11, \text{a})$$

Если параллельно соединены три резистора, тогда:

$$I_0 = I_1 + I_2 + I_3. \quad (2.11, \text{б})$$

Теперь переключите прибор для измерения напряжения, соберите схему, как показано на рис. 2.21, и замерьте напряжение вначале на резисторе R1, затем на резисторе R2. Вы убедились, что

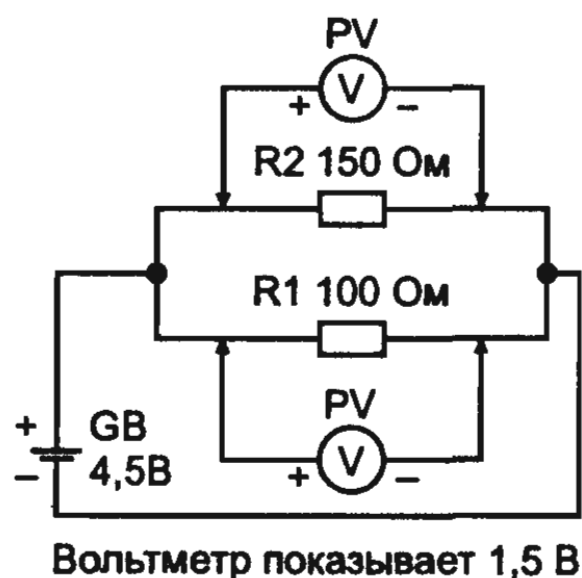


Рис. 2.21. Который позволяет быстро определить, что при параллельном соединении резисторов напряжение на них одинаковое

вольтметр в обоих случаях показывает одно и то же напряжение, равное напряжению на зажимах батареи, т.е. 4,5 В? Отсюда вывод: при параллельном соединении резисторов падения напряжения на них равны.

$$U_1 = U_2. \quad (2.12, a)$$

Для трех параллельно соединенных резисторов

$$U_1 = U_2 = U_3. \quad (2.12, б)$$

Часто в вашей практике (при изготовлении какого-либо прибора, устройства) встречаются или могут встретиться такие случаи, когда отсутствует резистор необходимого номинала. Есть два выхода из этого положения.

1. Найти два резистора, желательно одинакового номинала, чтобы сумма их сопротивлений была равна сопротивлению заменяемого резистора. Эти резисторы надо соединить последовательно (2.8).

2. Резисторы можно соединить и параллельно. Для этого следует подобрать один резистор R1, который образует вместе с другим параллельно соединенным резистором R2 заданное сопротивление R₀. Если учесть, что номинальные значения сопротивлений постоянных резисторов образуют не непрерывный ряд (смотри табл. 2.2), а в ваших запасах отсутствуют резисторы многих номиналов, входящих в шкалу номинальных значений, то задачу по отысканию второго резистора нельзя отнести к легким. Вы в этом скоро убедитесь. Ускорить и облегчить решение задачи по подбору второго резистора можно с помощью диаграммы, изображенной на рис. 2.22. С помощью этой номограммы можно определить электрические величины двух параллельно соединенных резисторов

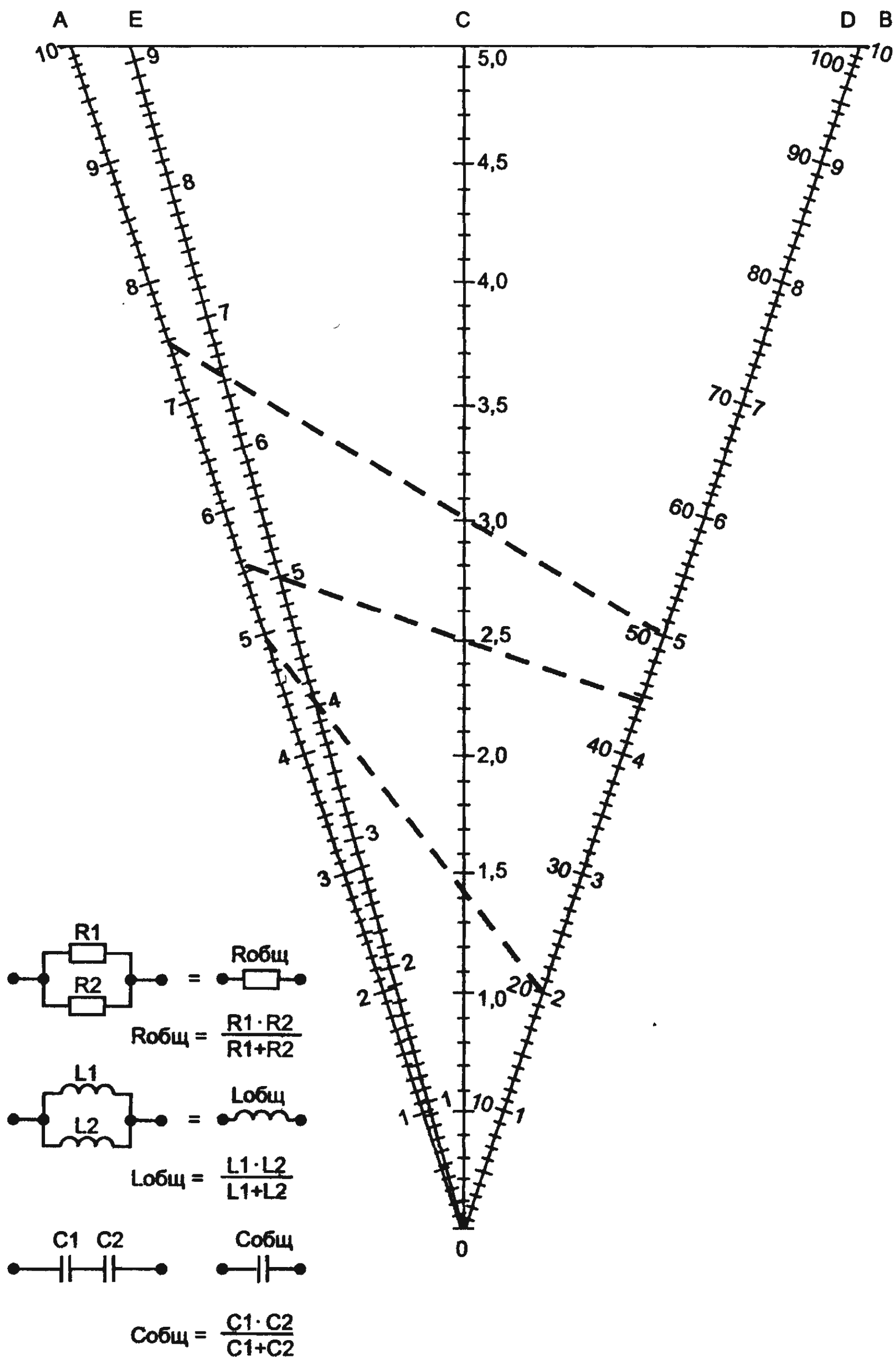


Рис. 2.22. Сетка для подбора второго резистора при параллельном соединении резисторов

или катушек индуктивности, а также двух последовательно соединенных конденсаторов.

При определении электрических величин соединяемых резисторов, катушек индуктивности или конденсаторов сопротивления, индуктивности или емкости которых имеют один порядок, пользуются шкалами ОА, ОВ, ОС, а если их значения различаются на один порядок, то шкалами ОА, ОД, ОЕ.

Пример 1. Параллельно соединены два резистора с номиналами 7,5 кОм и 5 кОм. Прикладывая край линейки к делениям 7,5 на шкале ОА и к 5 — на шкале ОВ, на шкале ОС считываем результат — 3. Общее сопротивление резисторов будет 3 кОм.

Пример 2. Подобрать два резистора с номиналами одного порядка, общее сопротивление которых при параллельном соединении составило бы 35 Ом.

Деления с числом 35 на шкале ОС нет, поэтому пользуются делением 3,5, помня при этом, что полученный результат надо будет умножить на 10. Сопротивления резисторов находят по шкале ОА и ОВ и выбирают наиболее приемлемый вариант.

Чтобы построить такую номограмму, надо стороны ОА и ОВ равнобедренного треугольника АОВ разделить на 10 равных частей, а биссектрису ОС — на 5 частей. Отсчет ведут от точки О. Каждое деление можно разделить еще на 10 или 5 частей. Угол АОВ может быть любым.

Участок АЕ = (1/10) АВ, а шкала ОЕ, используемая в тех случаях, когда исходные и определяемые электрические величины различаются между собой на один порядок, должна быть разделена на 9,1 части. Значения делений шкалы ОА останутся без изменений, а цена делений шкалы ОВ увеличится в 10 раз.

На рис. 2.23 показан «ключ» пользования диаграммой.

На практике редко встречаются случаи, когда можно встретить либо только последовательное, либо только параллельное соединение сопротивлений. Чаще всего встречается смешанное соединение сопротивлений (рис. 2.24, а). Чтобы вычислить токи и напряжения в схеме, необходимо ее преобразовать либо только к последовательному, либо только к

«Ключ» пользования номограммой

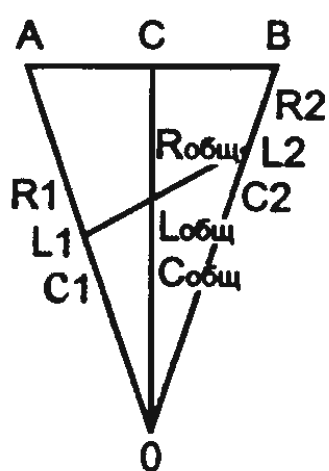


Рис. 2.23. Подбор второго резистора к 150-омному резистору для получения результирующего сопротивления, равного 120 Ом

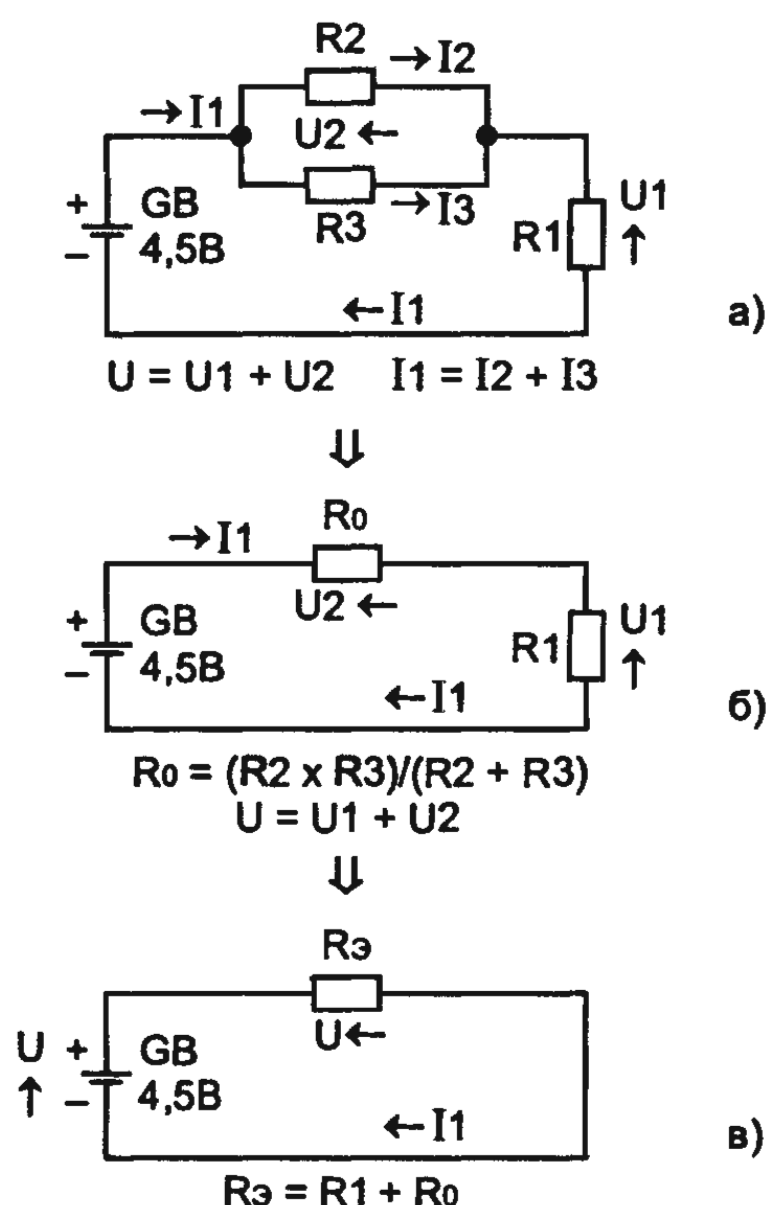


Рис. 2.24. Из которого видно как преобразовать сложную цепь (смешанное соединение резисторов) в простую, позволяющую провести ее расчет

параллельному соединению. На рис. 2.24 надо найти эквивалентное сопротивление R_0 параллельно соединенных резисторов R_2 и R_3 , тогда схема будет состоять из двух последовательно соединенных резисторов R_1 и R_0 , что уже не составит труда для вычислений (рис. 2.24, б).

- *Решим задачу.* На схеме рис. 2.24,а найти силу тока I_1 , если напряжение источника питания $U = 1,5$ В, $R_1 = 100$ Ом, $R_2 = 150$ Ом, $R_3 = 330$ Ом.

Решение. Из рис. 2.24,б видно, что сила тока $I_1 = U / R_3$, а $R_3 = R_1 + R_0$.

Определим R_0 .

$$R_0 = R_2 \cdot R_3 / (R_2 + R_3) = 150 \cdot 330 / 480 = 103,1 \text{ Ом.}$$

Тогда общее сопротивление электрической цепи

$$R_3 = R_1 + R_0 = 100 + 103,1 = 203,1 \text{ Ом,}$$

а сила тока, потребляемая от источника питания

$$I_1 = U / R_3 = 1,5 / 203,1 \approx 0,0074 \text{ А} = 7,4 \text{ мА.}$$

2.5. ИЗМЕРЕНИЕ СИЛЫ ТОКА, НАПРЯЖЕНИЯ И СОПРОТИВЛЕНИЯ

Прибор для измерения силы тока называется амперметром (миллиамперметром, микроамперметром), а прибор для измерения напряжения (разности потенциалов) — вольтметром (милливольтметром, микровольтметром). Амперметры и вольтметры обычного типа (в отличие от электронных приборов) имеют одинаковое измерительное устройство, называемое гальванометром. Гальванометры бывают магнитоэлектрической, электромагнитной и других систем. В радиоэлектронике применяются, главным образом, измерительные приборы магнитоэлектрической системы, которые имеют более высокую чувствительность, большую точность результатов измерений и равномерную шкалу (рис. 2.25).

Если в Вашей домашней лаборатории имеется какой-либо гальванометр, то на его основе Вы можете подготовить для себя амперметр, вольтметр или омметр.

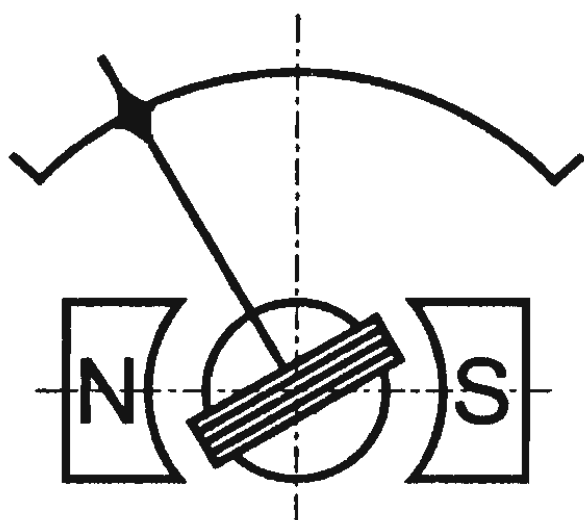


Рис. 2.25. Конструкция гальванометра магнитоэлектрической системы

Согласно закону Ома сила тока I и напряжение U пропорциональны друг другу, поэтому обе эти величины, сила тока и напряжение, могут быть измерены при помощи одного и того же прибора — гальванометра, шкалу которого надо только проградуировать соответствующим образом. Так, например, счетчик в такси отмеряет пройденное расстояние, и его можно проградуировать в километрах. Но так как плата за проезд исчисляется пропорционально расстоянию, то шкалу счетчика можно проградуировать непосредственно в рублях и копейках так, чтобы она сразу показывала стоимость проезда. Аналогично шкалу гальванометра можно проградуировать в амперах, если через него протекает сила тока в измеряемой цепи, либо в вольтах, если он служит для измерения напряжения между двумя точками измеряемой цепи.

Если гальванометр используется в качестве амперметра, то его следует включать в цепь последовательно с элементами цепи (рис. 2.17; 2.19; 2.20), а если используется в качестве вольтметра, то его следует подключать к зажимам элемента цепи (рис. 2.18; 2.21), на которых измеряется напряжение, т.е. его следует подключать параллельно элементу цепи (резистору, лампочке, электродвигателю и т.д.).

Следует твердо помнить: как бы не включался измерительный прибор (амперметр, вольтметр или любой другой) в электрическую цепь, он не должен искажать протекающие в этой цепи процессы.

Рассмотрим это на примере амперметра и вольтметра. Вы уже знаете, что амперметр включают в цепь последовательно. Если сопротивление амперметра равно R_a , а сопротивление цепи равно $R_{ц}$, то при включении амперметра в электрическую цепь для измерения силы тока сопротивление этой цепи станет равно

$$R = R_{ц} + R_a = R_{ц} (1 + R_a / R_{ц}) \quad (2.13)$$

Последнее выражение мы получили, разделив каждое слагаемое на $R_{ц}$.

Чтобы амперметр заметно не увеличивал сопротивление цепи, его сопротивление R_a должно быть не менее чем на порядок, т.е. в 10 раз меньше сопротивления цепи $R_{ц}$ (смотри формулу 2.13). В этом случае $R = R_{ц} (1 + 0,1) = 1,1R_{ц} \approx R_{ц}$. Поэтому амперметры делают с очень малым сопротивлением (несколько десятых или сотых долей Ома).

- *Рассмотрим пример.* Необходимо измерить силу тока в электрической цепи, имеющей сопротивление 0,1 Ом. Вы включаете последовательно с элементами этой цепи амперметр, сопротивление которого равно 0,05 Ом. После включения амперметра сопротивление электрической цепи станет равным $R = R_{ц} + R_a = 0,15$ Ом. Следовательно, сила тока в цепи уменьшится (так как увеличится сопротивление цепи) и амперметр покажет именно эту силу тока. После выключения амперметра из цепи сила тока в ней снова увеличится, так как уменьшится полное сопротивление цепи.

Теперь посмотрим как вольтметр, имеющий сопротивление $R_{вн}$ и подключенный к резистору $R1$ параллельно (рис. 2.18), изменит режим работы цепи. Общее сопротивление R образовавшейся цепи равно:

$$R = R1 \cdot R_{вн} / (R1 + R_{вн}) = R1 / (1 + R1 / R_{вн}) \quad (2.14)$$

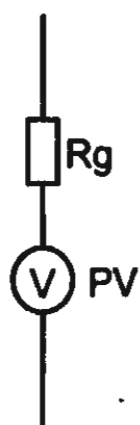


Рис. 2.26. Из которого видно, почему увеличивается входное сопротивление вольтметра с увеличением сопротивления добавочного резистора

Последнее выражение в формуле (2.14) мы получили, разделив числитель и знаменатель дроби на $R_{вн}$. Из формулы следует: чем больше сопротивление вольтметра $R_{вн}$ по сравнению с сопротивлением резистора $R1$, тем меньше отличается их общее сопротивление R от сопротивления резистора $R1$ и, следовательно, вольтметр вносит меньше искажений. Следова-

тельно, вольтметр должен иметь большое сопротивление. Для этого последовательно с гальванометром включают дополнительный резистор R_d (рис. 2.26), имеющий сопротивление несколько килоом, чтобы общее сопротивление $R = R_{вн} + R_d$ было как минимум на порядок (т.е. в 10 раз) больше сопротивления резистора $R1$. В этом случае вносимым сопротивлением вольтметра можно пренебречь. Действительно, в этом случае $R = R1 / (1 + R1 / R_{вн}) = R1 / (1 + 0,1) = R1 / 1,1 \approx R1$.

- *Рассмотрим пример.* Предположим, что в цепи имеются два резистора сопротивлением по 10 кОм каждый и включены они последовательно (рис. 2.27,а). На зажимы ХР1 и ХР2 подано напряжение 10 В. Вы хотите измерить напряжение на резисторе $R1$ вольтметром, имеющим сопротивление $R_{вн} = 10$ кОм.

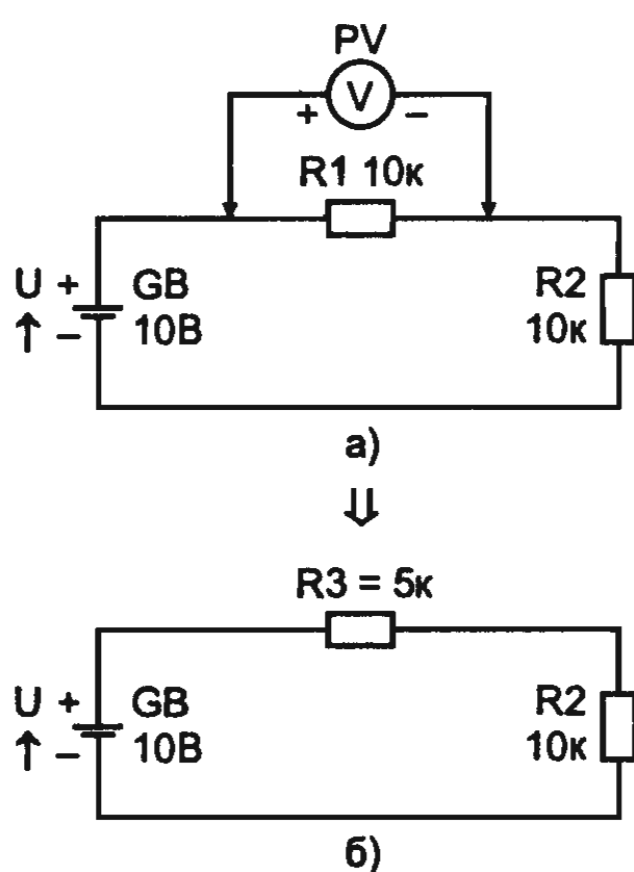


Рис. 2.27. Поясняющий влияние входного сопротивления вольтметра на режим работы электрической цепи (общее сопротивление участка цепи «резистор - вольтметр» всегда меньше сопротивления резистора, к которому подключен вольтметр.)

При подключении вольтметра к резистору R_1 (рис. 2.27,б) их общее сопротивление R_0 станет равным:

$$R_0 = R_{вн} \cdot R_1 / (R_{вн} + R_1) = 10 \cdot 10 / (10 + 10) = 5 \text{ кОм},$$

а напряжение на резисторе R_1 изменится (уменьшится). Покажем это.

Напряжение на резисторе R_1 до подключения вольтметра равно:

$$U_1 = I_1 \cdot R_1 = [U / (R_1 + R_2)] \cdot R_1 = [10 / (10 + 10)] \cdot 10 = 5 \text{ В}.$$

Напряжение на R_1 после подключения вольтметра:

$$U_1 = I_1 \cdot R_0 = [U / (R_0 + R_2)] R_0 = [10 / (5000 + 10000)] \cdot 5000 = \\ = [10 / 15000] \cdot 5000 = 10 / 3 = 3,33 \text{ В}.$$

Здесь $R_0 + R_2$ — общее сопротивление цепи при подключенном вольтметре. Такое же напряжение покажет и вольтметр.

После подключения вольтметра напряжение на R_1 уменьшилось с 5 В до 3,33 В, а это существенно. Чтобы вольтметр не искажал режим цепи, его сопротивление должно быть хотя бы на порядок, т.е. в 10 раз больше сопротивления R_1 , т.е. сопротивление вольтметра должно быть 100 000 Ом (100 кОм). Тогда сопротивление параллельной цепи вольтметр $R_{вн}$ и резистор R_1 будет равно:

$$R_{01} = R_{вн} \cdot R_1 / (R_{вн} + R_1) = 100 \cdot 10 / (100 + 10) \approx 9,1 \text{ кОм},$$

а падение напряжения на нем:

$$U_{12} = I_1 \cdot R_{01} = [U / (R_{01} + R_2)] \cdot R_{01} = \\ = [10 / (9,1 + 10)] \cdot 9,1 = 10 \cdot 9,1 / 19,1 = 4,76 \text{ В}.$$

Теперь напряжение на резисторе R_1 при подключении вольтметра меньше напряжения на резисторе R_1 до подключения вольтметра на небольшую величину, всего на $5 \text{ В} - 4,76 \text{ В} = 0,24 \text{ В}$. А в случае, когда вольтметр имел сопротивление $R_{вн} = 10 \text{ кОм}$, это напряжение отличалось на $5 \text{ В} - 3,33 \text{ В} = 1,66 \text{ В}$.

А теперь познакомимся с устройством омметра, прибором для измерения сопротивления резисторов и электрических цепей. Прибор позволяет также «прозвонить» катушку индуктивности, обмотки трансформатора и т.д., чтобы убедиться, что витки обмоток не замкнуты. На рис. 2.28 приведена схема омметра. Для его изготовления потребуется микроамперметр с током полного отклонения, например 100 мкА, два резистора — постоянный и переменный, источник питания на 4,5 В — батарея 3336Л. Если на-

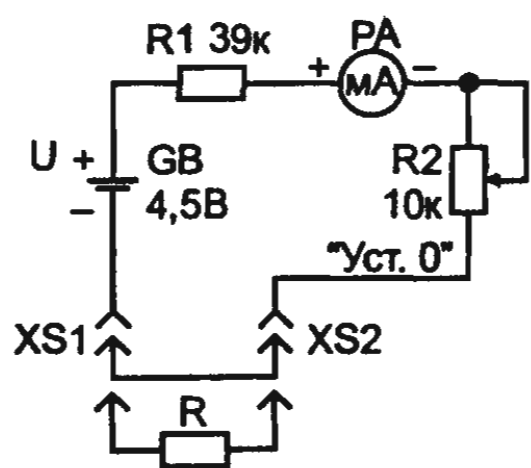


Рис. 2.28. Принципиальная схема простого омметра

коротко замкнуть гнезда XS1 и XS2 проволочной перемычкой, то по цепи потечет ток, а стрелка микроамперметра отклонится на несколько делений шкалы. Вращая ось переменного резистора R2, устанавливают стрелку индикатора на конечное деление шкалы — 100 мкА, это условный нуль шкалы омметра. А теперь следует убрать перемычку между гнездами XS1 и XS2 и подклю-

чить к ним выводы резистора, например, сопротивлением 3 кОм. Стрелка индикатора отклонится и остановится вблизи условного нуля шкалы омметра (немного не дойдет до деления 100 мкА). Если к гнездам XS1 и XS2 подключить резистор с большим сопротивлением, то в цепи потечет меньшая сила тока, следовательно, стрелка индикатора отклонится на меньший угол, а при сопротивлении 2 МОм стрелка индикатора едва отклонится (микроамперметр покажет силу тока, близкую к нулю). Таким образом, чем меньше угол отклонения стрелки индикатора, тем больше сопротивление резистора.

2.6. МОЩНОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Зная работу, совершаемую током за некоторый промежуток времени, можно рассчитать и мощность тока, под которой (так же, как и в механике) понимают работу, совершаемую за единицу времени. Из формулы $A = U \cdot I \cdot t$, определяющей работу постоянного тока, следует, что его мощность

$$P = A/t = U \cdot I. \quad (2.15)$$

Таким образом, мощность постоянного тока на любом участке цепи выражается произведением силы тока на напряжение между концами участка цепи.

Нередко говорят о мощности электрического тока, потребляемой от сети, желая этим выразить мысль, что при помощи электрического тока («за счет тока») совершается работа электродвигателей, нагреваются электроплитки и т.д. В соответствии с этим на приборах обозначается их мощность, т.е. мощность тока, необходимая для нормального действия этих приборов. Так, например, 220-вольтовая электроплитка мощностью 500 Вт есть плитка, для

нормальной работы которой требуется сила тока около 2,3 А при напряжении 220 В (так как $2,3 \text{ А} \cdot 220 \text{ В} \approx 500 \text{ Вт}$).

Если в формуле (2.15) сила тока выражена в амперах, а напряжение в вольтах, то мощность получается в джоулях в секунду (Дж/с), т.е. в ваттах (Вт).

Другие формулы для вычисления мощности: $P = U^2/R = I^2 \cdot R$.

2.7. ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

2.7.1. Миллиавометр

Этот прибор будет в вашей квартире, в вашем доме, выражаясь образно, «настольной книгой». Уже из названия прибора ясно, что он позволяет измерять силу тока, напряжение и сопротивление резисторов и цепей. Слово «авометр» расшифровывается как «ампер-вольтметр», а слово «милли» относится к слову «ампер» и указывает, что прибор позволяет измерять силу тока в миллиамперах. Более общее название такого прибора — мультиметр.

Изготовив своими руками такой прибор, вы будете лучше понимать физическую сущность процесса измерения, можете находить и устранять хотя бы относительно простые неисправности в различной бытовой аппаратуре, имеющейся в вашей квартире, в вашем доме. Для изготовления прибора необходимо, прежде всего, иметь стрелочный прибор магнитоэлектрической системы. *Чем меньше сила тока, на которую рассчитан стрелочный прибор, и чем больше шкала, тем точнее будет конструируемый на его основе авометр.*

Прибор позволяет измерять постоянный ток до 100 мА на пяти пределах, постоянное напряжение до 300 В на 6-ти пределах, переменное напряжение до 300 В на 5-ти пределах и сопротивление резисторов от 100150 Ом до 60...80 кОм на одном пределе. Принципиальная схема прибора приведена на рис. 2.29, на ней приведены все основные обозначения. Зажим «— Общ» является общим для всех измерений, к нему подключается один из двух щупов; второй щуп подключается в одно из гнезд: XS1...XS5 — при измерении переменного напряжения; XS6 — при измерении сопротивления; XS7...XS12 — при измерении постоянного напряжения; XS13...XS17-при измерении постоянного тока.

Вам, наверное, непонятно слово «предел», которое встречалось выше. Для выяснения обратимся к принципиальной схеме

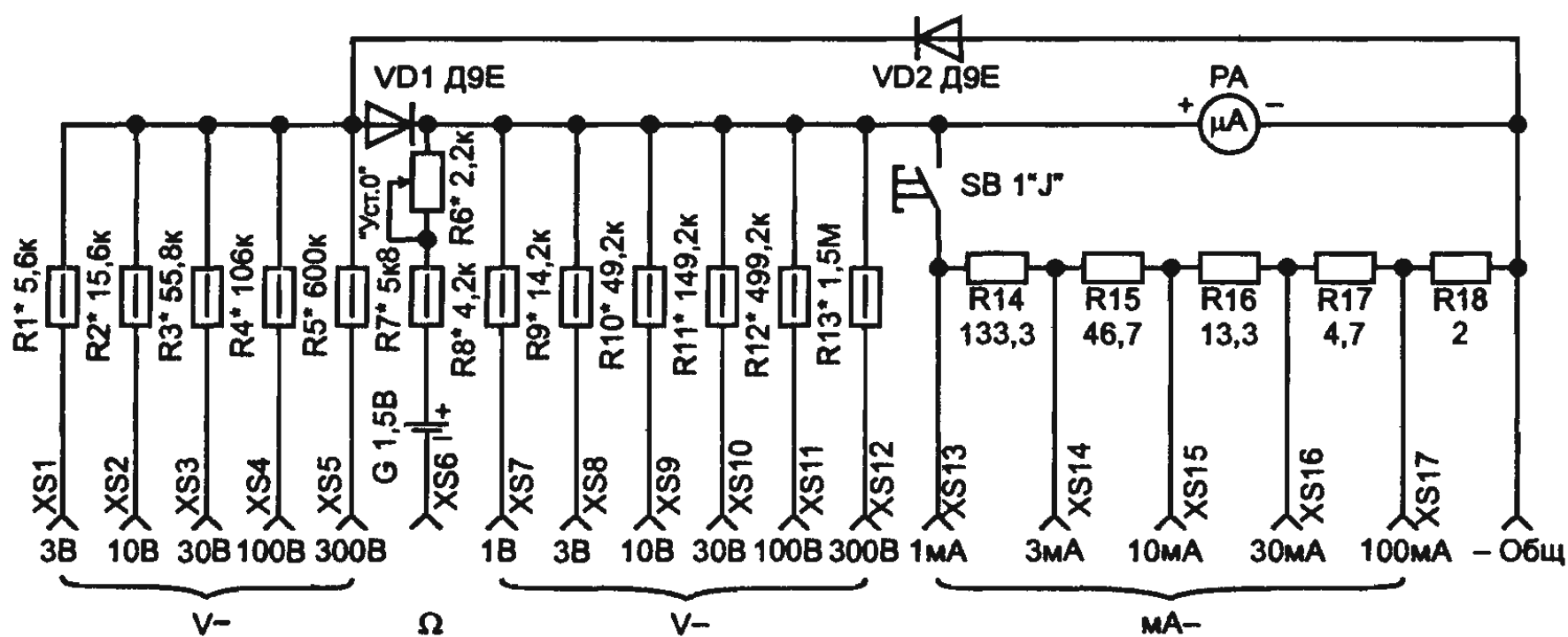


Рис. 2.29. Принципиальная схема милливольтметра

(рис. 2.29). Из схемы видно, что прибор позволяет измерять напряжение постоянного тока на 6-ти пределах: 1 В (гнездо XS7), 3 В (XS8), 10 В (XS9), 30 В (XS10), 100 В (XS11), 300 В (XS12). Указанные пределы называются верхними, нижние пределы во всех случаях равны нулю вольт. Применяется и другое понятие — диапазон измерения. Тогда мы сказали бы иначе — прибор позволяет измерять напряжение постоянного тока на 6-ти диапазонах: (0...1) В, (0...3) В, (0...10) В, (0...30) В, (0...100) В, (0...300) В. При наличии нескольких диапазонов (пределов измерений) их выбирают таким образом, чтобы они частично перекрывались в соотношениях 1 : 2 : 5 или 1 : 3 : 10 (посмотрите на надписи у гнезд прибора). В нашем приборе реализовано последнее соотношение.

О возможном применении гальванометра для тех или иных измерений можно судить по таким его характеристикам, как класс точности и чувствительность. По классу точности существуют гальванометры классов: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4. Класс точности задается в процентах от наибольшего (конечного) значения шкалы гальванометра. Наиболее точными являются гальванометры класса 0,05. Если конечное значение шкалы микроамперметра 100 мкА, число делений на шкале 100, класс точности равен 1 (что соответствует $\pm 1\%$), то в этом случае разность между показанием прибора и истинным значением измеряемой величины может быть не более ± 1 мкА (рис. 2.30, а). Если у второго микроамперметра с такой же длиной шкалы, но имеющим конечное значение шкалы, равное 10 мкА, и число делений на шкале также равно 100 (рис. 2.30, б), то для первого прибора на интервал измерения величины в 1 мкА приходится одно деление шкалы, а

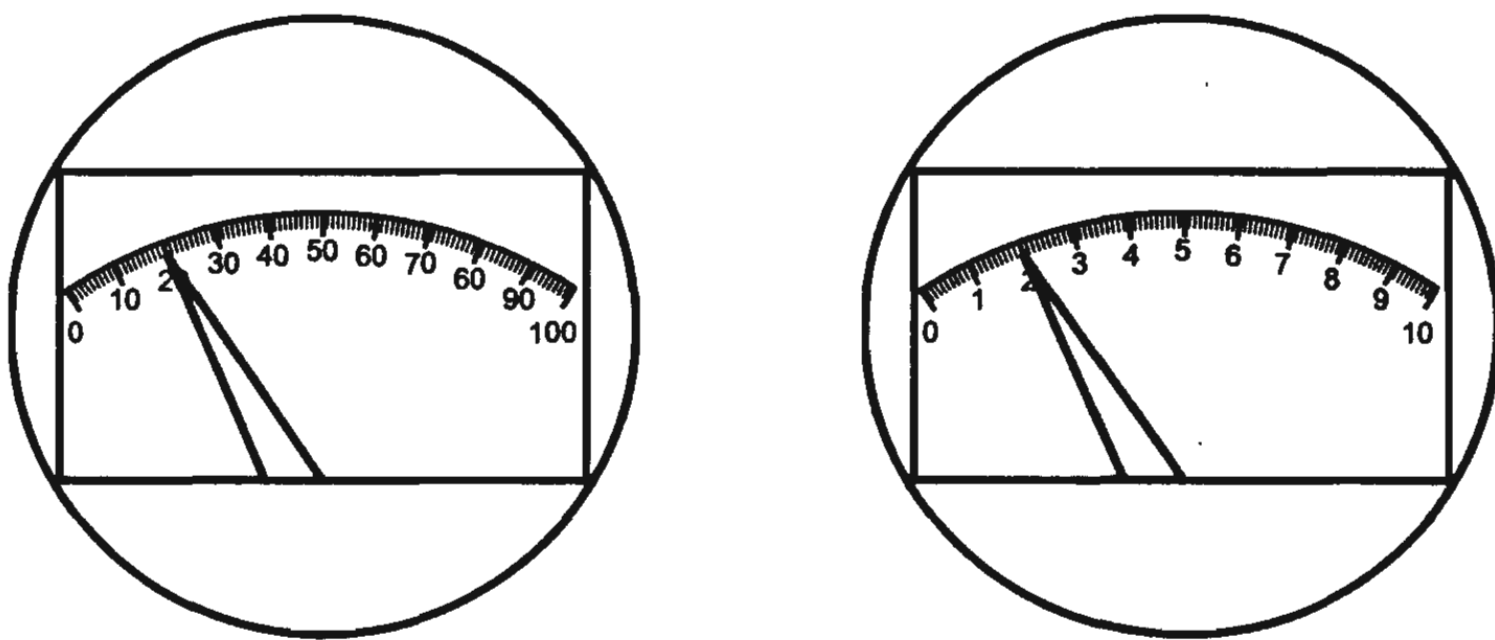


Рис. 2.30. Из которого видно, что первый прибор позволяет измерить силу тока с точностью ± 1 мкА, а второй - с точностью $\pm 0,1$ мкА

для второго прибора 10. Это означает, что вторым прибором можно измерять силу тока с точностью до 0,1 мкА, а первым — только до 1 мкА, т.е. у второго прибора разрешающая способность выше. Эта способность измерительного устройства характеризует его чувствительность, которая определяется количеством единиц измеряемой величины, отсчитываемых на одно деление.

Так как класс точности измерительного устройства задается в процентах (например, 1,5%) от наибольшего (конечного) значения шкалы (предела измерений), то это означает, что приведенная погрешность измерения на любой отметке шкалы не превышает 1,5% от предела измерения. Отсюда следует также, что точность любого измерения зависит от положения стрелки на отметках шкалы. Так, например, при измерении силы тока рассмотренным выше микроамперметром с конечным значением шкалы 100 мкА и классом точности 1 ($\pm 1\%$) абсолютная погрешность измерения силы тока 100 мкА составляет $100 \text{ мкА} \pm 1\% = 100 \pm 1 \text{ мкА}$. То есть, если прибор показывает 100 мкА, то реальное значение силы тока находится в пределах $100 \pm 1 = 99 \dots 101 \text{ мкА}$. Если этот же микроамперметр, но уже включенный в другую цепь, показывает силу тока 10 мкА, то погрешность измерения будет составлять уже не 1%, а 10%, потому что погрешность измерения силы тока в 1 мкА составляет от текущего значения измеряемой силы тока 10 мкА уже $10\% (1 \text{ мкА} / 10 \text{ мкА}) 100\% = 0,1 100\% = 10\%$. А если бы прибор показывал силу тока 30 мкА, то погрешность измерения была бы равна $(1 \text{ мкА} / 30 \text{ мкА}) 100\% = 3,3\%$. Поэтому все измерения следует проводить таким образом, т.е. выбирать пределы измерения, чтобы стрелка прибора (амперметра, вольтметра или омметра) находилась в конце шкалы. Об этом следует всегда помнить.

В изготавливаемом приборе использован индикатор магнито-электрической системы типа М24 с током полного отклонения стрелки $I_{\text{по}} = 200$ мкА и сопротивлением рамки $R_{\text{п}} = 800$ Ом. Эти два параметра ($I_{\text{по}}$, $R_{\text{п}}$) являются основными параметрами гальванометра. Ток полного отклонения гальванометра $I_{\text{по}}$ определяется максимальным значением шкалы гальванометра. Например, если микроамперметр имеет конечную отметку шкалы, равную 100, то это соответствует силе тока полного отклонения 100 мкА. Такой прибор можно включать только в такие цепи, сила тока в которых не превышает 100 мкА. Сопротивление рамки $R_{\text{п}}$ гальванометра используется при расчетах шунтов и добавочных сопротивлений и часто указывается на шкале прибора. Так как в нашем миллиамперметре использован гальванометр с $I_{\text{по}} = 200$ мкА, то с его помощью можно измерить силу тока только до 200 мкА. А если требуется измерить б?льшую силу тока, то для этого необходимо использовать шунт-резистор, подключенный параллельно гальванометру. Применение шунтов позволяет расширить пределы измерений амперметров (миллиамперметров, микроамперметров), хотя при этом ухудшается чувствительность прибора.

В состав миллиамперметра (рис. 2.29) входят: микроамперметр РА1, шунты R14—R18, кнопка SB1 и гнезда XS13—XS17, зажим «— Общ».

Рассчитаем сопротивления шунтов к миллиамперметру постоянного тока. Вначале рассчитывают сопротивление общего шунта, соответствующего наименьшему верхнему пределу $I_{\text{п1}}$ измерения силы тока, т.е. пределу $1 \text{ мА} = 1000 \text{ мкА}$. Для этого используется формула:

$$R_{\text{ш}} = R_{\text{п}} / (I_{\text{п1}} / I_{\text{по}} - 1) = 800 / (1000 / 200 - 1) = 200 \text{ Ом.} \quad (2.16)$$

В этой формуле обе величины ($I_{\text{по}}$ и $I_{\text{п1}}$) должны иметь одинаковую размерность. Посмотрите на схему: общее сопротивление шунта действительно равно 200 Ом. Теперь можно перейти к расчету сопротивлений шунтов остальных пределов измерений. Следующий этап — расчет сопротивления шунта максимального предела ($I_{\text{п5}} = 100 \text{ мА} = 100\,000 \text{ мкА}$). Почему? Потому что сопротивление этого шунта наименьшее, а его величина будет входить составляющей в сопротивление шунтов других пределов измерений (посмотрите на рис. 2.29). Сопротивление R18 этого шунта определяем по формуле:

$$R18 = (I_{\text{по}} / I_{\text{п5}}) (R_{\text{ш}} + R_{\text{п}}). \quad (2.17)$$

Здесь так же, как и в формуле (2.16) $I_{п0}$ и $I_{п1}$ должны иметь одинаковую размерность. Тогда:

$$R18 = (200 / 100000) \cdot (800 + 200) = 2 \text{ Ом.}$$

По этой же формуле определяются сопротивления других шунтов, но каждый раз вычитаются сопротивления шунтов тех пределов, которые добавляются к рассчитываемому.

$$R17 = I_{п0} / I_{п4} (R_{ш} + R_{п}) - R18 = 200 / 30000 (800 + 200) - 2 \approx \approx 4,7 \text{ Ом.}$$

$$R16 = I_{п0} / I_{п3} (R_{ш} + R_{п}) - R17 - R18 = 200 / 10000 (800 + 200) - - 4,7 - 2 = 13,3 \text{ Ом.}$$

$$R15 = I_{п0} / I_{п2} (R_{ш} + R_{п}) - R16 - R17 - R18 \approx 46,7 \text{ Ом.}$$

$$R14 = I_{п0} / I_{п1} (R_{ш} + R_{п}) - R15 - R16 - R17 - R18 = 133,3 \text{ Ом.}$$

Точно так же можно рассчитать сопротивления шунтов для других значений $I_{п0}$ и $R_{п}$, т.е. для другого гальванометра.

- *Рассмотрим пример.* Необходимо измерить силу постоянного тока в цепи, о которой мы знаем предварительно, что она не превышает 30 мА. Тогда один конец измерительного проводника подсоединяем к гнезду XS16, а второе — к зажиму «— Общ», вторые концы измерительных проводников со щупами подключаем в разрыв электрической цепи, где необходимо измерить силу тока. При этом следует учитывать полярность подключения прибора (см. рис. 2.17, 2.19, 2.20). После этого нажимаем на кнопку SB и считываем показания прибора. Появляется вопрос: какой шкалой пользоваться? Из рис. 2.31 видно, что для измерения силы тока и напряжения постоянного тока имеются две шкалы: одна с верхним пределом 10, а вторая — 3 с обозначением в конце шкал: «V₋, mA₋». Очевидно, мы воспользуемся второй шкалой с верхним пределом 3 мА и показания миллиамперметра будем умножать на 10, так как измерительный проводник подключен к гнезду 30 мА (т.е. верхний предел выбран равным 30 мА), а шкала миллиамперметра равна 3 мА.

Теперь можно перейти к расчету добавочных резисторов R8—R13 к вольтметру постоянного тока (V₋), в который входят микроамперметр PA1, добавочные резисторы R8—R13, гнезда XS7—

XS12 и зажим «— Общ». Сопротивления добавочных резисторов вычисляются по формуле:

$$R_d = [U_n / I_{п0}] - R_n, \quad (2.18)$$

где U_n — верхний предел измерения напряжения.

$$R_{13} = U_{п300} / I_{п0} - R_n = 300/200 \cdot 10^{-6} - 800 \approx 1,5 \text{ МОм.}$$

$$R_{12} = U_{п100} / I_{п0} - R_n = 100/200 \cdot 10^{-6} - 800 = 499,2 \text{ кОм.}$$

$$R_{11} = U_{п30} / I_{п0} - R_n = 30/200 \cdot 10^{-6} - 800 = 149,2 \text{ кОм.}$$

$$R_{10} = U_{п10} / I_{п0} - R_n = 10/200 \cdot 10^{-6} - 800 = 49,2 \text{ кОм.}$$

$$R_9 = U_{п3} / I_{п0} - R_n = 3/200 \cdot 10^{-6} - 80 = 14,2 \text{ кОм.}$$

$$R_8 = U_{п1} / I_{п0} - R_n = 1/200 \cdot 10^{-6} - 80 = 4,2 \text{ кОм.}$$

Отсюда видно: **чем больше верхний предел измерения, тем больше сопротивление добавочного резистора.**

Входное сопротивление вольтметра постоянного тока на пределе «1 В» равно:

$$R_{вх.1} = R_8 + R_n = 4,2 + 0,8 = 5 \text{ кОм,}$$

а на пределе «300 В»:

$$R_{вх.300} = R_{13} + R_n = 1500 + 0,8 \approx 1500 \text{ кОм} = 1,5 \text{ МОм.}$$

Таким образом, вы можете убедиться, что входное сопротивление вольтметра увеличивается с увеличением значения верхнего предела. Но вольтметр чаще характеризуется относительным входным сопротивлением, равным входному сопротивлению вольтметра на данном пределе, поделенным на напряжение верхнего предела. Так, на пределе «1 В» относительное входное сопротивление

$$R_{отн} = R_{вх.1} / 1 \text{ В} = 5 \text{ кОм} / 1 \text{ В} = 5 \text{ кОм/ В,}$$

на пределе «300 В»:

$$R_{отн} = R_{вх.300} / 300 \text{ В} = 1500 \text{ кОм} / 300 \text{ В} = 5 \text{ кОм/ В и т.д.}$$

Таким образом, относительное входное сопротивление вольтметра постоянного тока одинаковое на всех пределах и равно 5 кОм/ В.

Выше (рис. 2.26) было показано, что вольтметр постоянного тока с малым входным сопротивлением заметно искажает режим электрической цепи, что приводит к ошибкам измерения. Чтобы в этом случае получить правильный результат измерения, нужно снять два показания измеряемого напряжения на двух пределах измерения (на пределах «10 В» и «30 В»). Действительное напряжение теперь может быть подсчитано по формуле:

$$U = U_1 \cdot U_2 \cdot (R_2 - R_1) / (U_1 \cdot R_2 - U_2 \cdot R_1),$$

где U_1, U_2 — показания вольтметра на пределах измерения «10 В» и «30 В» соответственно;

R_1, R_2 — входные сопротивления вольтметра соответственно для пределов измерения «10 В» и «30 В».

Не забывайте, что вольтметр постоянного тока:

1. Всегда подключается к зажимам нагрузки (резистору, лампе накаливания и т.д.) параллельно;

2. Всегда подключается к зажимам нагрузки с учетом полярности напряжения.

А теперь перейдем к расчету резисторов омметра. В омметр входят микроамперметр PA1, постоянный резистор R7, переменный резистор R6, гнездо XS6, зажим «— Общ» и химический элемент G1. С принципом работы омметра вы уже знакомы, если забыли, то следует повторить (рис. 2.28). Если мы подключим микроамперметр PA1 непосредственно к элементу G1 (напряжение на его зажимах равно 1,5 В), то через рамку микроамперметра сопротивлением $R_{\pi} = 800$ Ом потечет ток $I = U/R_{\pi} = 1,5/800 = 1,8$ мА = 1800 мкА. Но сила тока полного отклонения рамки $I_{\pi 0}$ равна 200 мкА, поэтому рамка может перегореть. Для ограничения силы тока и ставят резисторы R6 и R7. Общее сопротивление резисторов должно быть равно:

$$R_0 = U/I_{\pi 0} = 1,5/200 \cdot 10^{-6} = 7500 \text{ Ом} = 7,5 \text{ кОм},$$

из них 800 Ом будет составлять сопротивление R_{π} рамки. В процессе эксплуатации химические элементы разряжаются и напряжение на их зажимах уменьшается. Так, для элементов А314, А316, А332 допустимое напряжение разряда составляет 0,9 В, а для элементов А336, А343, А373 — 0,75 В. С учетом этого общее сопротивление резисторов должно быть не менее:

$$1. R_{01} = U_{д1} / I_{\pi 0} - R_{\pi} = 0,9/200 \cdot 10^{-6} - 800 = 4500 - 800 = 3,7 \text{ кОм}.$$

$$2. R_{02} = U_{д2} / I_{п0} - R_{п} = 0,75/200 \cdot 10^{-6} - 800 = 3750 - 800 \approx 3 \text{ кОм.}$$

Поэтому с учетом полного разряда элемента сопротивление постоянного резистора R7 должно быть равно 3,7 кОм, либо 3 кОм, а сопротивление переменного резистора $R_{6-1} = R_0 - R_{01} = 7,5 - 3,7 = 3,8 \text{ кОм}$ или $R_{6-2} = R_0 - R_{02} = 7,5 - 3 = 4,5 \text{ кОм}$. Выбираем: R7 = 3 кОм, а R6 = 4,5 кОм. Переменным резистором R6 устанавливают стрелку омметра на нуль шкалы при закороченных клеммах XS6 и «— Общ» измерительными проводниками.

Шкала омметра обратная по сравнению со шкалой вольтметра (рис. 2.31): нуль находится справа, а наибольшее значение сопротивления, обозначаемого знаком «∞» («бесконечность»), слева. Кроме того, шкала омметра нелинейная: ее деления по мере приближения к «∞» все более сжимаются.

И последнее. Переходим к расчету добавочных резисторов R1—R5 вольтметра переменного тока (V~). Они рассчитываются по тем же формулам, что и добавочные резисторы к вольтметру постоянного тока. Отличие состоит лишь в том, что полученные результаты надо разделить на 2,5. Почему так, вы узнаете в главе «Переменный ток». С учетом этого входное сопротивление вольтметра переменного тока меньше входного сопротивления вольтметра постоянного тока примерно в 3 раза. Вольтметр состоит из микроамперметра PA1, добавочных резисторов R1—R5, диодов VD1, VD2, гнезд XS1 — XS5 и зажима «— Общ». Диод VD1 обеспечивает протекание через микроамперметр PA пульсирующего тока, а диод VD2 пропускает полуволну тока в обход микроамперметра. Диод VD2 может и не быть, но тогда увеличится вероятность пробоя диода VD1 и выход из строя микроамперметра. Шкала вольтметра переменного тока неравномерная.

Конструкция прибора показана на рис. 2.32. В качестве входных гнезд можно использовать гнезда трех семиштырьковых лам-

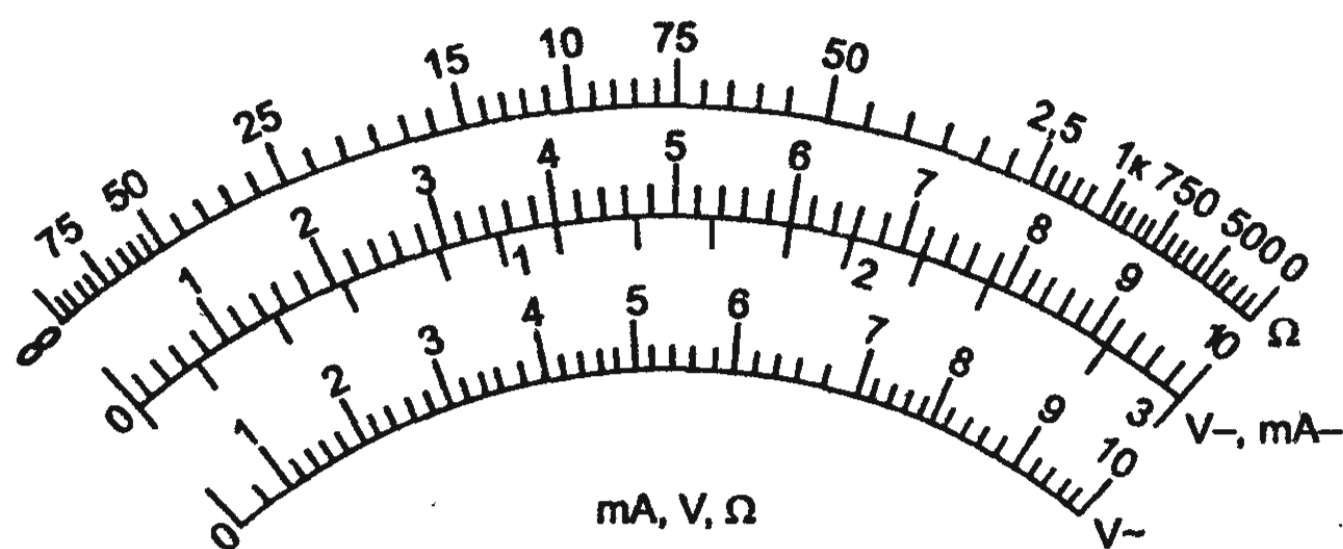


Рис. 2.31. Образец шкалы миллиамметра

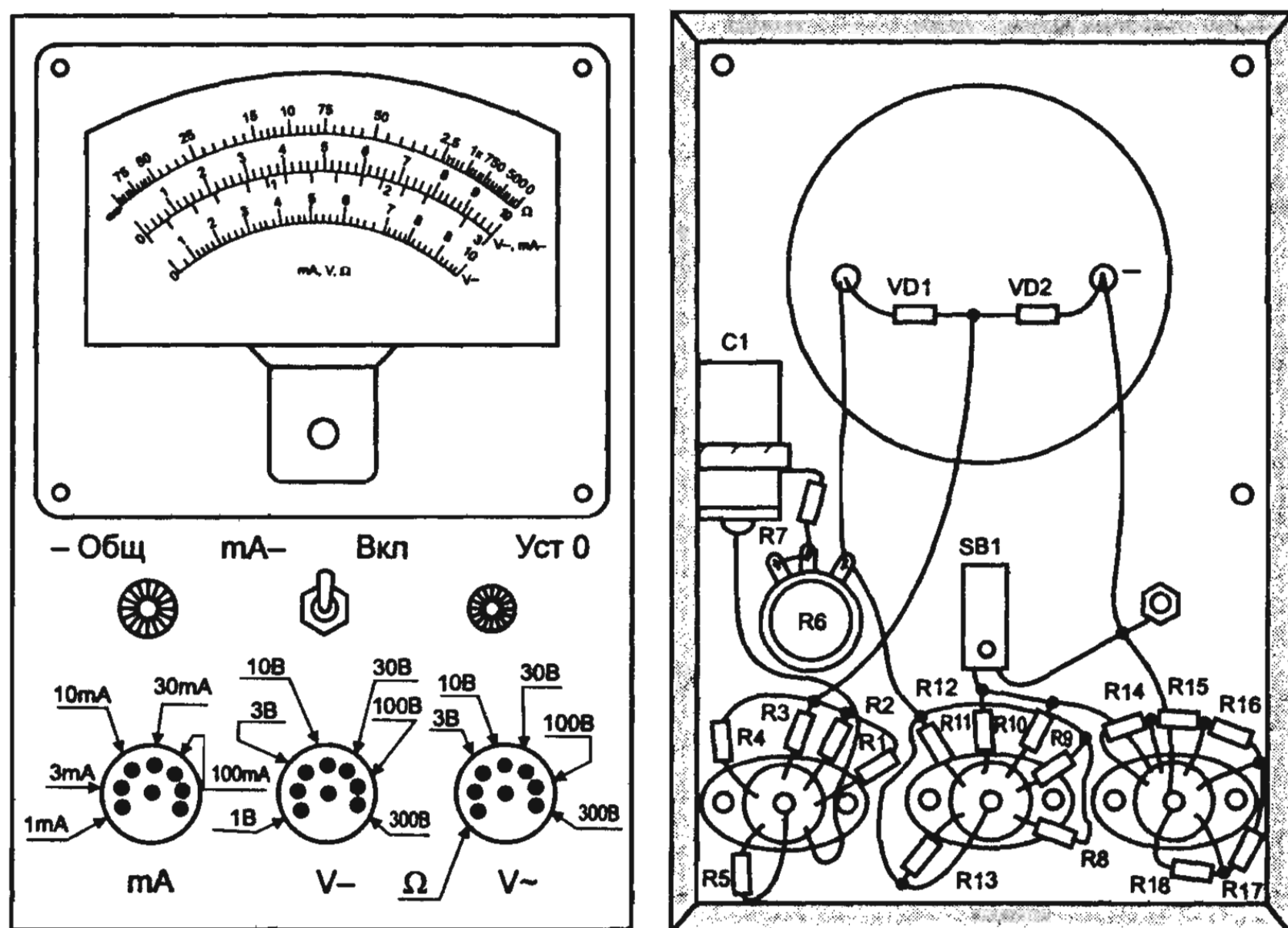


Рис. 2.32. Возможная конструкция миллиавометра

повых панелек и один зажим. Гнезда одной из панелек относятся только к миллиамперметру, гнезда второй — только к вольтметру постоянного тока, третьей — к вольтметру переменного тока и к омметру. Микроамперметр, ламповые панельки, переменный резистор R6 типа СП-1, кнопка SB типа КМ1-1 укреплены на гетинаксовой панели размерами 200 × 140 мм, элемент G1 типа 332 (либо другой) — на боковой стенке прибора. Резисторы универсального шунта и добавочные резисторы вольтметров смонтированы непосредственно на лепестках ламповых панелек.

В качестве добавочного использованы резисторы типа МЛТ-0,5, а резисторы R1 — R18 универсального шунта должны быть проволочными. Можно использовать манганиновый или константановый провод диаметром 0,01...0,1 мм в шелковой или бумажной изоляции. Отрезки провода намотаны на корпуса резисторов типа МЛТ-1 (можно МЛТ-0,5) сопротивлением 56 кОм (должно быть не менее 20 кОм) и припаяны к выводам резисторов. Длину провода нужного сопротивления можно вычислить по формуле, а можно измерить омметром. Отрезок константанового провода ПЭК, например, диаметром 0,1 мм и длиной 1 м имеет сопротивление 60 Ом. Сопротивление секций универсального шунта при градуировке прибора надо подгонять, поэтому, чтобы не наращивать про-

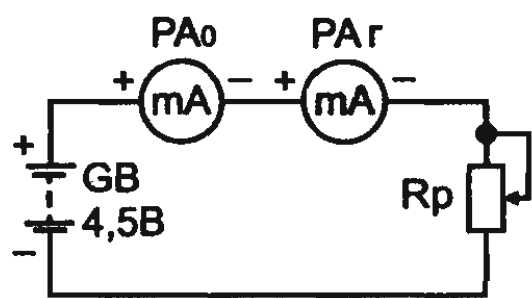


Рис. 2.33. Схема градуировки миллиамперметра

вод при подгонке, надо длину провода выбирать на 5...10% больше расчетной. Градуировка миллиамперметра и вольтметра постоянного тока сводится к подгонке секций универсального шунта и добавочных резисторов, а вольтметра переменного тока и омметра, кроме того, и к

разметке шкал. Для градуировки миллиамперметра потребуется: образцовый многопредельный миллиамперметр, свежая батарея 3336Л и два переменных резистора — проволочный сопротивлением 200...500 Ом и пленочный (СП, СПО) сопротивлением 5...10 кОм. Первый используется при подгонке резисторов R16...R18, а второй — при подгонке резисторов R14 и R15 шунта.

В начале лучше подогнать резистор R14. Для этого соедините последовательно (рис. 2.33) образцовый миллиамперметр РА, батарею GB и регулировочный резистор R_p . Установите движок резистора R_p в положение максимального сопротивления, подключите к ним градуируемый прибор РА, включенный на предел измерений до 1 мА (измерительные шунты подключены к зажиму «— Общ» и гнезду XS13, кнопка SB1 нажата). Затем, постепенно уменьшая сопротивление регулировочного резистора по образцовому миллиамперметру, установите силу тока в измерительной цепи, равную точно 1 мА. Сличите показания обоих приборов. Поскольку сопротивление провода резистора R14 немного больше расчетного, стрелка градуируемого прибора уходит за конечное деление шкалы. Понемногу уменьшая длину провода этого резистора, надо добиться, чтобы стрелка градуируемого прибора установилась точно против конечной отметки шкалы. После этого можно приступить к подгонке резистора R15 на пределе измерений до 3 мА, затем резистора R16 на пределе измерений до 10 мА и т.д. Подбирая сопротивление очередного резистора, уже подогнанные резисторы шунта трогать нельзя, иначе можно сбить градуировку соответствующих им пределов измерений.

Шкалу вольтметра постоянного тока первых трех диапазонов измерений (0...1; 0...3 и 0...10 В) следует градуировать по схеме, показанной на рис. 2.34. Параллельно батарее GB, составленной из трех батарей 3336Л (последовательно соединенных), подключить переменный резистор R_p сопротивлением 1,5...2,5 кОм, а между его нижним (по схеме) выводом и движком включить па-

параллельно соединенные образцовый PV_0 и градуируемый PV_r вольтметры. Предварительно движок резистора поставить в крайнее нижнее (по схеме) положение, соответствующее нулевому напряжению, подаваемому к измерительным приборам, а градуируемый вольтметр включить на предел измерения до 1 В. Постепенно перемещая движок резистора вверх, подать на вольтметры напряжение, равное точно 1 В. Сличить показания приборов. Если стрелка градуируемого вольтметра не доходит до конечной отметки шкалы, значит сопротивление резистора R_8 велико, если, наоборот, уходит, значит его сопротивление мало. Надо подобрать резистор такого сопротивления, чтобы при напряжении 1 В, фиксируемом образцовым вольтметром, стрелка градуируемого прибора устанавливалась против конечной отметки шкалы. Также, но при напряжениях 3 и 10 В, подобрать добавочные резисторы R_9 и R_{10} следующих двух пределов измерений. По такой же схеме проградуировать шкалы и остальных трех пределов измерений, но с использованием соответствующих им источников постоянных напряжений. При этом вовсе не обязательно подавать на приборы наибольшие напряжения пределов измерения. Подгонять сопротивления резисторов можно при каких-то средних напряжениях (например, резистор R_{11} — при напряжении 15...20 В), а затем сверить показания вольтметра при более низких и более высоких напряжениях. При градуировке шкалы предела до 300 В резистор R_p должен быть заменен резистором сопротивлением 470...510 кОм.

Среди постоянных резисторов обычно нет точно таких, номинальные сопротивления которых соответствовали бы расчетным сопротивлениям добавочных резисторов (см. ряды номинальных сопротивлений). Поэтому резисторы требуемого сопротивления приходится подбирать из числа резисторов близкого ему номинала с допуском отклонения не более $\pm 5\%$. Например, для предела измерения до 1 В нужен добавочный резистор (R_8) сопротивлением 4,2 кОм. В ряду номиналов сопротивлений ближайший номинал резисторов 4,3 кОм. При допуске $\pm 5\%$ фактическое сопротивление резисторов этого номинала может быть от 4,1 до 4,5 кОм. С помощью омметра из них можно выбрать резистор сопротивлением 4,2 кОм (с учетом класса точности авометра). Добавочный резистор нужного сопротивления можно также составить из двух или трех резисторов.

Шкалы миллиамперметра и вольтметра постоянного тока равномерные, поэтому наносить на шкалу микроамперметра какие-

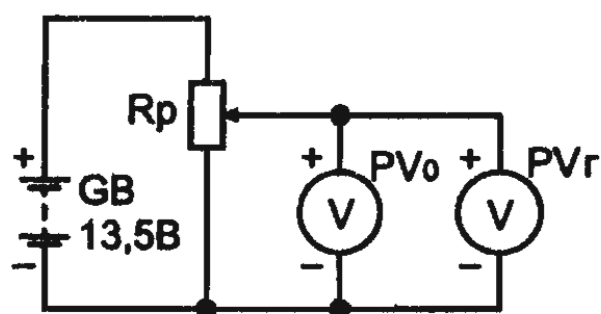


Рис. 2.34. Схема градуировки вольтметра постоянного тока

либо деления между начальной и конечной отметками не следует. Оцифрованная шкала микроамперметра используется при измерении токов и напряжений всех пределов измерений. А вот шкала вольтметра переменного тока неравномерная, поэтому (кроме подгонки до-

бавочного резистора под наибольшую силу тока каждого предела измерений) приходится размечать все промежуточные деления шкалы. Электрическая схема измерительной цепи во время градуировки вольтметра переменного тока остается такой же, как при градуировке вольтметра постоянного тока (см. рис. 2.34). Только на переменный резистор R_p надо подавать переменное напряжение, а образцовый прибор должен быть вольтметром переменного тока. Источником переменного напряжения может быть вторичная обмотка трансформатора или автотрансформатор. Сначала, используя трансформатор, понижающий напряжение сети до 12...15 В, включите градуируемый вольтметр на предел измерения до 3 В и установите резистором R_p по шкале образцового прибора напряжение 4 В. Затем, подбирая резистор R_1 , надо добиться отклонения стрелки микроамперметра на всю шкалу. После этого регулировочным резистором установите напряжение 2,9; 2,8; 2,7 В и т.д. через каждые 0,1 В и запишите показания градуируемого вольтметра. Позже по этим записям надо начертить и разметить шкалу вольтметра переменного тока на всех пределах измерения.

Для градуировки шкалы на остальных пределах измерения достаточно подобрать добавочные резисторы, которые бы соответствовали отклонению стрелки микроамперметра до конечного деления шкалы. Промежуточные значения измеряемых напряжений следует отсчитывать по шкале первого предела, но в других единицах.

Шкалу омметра можно градуировать с помощью постоянных резисторов с допуском отклонения от номинала $\pm 5\%$. Сначала, включив прибор на измерение сопротивлений, замкнуть цепь и переменным резистором R_6 «уст. 0» установить стрелку микроамперметра на конечное деление шкалы, соответствующее нулю омметра. Затем, разомкнув щупы, подключить к омметру резисторы с номинальными сопротивлениями 50, 100, 200, 300, 400, 500 Ом, 1 кОм и т.д. примерно до 60...80 кОм, всякий раз замечая точку на шкале, до которой отклоняется стрелка прибора. В этом

случае резисторы нужных сопротивлений можно составлять из нескольких резисторов других номиналов. Чем больше сопротивление образцового резистора, тем на меньший угол отклоняется стрелка прибора. По точкам, соответствующим отклонениям стрелки прибора для различных значений сопротивлений резисторов, построить шкалу омметра.

Образец шкал комбинированного прибора применительно к микроамперметру типа М24 показан на рис. 2.31. Примерно так должны выглядеть шкалы и этого прибора. Начертить их точнее можно на листе ватмана и вырезать бумагу по форме шкалы микроамперметра. Затем осторожно вытащить магнитоэлектрическую систему прибора из корпуса и наклеить на его металлическую шкалу вычерченную многопредельную шкалу миллиампервольтметра.

2.8. ПОЛЕЗНЫЕ СОВЕТЫ

2.8.1. Измерение напряжений вольтметром с малым входным сопротивлением

При отсутствии вольтметра с большим входным сопротивлением постоянное напряжение можно измерить с высокой точностью и вольтметром с малым входным сопротивлением. Для этого необходимо присоединить вольтметр к точкам А, В цепи, напряжение между которыми нужно измерить (рис. 2.35,а), и заметить первое показание (U_1) вольтметра. Затем включить последовательно с вольтметром резистор R , сопротивление которого равно внутреннему сопротивлению вольтметра R_B (рис. 2.35,б) и заметить второе показание (U_2) вольтметра. Искомое напряжение U вычисляем по формуле:

$$U = U_1 \cdot U_2 / (U_1 - U_2).$$

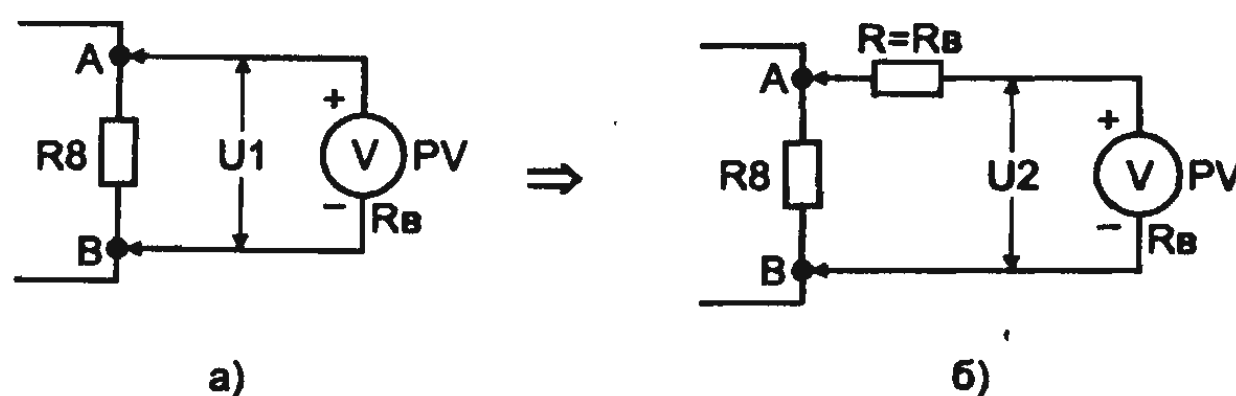


Рис. 2.35. Метод измерения напряжений вольтметром с малым входным сопротивлением

- *Пример.* Чему равно напряжение на аноде лампы телевизора, если при измерении вольтметром с малым входным сопротивлением показание прибора равно $U_1 = 75 \text{ В}$, а при измерении напряжения по схеме рис. 2,36,б — $52,5 \text{ В}$?

Решение. Напряжение на аноде лампы равно:

$$U = 75 \cdot 52,5 / (75 - 52,5) = 175 \text{ В}.$$

Из приведенного примера видно, что при непосредственном измерении напряжения вольтметром результат измерения ($U_1 = 75 \text{ В}$) намного отличается от действительного значения напряжения ($U = 175 \text{ В}$).

2.8.2. Измерение постоянных напряжений миллиамперметром

Этот способ требует двух дополнительных резисторов R_1 и R_2 . Для облегчения вычислений сопротивление второго резистора должно быть равно числу, выраженному однозначной цифрой с нулями, например 5000, 10 000, 20 000 и т.д. Порядок измерения напряжения следующий:

а) к точкам А и В (рис. 2.36,а), напряжение между которыми требуется измерить, присоединяют миллиамперметр с последовательно включенным резистором R_1 и замечают показания прибора (I_1) (резистор R_1 желательно взять такой величины, чтобы стрелка отклонялась почти на всю шкалу);

б) последовательно с миллиамперметром и резистором R_1 включают резистор R_2 (рис. 2.36,б) и замечают второе показание (I_2) прибора;

в) определяют напряжение между точками А и В по формуле:

$$U = R_2 \cdot I_1 \cdot I_2 / (I_1 - I_2).$$

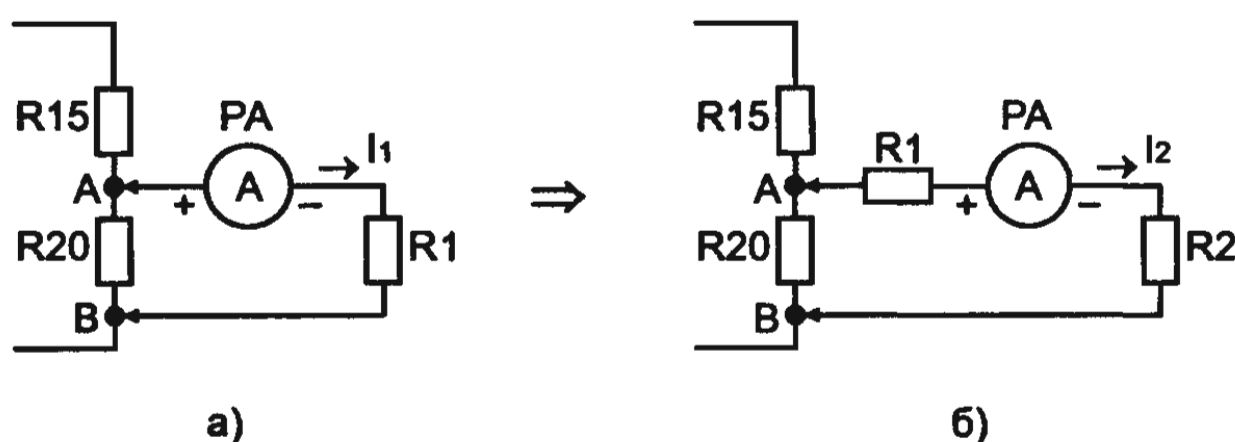


Рис. 2.36. Метод измерения напряжения постоянного тока миллиамперметром

- *Пример.* Чему равно напряжение на зажимах полупроводникового выпрямителя, если при включении последовательно с миллиамперметром резистора сопротивлением $R_1 = 900 \text{ Ом}$ ток $I_1 = 9 \text{ мА}$, а при увеличении сопротивления в цепи прибора до 1900 Ом сила тока уменьшается до $5,4 \text{ мА}$?

Решение:

$$U = 1000 \cdot 9 \cdot 10^{-3} \cdot 5,4 \cdot 10^{-3} / (9 \cdot 10^{-3} - 5,4 \cdot 10^{-3}) = 13,5 \text{ В.}$$

2.8.3. Измерение силы тока низкоомным вольтметром

В отсутствие миллиамперметра или амперметра ток можно измерить вольтметром.

С этой целью вольтметр вводят последовательно в измеряемую цепь (рис. 2.37,а) и замечают первое показание (U_1) прибора.

Присоединив параллельно вольтметру (рис. 2.37,б) резистор, сопротивление R которого известно, замечают второе показание (U_2) вольтметра.

Затем определяют искомый ток, то есть ток, протекающий в цепи в отсутствие вольтметра, по формуле:

$$I = \frac{U_1 U_2}{R(U_1 - U_2)}$$

- *Пример.* При включении вольтметра в цепь катода кинескопа показание прибора равно $U_1 = 2,75 \text{ В}$; после присоединения к вольтметру резистора сопротивлением $R = 22 \text{ кОм}$ показание вольтметра уменьшается до $1,3 \text{ В}$. Чему равен ток в цепи катода кинескопа?

Решение. Согласно формуле измеряемый ток равен:

$$I = \frac{U_1 U_2}{R(U_1 - U_2)} = \frac{2,75 \cdot 1,3}{22000(2,75 - 1,3)} = 112 \text{ мкА.}$$

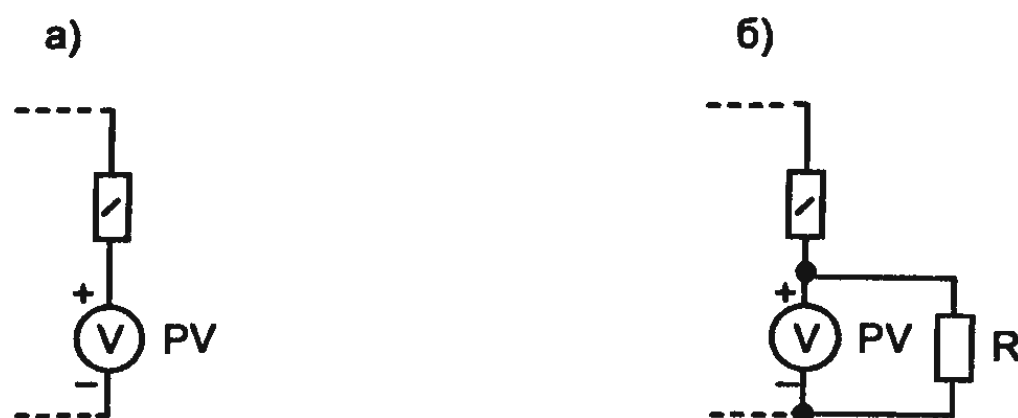


Рис. 2.37. Метод измерения силы тока низкоомным вольтметром

Вследствие того, что любой измеритель тока обладает собственным сопротивлением, включение его в цепь увеличивает общее сопротивление и, следовательно, уменьшает ток. Таким образом, показания микро- и миллиамперметров оказываются меньше тех значений токов, которые протекают в цепи в отсутствие прибора. Чем больше отношение сопротивления прибора к сопротивлению между теми двумя точками цепи, к которым присоединен измеритель тока, тем больше эта дополнительная ошибка измерения.

2.8.4. Измерение малых сопротивлений миллиамперметром

Процесс измерения начинается со сборки схемы, изображенной на рис. 2.38,а. Сопротивление R резистора выбирают в пределах $R = (20...30) R_{mA}$, где R_{mA} — сопротивление миллиамперметра, а напряжение батареи берут такой величины, при которой стрелка миллиамперметра отклоняется почти на всю шкалу.

Записав первое показание прибора (I_1), присоединяют параллельно миллиамперметру измеряемое сопротивление R_x и замечают второе показание прибора (I_2).

После этих измерений сопротивление R_x определяют по формуле:

$$R_x = \frac{R_{mA}}{\frac{I_1}{I_2} - 1}. \quad (2.19)$$

или по более точной формуле:

$$R_x = \frac{RR_{mA}}{(R + R_{mA})\left(\frac{I_1}{I_2} - 1\right)}. \quad (2.19, a)$$

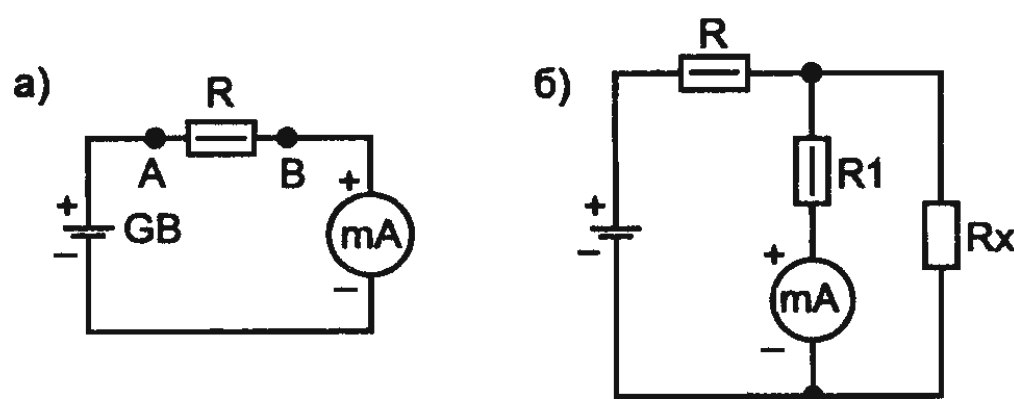


Рис. 2.38. Измерение малых сопротивлений миллиамперметром

Если необходимо измерить сопротивление большей величины, то после измерения тока I_1 в цепи, показанной на рис. 2.38,а схему дополняют еще одним резистором, сопротивление R_1 которого (рис.2.38,б) выбирают в пределах $(2...5) R_{mA}$, увеличивают сопротивление R до значения $(60...180) R_{mA}$, присоединяют измеряемое сопротивление так, как показано на рис. 2.38,б, и определяют R_x по формуле:

$$R_x = \frac{R_{mA} + R_1}{\left(\frac{I_1}{I_2} - 1\right)\left(1 + \frac{R_{mA}}{R}\right) - \frac{R_1}{R}} \quad (2.20)$$

где I_2 — сила тока, протекающая в ветви резистора R_1 .

- *Пример.* Необходимо измерить сопротивление звуковой катушки динамического громкоговорителя. При включении последовательно с четырьмя батареями для карманного фонаря и миллиамперметром ($R_{mA} = 9$ Ом) резистора $R = 180$ Ом показание прибора равно 94,7 мА, а при шунтировании миллиамперметра катушкой громкоговорителя ток в цепи прибора уменьшается до 34,9 мА.

Чему равно сопротивление катушки?

Решение. В соответствии с формулой (2.19.а) сопротивление катушки громкоговорителя постоянному току равно:

$$R_x = \frac{180 \cdot 9}{(180 + 9)(94,7 / 34,9 - 1)} = 5,01 \text{ Ом.}$$

2.8.5. Измерение сопротивлений вольтметром

При отсутствии омметра или авометра измерить активное сопротивление можно с помощью обычного вольтметра.

С этой целью собирают схему, изображенную на рис. 3.39, и замечают показания U_1 вольтметра. Затем замыкают измеряемое сопротивление R_x накоротко и записывают второе показание U_2 вольтметра. После этого определяют сопротивление резистора R_x по формуле:

$$R_x = R_B \left(\frac{U_2}{U_1} - 1 \right) \quad (2.21)$$

где R_B — сопротивление вольтметра постоянному току.

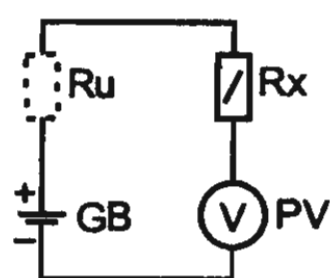


Рис. 2.39. Измерение сопротивлений вольтметром

Если измерение сопротивления выполняется низкоомным вольтметром и в качестве источника питания используется источник с повышенным внутренним сопротивлением, то измеренное сопротивление вычисляют по формуле:

$$R_x = (R_B + R_{И}) \left(\frac{U_2}{U_1} - 1 \right)$$

где $R_{И}$ — сопротивление источника питания.

Следует иметь в виду, что измерение сопротивления описанным способом тем точнее, чем меньше отличается измеряемое сопротивление от сопротивления вольтметра и чем больше разность показаний $U_2 - U_1$.

2.8.6. Два способа измерения сопротивления и тока полного отклонения микроамперметра с помощью двух постоянных резисторов

Способ 1. Измерение сопротивления и тока полного отклонения микроамперметра.

Чтобы измерить внутреннее сопротивление R_m и ток полного отклонения $I_{по}$ микроамперметра, собирают схему, изображенную на рис. 2.40. Сопротивления резисторов выбирают одного порядка

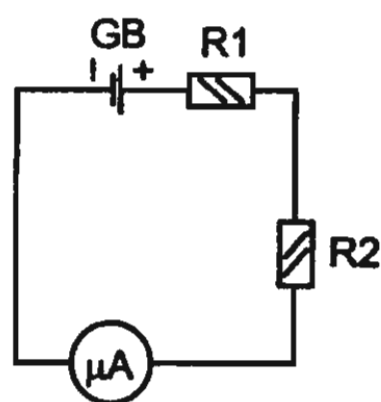


Рис. 2.40. Измерение сопротивления и тока полного отклонения микроамперметра

и такой величины, чтобы стрелка прибора находилась на второй половине шкалы.

Заметив показания прибора (I_1), закорачивают резистор R_2 и записывают второе показание (I_2) прибора. Затем вычисляют сопротивление микроамперметра по формуле:

$$R_m = \frac{R_2}{\frac{I_2}{I_1} - 1} - R_1 - R_{И}. \quad (2.22)$$

где $R_{И}$ — внутреннее сопротивление гальванического элемента.

Так как обычно $R_{\text{н}}$ значительно меньше первых двух слагаемых, то им можно пренебречь, т.е. воспользоваться формулой:

$$R_{\text{м}} = \frac{R_2}{\frac{I_2}{I_1} - 1} - R_1. \quad (2.23)$$

Ток полного отклонения, то есть ток, при котором стрелка прибора отклоняется на всю шкалу, определяют по формуле:

$$I_{\text{по}} = \frac{E}{R_2} \left(\frac{I_{\text{макс}}}{I_1} - \frac{I_{\text{макс}}}{I_2} \right). \quad (2.24)$$

где E — э.д.с. гальванического элемента, $I_{\text{макс}}$ — конечная отметка шкалы, соответствующая току полного отклонения.

- *Пример.* Определить сопротивление и ток полного отклонения микроамперметра М24, если при включении в цепь прибора резисторов $R_1 = 15$ кОм и $R_2 = 16$ кОм стрелка отклоняется до отметки «44,2» шкалы, а при закорачивании резистора R_2 — до отметки «85,7». Внутреннее сопротивление гальванического элемента равно 0,8 Ом, а э.д.с. — 1,46 В и число отметок шкалы — 100.

Решение. В соответствии с формулами (2.22) и (2.24) находим сопротивление микроамперметра:

$$R_{\text{м}} = \frac{16000}{\frac{85,7}{44,2} - 1} - 15000 - 0,8 \approx 2038 \text{ Ом},$$

ток полного отклонения

$$I_{\text{по}} = \frac{1,46}{16000} \left(\frac{100}{44,2} - \frac{100}{85,7} \right) \approx 99,9 \text{ мкА}.$$

Способ 2. Определение внутреннего сопротивления и тока полного отклонения микроамперметра при помощи постоянных резисторов.

Для определения предлагаемым способом сопротивления и тока полного отклонения микроамперметра требуется гальванический элемент и два постоянных резистора: один из них (R_1) сопротивлением $(1,5...2,0) I/I_{\text{по}}$, где $I_{\text{по}}$ — предполагаемое значение тока полного отклонения микроамперметра в амперах, а другой (R_2) сопротивлением 100 — 2000 Ом.

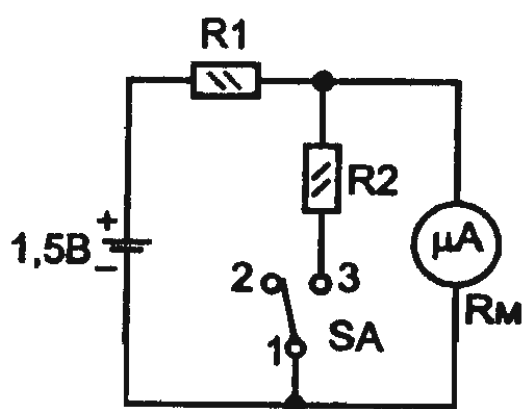


Рис. 2.41. Определение внутреннего сопротивления и тока полного отклонения микроамперметра при помощи постоянного резистора

Процесс измерения заключается в следующем:

1. собирают схему, приведенную на рис. 2.41, и записывают первое показание (I_1) микроамперметра (если прибор «зашкаливает» или, наоборот, стрелка отклоняется на незначительный угол, то соответственно увеличивают или уменьшают сопротивление резистора R_1);

2. переводят переключатель в положение 1—3 и записывают второе показание (I_2) микроамперметра;

3. вычисляют внутреннее сопротивление (R_m) по формуле:

$$R_m = \frac{R_2}{\frac{I_2}{I_1 - I_2} - \frac{R_2}{R_1}} \quad (2.25)$$

При питании схемы источником повышенного напряжения (например, батареей гальванических элементов, составленной из трех батарей типа 3336Л) сопротивление R_1 увеличивают в девять раз. В этом случае отношение R_2/R_1 уменьшается тоже в девять раз, а формула (2.25) упрощается, принимая вид:

$$R_m = R_2 \left(\frac{I_1}{I_2} - 1 \right) \quad (2.26)$$

Как следует из этого выражения, в случае питания схемы повышенным напряжением требуется только один резистор R_2 известного сопротивления.

Ток полного отклонения микроамперметра можно определить следующим образом:

1. измерить напряжение U источника питания схемы;

2. записать силу тока (I_1), против которой устанавливается стрелка при переводе переключателя в положение 1—2;

3. вычислить ток полного отклонения по формуле:

$$I_{\text{по}} = \frac{U}{R_1 + R_m} \cdot \frac{I_{\text{макс}}}{I_1} \quad (2.27)$$

где $I_{\text{макс}}$ — конечная отметка шкалы (максимальное значение шкалы прибора).

- *Пример.* Определите внутреннее сопротивление микроамперметра, ток полного отклонения которого $I_{\text{по}} = 100$ мкА. Выбираем сопротивления резисторов R_1 и R_2 равными:

$$R_1 = 1,5/I_{\text{по}} = 1,5/100 \cdot 10^{-6} = 15 \text{ кОм и } R_2 = 470 \text{ Ом.}$$

По выбранным значениям сопротивлений токи I_1 и I_2 равны:

$$I_1 = 92 \text{ мкА и } I_2 = 37,5 \text{ мкА.}$$

В соответствии с формулой (2.25) измеряемое сопротивление

$$R_m = \frac{\frac{R_2}{I_2} - \frac{R_2}{R_1}}{I_1 - I_2} = \frac{\frac{470}{37,5} - \frac{470}{15000}}{92 - 37,5} \approx 716 \text{ Ом.}$$

Точное значение сопротивления микроамперметра $R_{\text{п}}$ превышает измеренное на 4 Ом. Следовательно, погрешность измерения:

$$s_{R_m} = R_{\text{п}} - R_m / R_{\text{п}} = 720 - 716 / 720 \approx 0,6\%,$$

что свидетельствует о довольно высокой точности измерения сопротивлений.

2.8.7. На что способна батарейка

Любителям радио и электроники часто приходится выбирать тип и размер гальванических элементов. Основным критерием могут стать максимальная продолжительность работы комплекта или минимальный его вес. Уменьшение веса связано с использованием элементов батарей небольшой емкости, работающих в форсированном режиме. Поскольку в справочниках обычно приводятся умеренные нагрузки «нормального» режима, укажем максимально допустимые (в разумных пределах) токи для ряда распространенных отечественных источников.

Однако чем больше ток, тем короче жизнь любого гальванического элемента, причем прямой зависимости между увеличением тока нагрузки и сокращением срока службы элемента нет: ресурс элемента в форсированном режиме разряда убывает быстрее из-за меньшей эффективности использования активных материалов.

Полезно учесть и то, что недоиспользованные при этом активные материалы способны отдать свой энергетический потенциал, если после форсированного режима перенести элемент в аппаратуру с небольшим током нагрузки. Примером могут служить элементы R6, которые, отработав до предела в аудиоплейере, еще довольно долго служат в «карманном» радиоприемнике.

Старое обозначение	316	343	373	3336	«Крона»
Современное обозначение	R6	R14	R20	3R12	6F22
Максимальный ток, мА	60	120	400	200	60

Приведенные выше предельные величины нагрузок являются все же достаточно условными. Ведь нередко приходится идти даже на значительное недоиспользование емкости, лишь бы получить значительный ток разряда на короткое время, при минимальных габаритах и весе автономного источника. Например, для модели аэровагона колеи 16 мм дороги «РІКО» был взят аккумулятор 7Д-0,1, который «крутил» моторчик с пропеллером при токе около 17 мА, что раз в семь-восемь превышает стандартную нагрузку при работе в радиоприемнике, для которого батарея предназначена. При повторном кратковременном режиме этого хватало на одну игру. Что касается гальванических элементов, то многие зарубежные изделия одного типоразмера с нашими имеют большую емкость и могут разряжаться большими токами. Выбирая химические источники для конструкции, где они должны работать в нештатном режиме форсированного или ослабленного разряда, следует испытать их, чтобы не просчитаться. Вообще-то, полноценное с инженерной точки зрения испытание — дело не простое. Но в нашем случае можно этого избежать. Чтобы не тратиться на полномасштабную батарею, испытывать можно один лишь ее элемент. При этом нагрузкой послужит резистор-эквивалент, сопротивление которого находят из соотношения

$$R = \frac{U_{\text{ном}}}{n \cdot I_{\text{ср}}}$$

где $U_{\text{ном}}$ — номинальное напряжение нагрузки, n — количество последовательно включаемых элементов батареи, $I_{\text{ср}}$ — средний ток нагрузки свежей батареи. Если ваш потребитель не имеет общей стабилизации напряжения питания, ток разряда будет падаю-

щим соответственно снижению разрядного напряжения источника. В таком случае испытательный «стенд» собирается по схеме рис. 2.42,а. Здесь по обычным часам находят время, за которое напряжение по вольтметру снизится до нижнего предела ($U_k = U_{\min}/n$), допускаемого потребителем. Иное дело, когда последний использует стабилизацию напряжения питания; этому соответствует испытательная схема по рис. 2,42,б. Имитировать автоматическую стабилизацию придется переменным резистором R1, поддерживая примерно постоянный ток через эквивалент R2. Конечно, реальный ток нагрузки не будет строго неизменным даже при стабилизированном питании — например, магнитофон потребляет больший ток при большей громкости, и наоборот. Но, принимая средние значения тока, отвечающие обычным условиям эксплуатации прибора, вы получите достаточно достоверный результат.

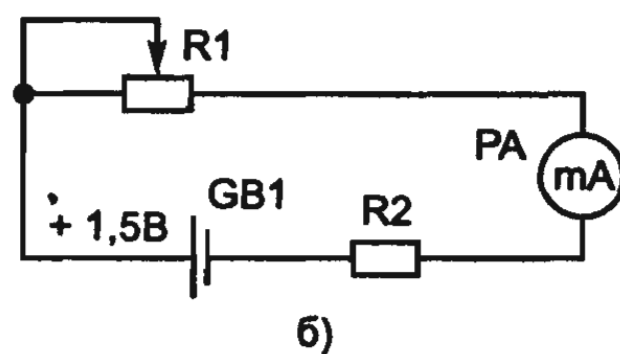
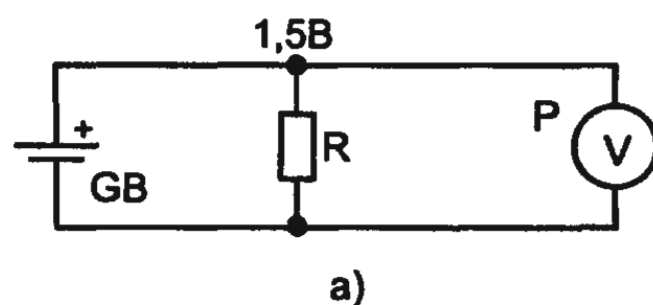


Рис. 2.42. «Стенд» для испытания батареек

2.9. ЗАДАЧИ

1. В практических условиях иногда применяется последовательное включение электрических лампочек (например, в елочных гирляндах). В такой цепи перегорела одна из лампочек (рис. 2.43). Рассмотреть в какой из ламп перегорела нить накала, затруднительно. Как обнаружить перегоревшую лампу, имея только вольтметр? Как отыскать перегоревшую лампу, используя только кусок провода в изоляции?

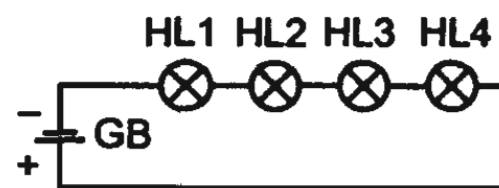


Рис. 2.43. Как отыскать перегоревшую лампочку?

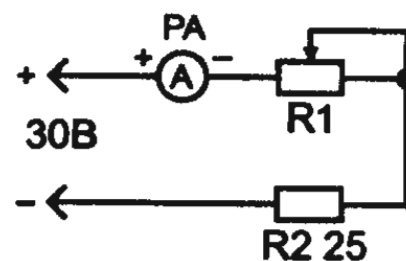


Рис. 2.44. Оказывается, на резисторе R1 выделяется одинаковая мощность при двух положениях переменного контакта

2. В приведенной на рис. 2.44 схеме переменный резистор R1 (его сопротивление неизвестно) можно установить в два разных положения, при которых на нем будет рас-

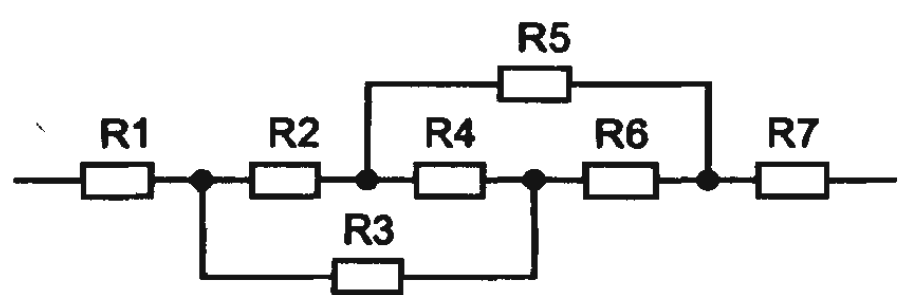


Рис. 2.45. Чему равно общее сопротивление цепи?

сеиваться мощность, равная 5 Вт. При каких значениях тока в цепи это произойдет? Напряжение источника питания 30 В.

3. На схеме рис. 2.45 сопротивление каждого резистора составляет 1 Ом. Чему равно общее сопротивление цепи?

4. На рис. 2.46 приведены разные схемы (а, б, в, г) включения ламп. Попробуйте определить в каждой схеме лампу, которая светится ярче остальных. Все лампы имеют одинаковые параметры.

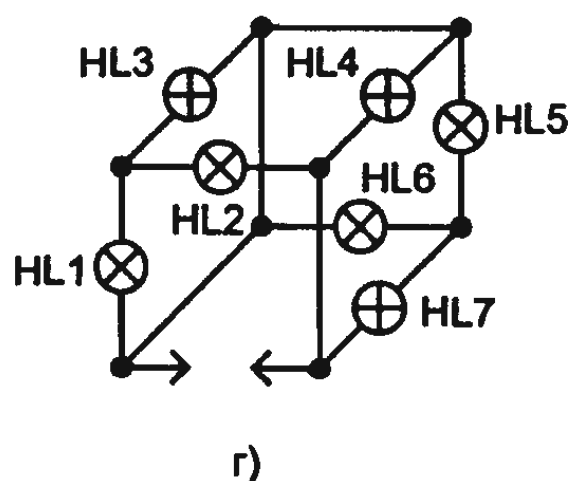
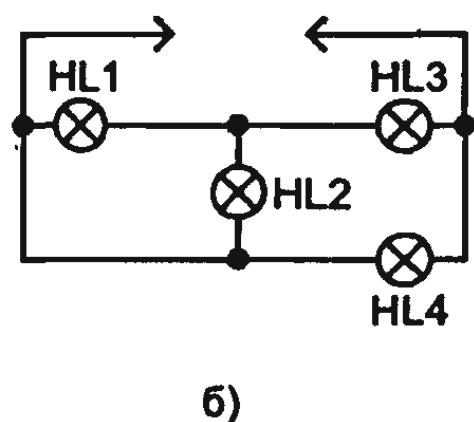
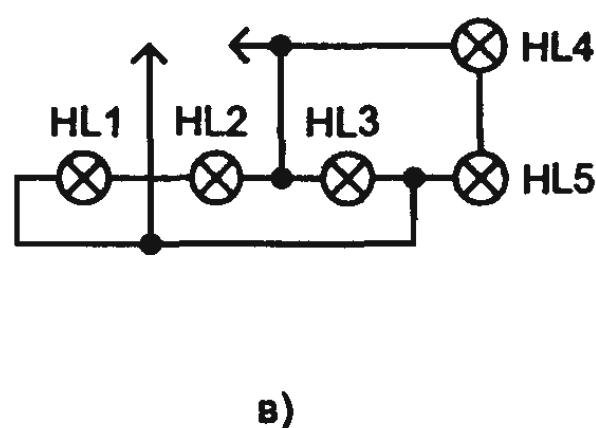
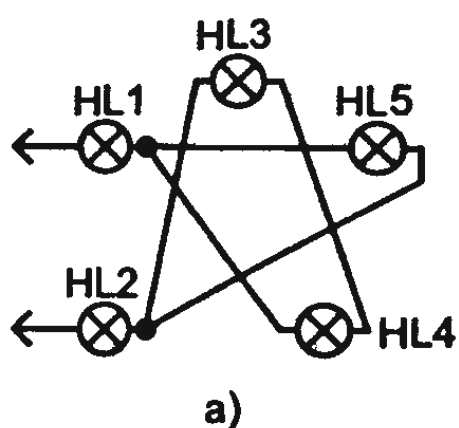


Рис. 2.46. Какая лампа светится ярче остальных?

5. На рис. 2.47 приведена схема с шестью параллельно включенными резисторами. Сопротивления резисторов R2 и R4 неизвестны. Измерения показывают, что сила токов, протекающих че-

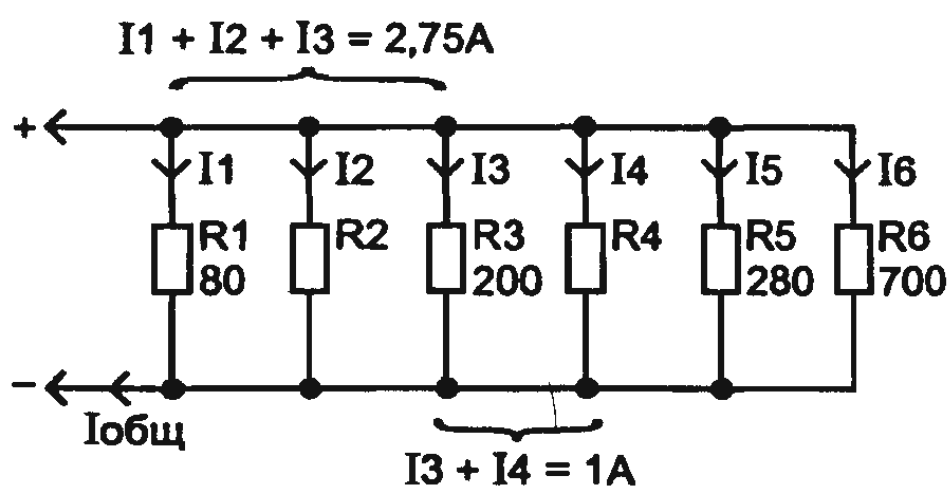


Рис. 2.47. Чему равен общий ток в цепи?

рез резисторы R_1 , R_2 , R_3 , составляет $2,75$ А, а сумма токов, протекающих через резисторы R_3 , R_4 , равна 1 А. Какая сила тока в общей цепи?

6. На рис. 2.48 представлены 4 схемы. Найдите сопротивление внешней цепи каждой схемы. Все резисторы имеют одинаковое сопротивление, равное 12 Ом. Сопротивление диодов в прямом направлении равно нулю, в обратном — бесконечности.

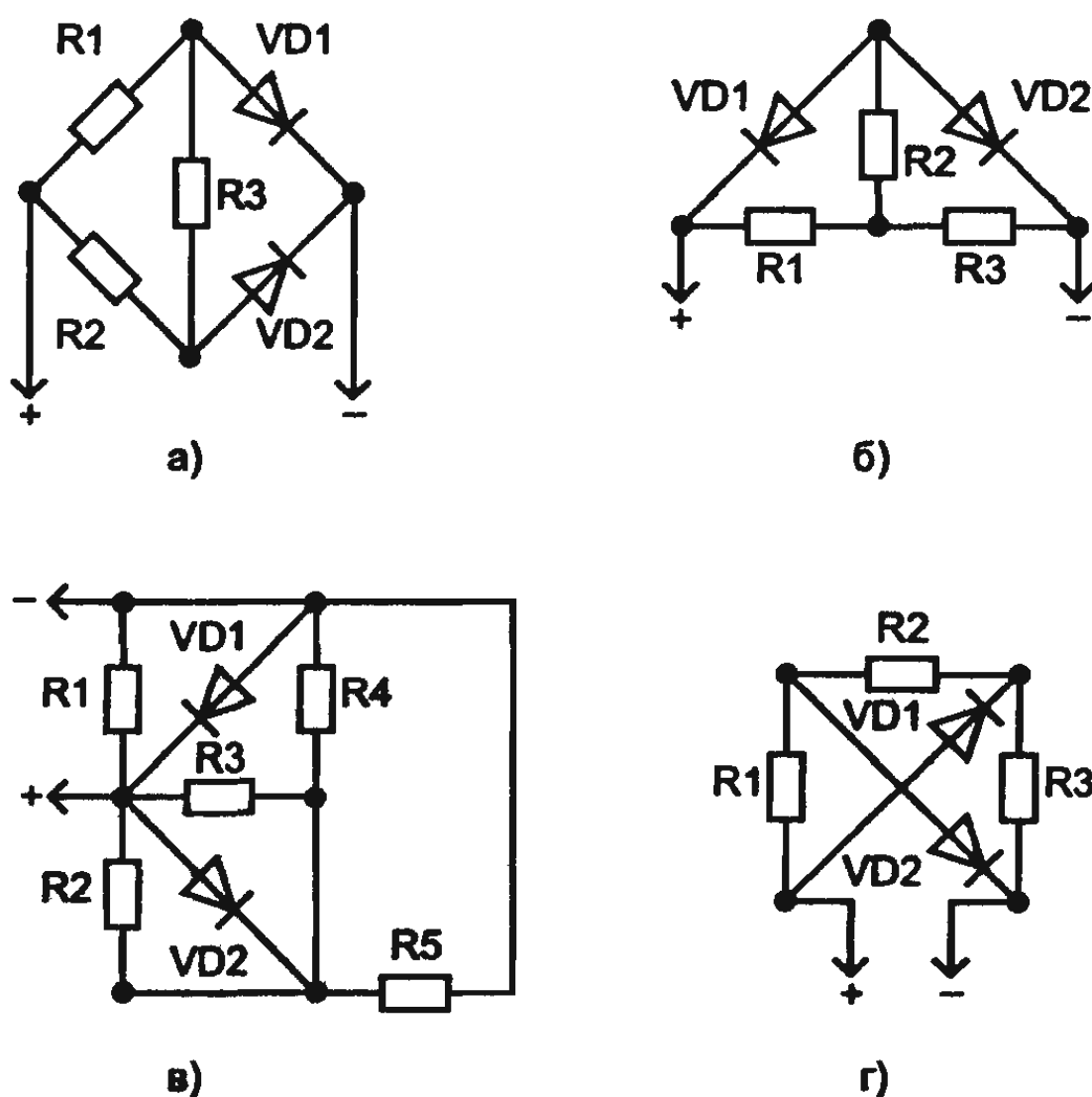


Рис. 2.48. Чему равно сопротивление цепи?

Глава 3

Переменный ток

Из этой главы вы узнаете, чем отличается переменный ток от постоянного, об основных параметрах переменного тока, познакомьтесь с основными элементами электрической цепи, рассмотрите их параметры, выясните основные закономерности в цепях переменного тока.

3.1. ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК СИНУСОИДАЛЬНОЙ ФОРМЫ. ПОЛУЧЕНИЕ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ

Если в источниках постоянного тока — гальванических элементах, батареях, аккумуляторах — сила тока (напряжение, э.д.с.) не меняют своего направления, ток во внешней цепи всегда течет от положительного зажима к отрицательному, то в источнике переменного тока, который, например, вырабатывает напряжение для городской сети, ток много раз в секунду (50 раз) меняет свое направление и величину (рис. 3.1). Этот ток изменяется по синусоидальному (гармоническому) закону.

Маятник часов — «ходиков» нарисовал бы на стене синусоиду, если их опускать вертикально вниз по стене (рис. 3.2); металличе-

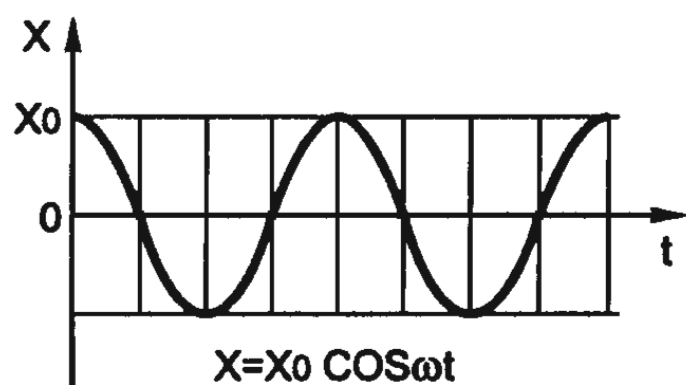


Рис. 3.1. Ток много раз в секунду (50 раз) меняет свое направление и величину

ский шар, закрепленный между двумя горизонтально расположенными пружинами (рис. 3.3, а), будет тоже колебаться по убывающей синусоиде, если шар отвести в сторону одной какой-либо пружины и отпустить его. Груз, подвешенный на пружине, будет рисовать убывающую синусоиду (рис. 3.3, б).

На рис. 3.4,а показано получение (генерирование) переменного тока.

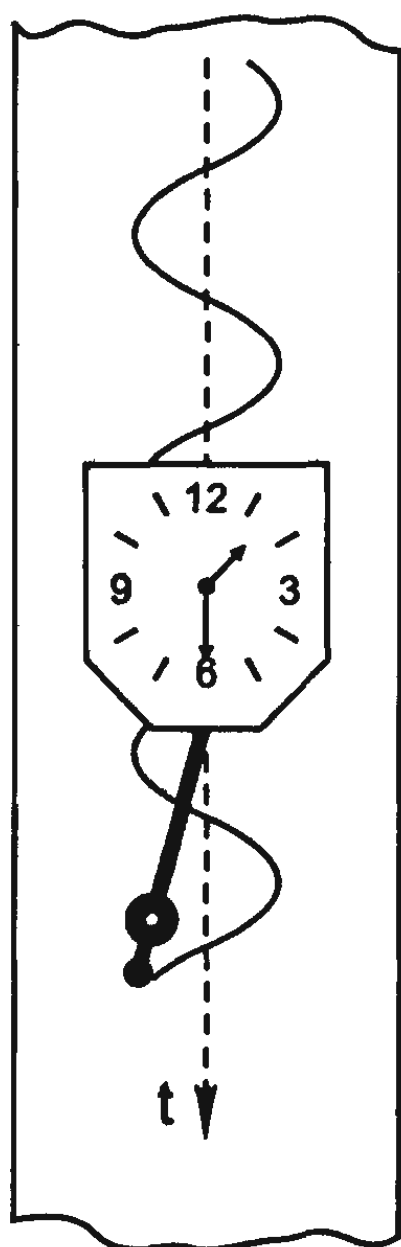


Рис. 3.2. Маятник часов — «ходиков» рисует на стене синусоиду

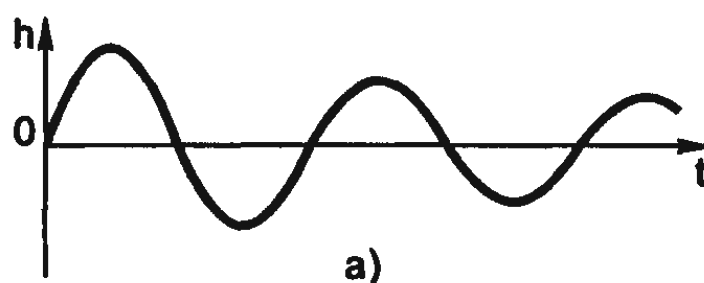
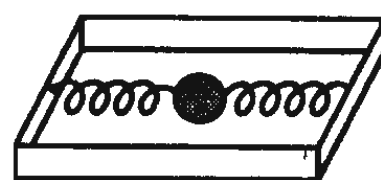


Рис. 3.3,а. Металлический шар, закрепленный между двумя горизонтально расположенными пружинами, колеблется по убывающей синусоиде, если шар отвести в сторону

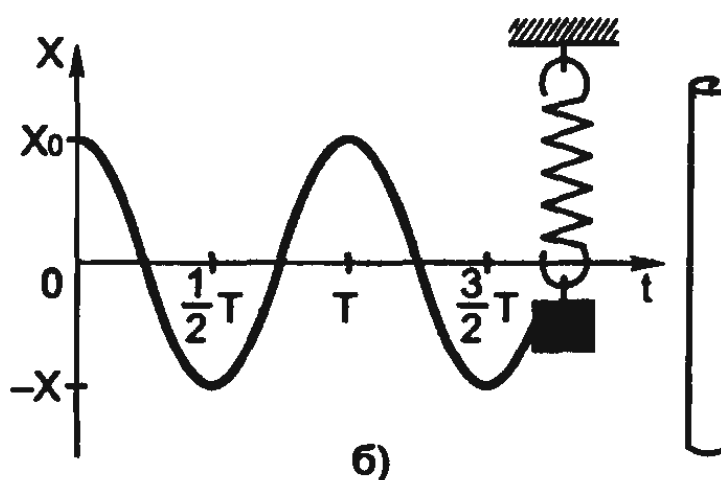


Рис. 3.3,б. Груз, подвешенный на пружине, будет рисовать убывающую синусоиду

Если рамка в начальный момент генерирования находится в положении 1, $t = 0$, то мгновенное значение силы тока $i = I_0 \sin \omega t$; если же рамка находится в положении 2, $t = 0$, то $i = I_0 \cos \omega t$.

При вращении рамки в магнитном поле постоянного магнита меняется магнитный поток. В рамке наводится переменная э.д.с. (электродвижущая сила индукции). Если цепь замкнута, то возникает индукционный ток, который непрерывно меняется по модулю, а через $\frac{T}{2}$ — по направлению.

Устройство генератора (рис. 3.4, б):

1. Обмотка статора с большим числом витков, размещенных в его пазах. В ней наводится э.д.с.
2. Станина, внутри которой размещены статор и ротор.
3. Ротор (вращающаяся часть генератора) создает магнитное поле от электромашины постоянного тока. Может иметь p пар полюсов.
4. Статор состоит из отдельных пластин для уменьшения нагрева от вихревых токов. Пластины — из электротехнической стали.
5. Клеммный щиток на корпусе станины для снятия напряжения.

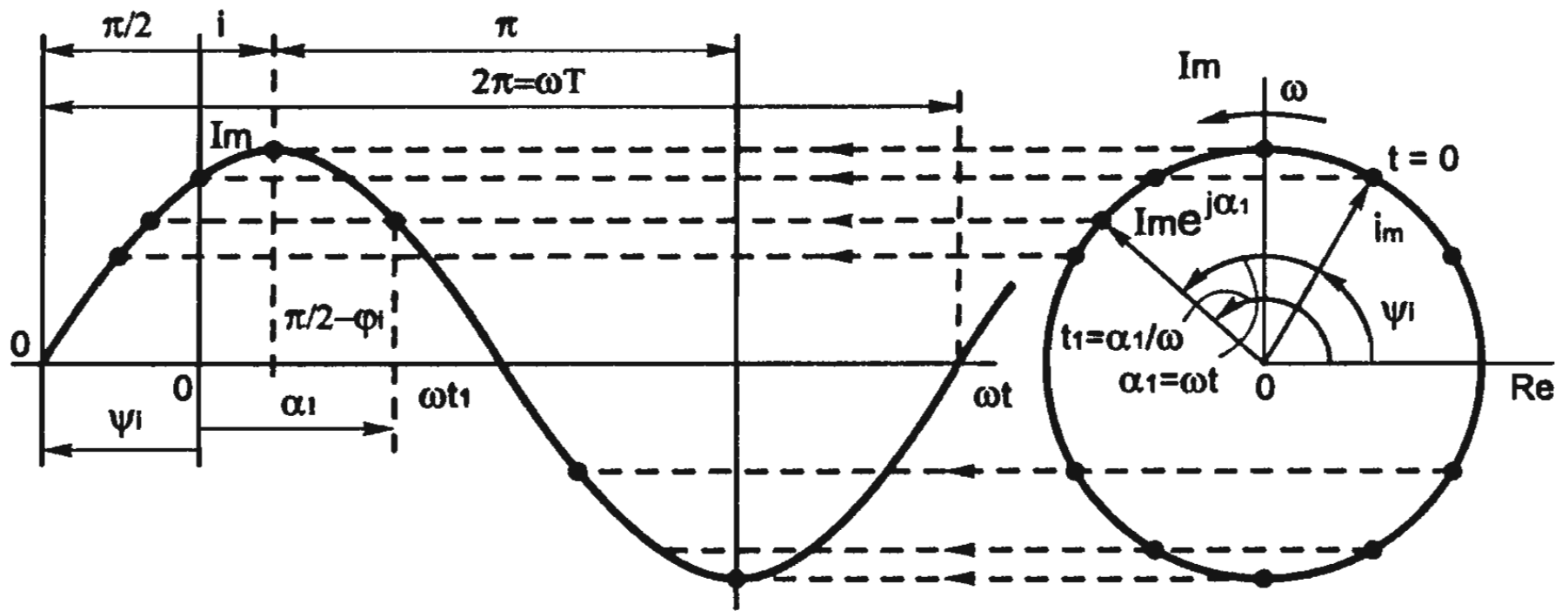


Рис. 3.4,а. Принцип работы генератора переменного тока

При равномерном вращении ротора в обмотках статора наводится э.д.с.:

$$e = E_m \sin \omega t = E_m \sin 2\pi n t,$$

где E_m — максимальное значение э.д.с.; n — число оборотов ротора в секунду.

Частота э.д.с. равна: $f = nr$, где r — число пар полюсов. На гидроэлектростанциях в генераторе число пар полюсов равно 40—50, а на тепловых — 10—16.

Если для характеристики постоянного тока достаточно было знать напряжение на зажимах источника и его полярность, то для характеристики переменного тока этого недостаточно. Переменный ток характеризуют такими параметрами, как амплитуда, частота, период, фаза, мгновенное и действующее значение.

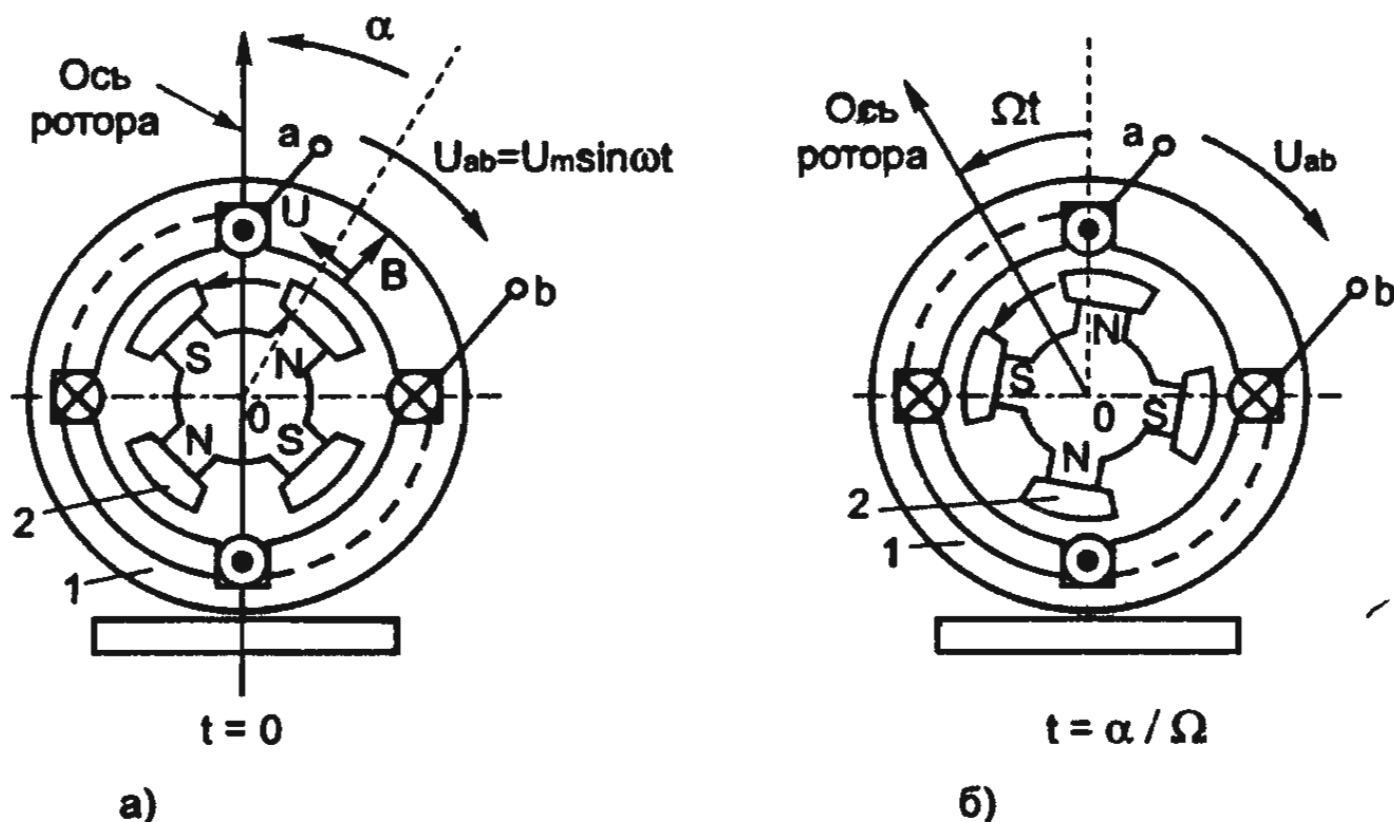


Рис. 3.4,б. Устройство генератора переменного тока

Так как сила тока (напряжение, э.д.с.) меняется во времени, то мгновенное значение и амплитуда говорят о его возможностях в данный момент времени. Чтобы знать возможности переменного тока за длительный промежуток времени, говорят о его действующем значении. А чтобы судить о том, насколько быстро ток меняется во времени, как часто происходит смена его направления, используют такие параметры, как период и частота.

Период тока указывает время, в течение которого происходят все его возможные изменения без повторения. Обозначается буквой T (рис. 3.5), измеряется в секундах (с), миллисекундах (мс) [$1 \text{ с} = 1000 \text{ мс}$], микросекундах [$1 \text{ с} = 1\,000\,000 \text{ мкс}$].

Частота тока говорит о том, сколько периодов, т. е. полных циклов, укладывается в единицу времени, в частности, в секунду. Обозначается буквой f и измеряется в герцах (Гц) — числом периодов в секунду.

$$1 \text{ Гц} = \frac{1 \text{ период}}{1 \text{ с}} = 1 \frac{1}{\text{с}}$$

$$f_{(\text{Гц})} = \frac{1}{T_{(\text{с})}}; T_{(\text{с})} = \frac{1}{f_{(\text{Гц})}} \quad (3.1)$$

Частота изменения переменного тока в промышленной сети равна 50 Гц (следовательно, период $T = \frac{1}{50} = 0,02 \text{ с} = 20 \text{ мкс}$).

Вместо частоты f часто применяют величину $\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}$, которую называют круговой частотой тока (напряжения, э.д.с.). Она представляет собой число полных колебаний (периодов) тока за 2π секунд (здесь $\pi = 3,14$; ω — греческая буква «Омега»).

Максимальное значение силы тока, которое может иметь переменный ток за период, называется амплитудой силы тока. Амплитудное значение силы тока обозначается I_m , напряжения U_m , э.д.с. E_m , а их мгновенные значения — i , u , e соответственно.

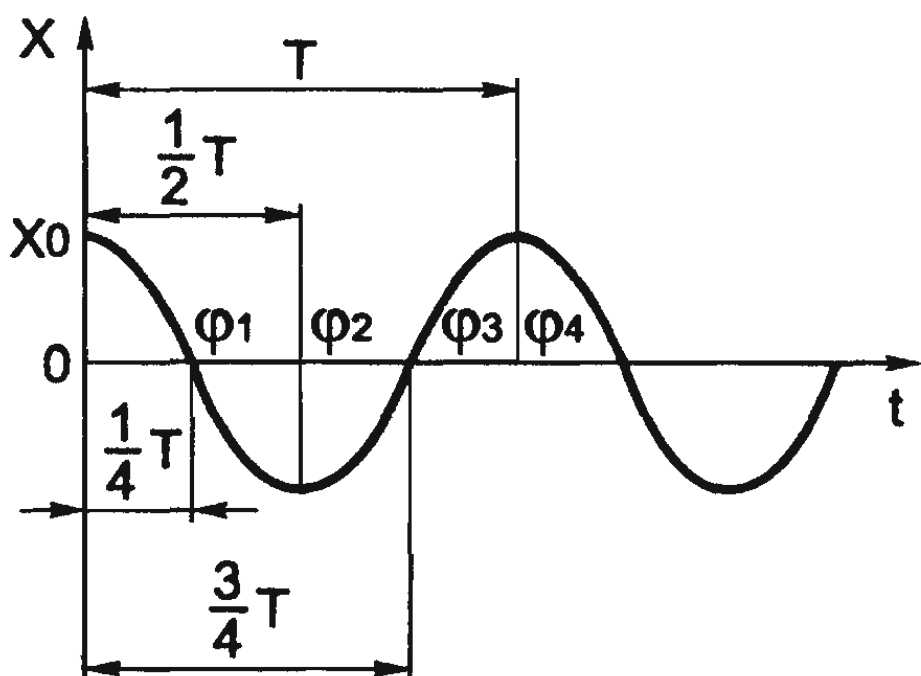


Рис. 3.5. Период тока указывает время, в течение которого происходят все его возможные изменения без повторения

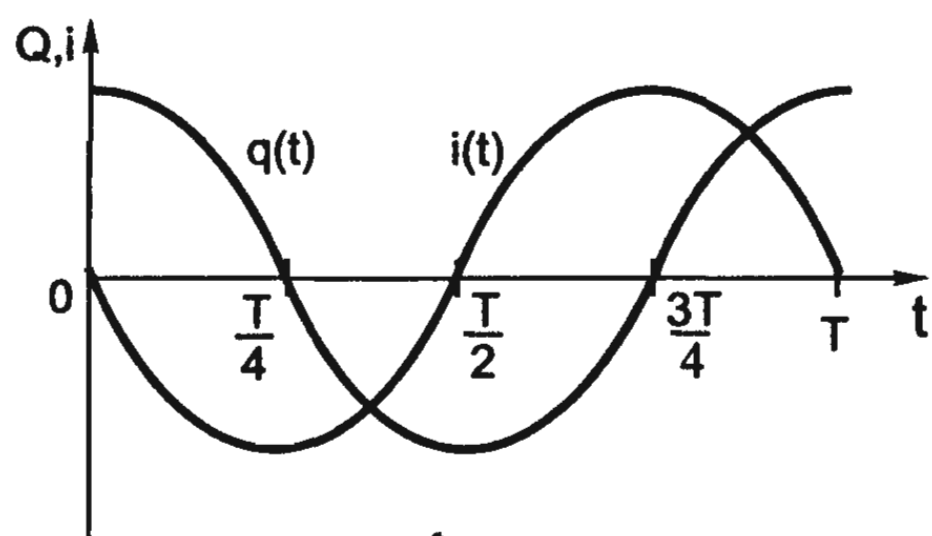


Рис 3.6. Две синусоиды одинаковой частоты, сдвинутые друг относительно друга на четверть периода ($\frac{T}{4}$).

Когда говорят об одном синусоидальном токе (напряжении, э.д.с.), то частота f и амплитуда I_m являются исчерпывающими характеристиками, потому что начальный момент отсчета времени на графике мы можем выбрать произвольно, т. е. можем переносить на графике рис. 3.1 ось ординат (ось тока) — вправо или влево на необходимую величину. Но когда приходится сопоставлять друг с другом две или несколько величин (силы тока, напряжение, э.д.с.) одной и той же частоты, следует учитывать, что они могут достигать своего максимального значения не в один и тот же момент времени. В подобных случаях говорят, что эти два тока (напряжения) сдвинуты относительно друг друга по фазе или, что равносильно, что между ними существует некоторый сдвиг фаз. На рис.3.6 показаны две синусоиды одинаковой частоты, сдвинутые относительно друг друга на четверть периода ($\frac{T}{4}$).

Синусоида 1 опережает синусоиду 2 на время $\frac{T}{4}$. Как определить какая синусоида опережает, а какая отстает? Чтобы лучше усвоить это понятие, обратимся к механической аналогии с двумя движущимися с одинаковой скоростью в одном направлении по двум параллельным железнодорожным путям скоростными пассажирскими поездами.

Представьте себе, что вы стоите у железнодорожной линии, а по ней одновременно проезжают два длинных состава с одинаковой скоростью. Как определить, какой поезд отстает, если вы не видите ни начала ни конца составов? Для этого примем за начало отсчета, например, переднюю часть каждого вагона, затем мысленно проведем перпендикулярную линию к рельсам и уже после этого будем фиксировать, начало вагона какого состава пересекает раньше эту мысленную линию. Тот состав и опережает. То же самое следует сделать при определении сдвига фаз двух синусоид (рис. 3.6). Приняв за начало отсчета условно точку пересечения оси времени t синусоидой при переходе ее из отрицательной области в положительную, видим, что синусоида 1 раньше пересека-

ет ось времени на величину времени $\Delta T = \frac{T}{4}$, следовательно, она опережает синусоиду 2 (а можно сказать, что синусоида 2 отстает от синусоиды 1 на $\Delta T = \frac{T}{4}$). Если сдвиг фаз между двумя синусоидами больше одного периода, то определить это по графику невозможно, как и нельзя было определить, на сколько вагонов опережал один состав другой в рассмотренном выше примере.

Вы обратили внимание, что сдвиг фаз мы здесь измеряем не в единицах времени, а в долях периода T ? На практике чаще всего сдвиг фаз измеряют в градусах, причем здесь каждый градус равен $1/360$ части периода, единицей измерения служит *время*. Градус как единица измерения времени, периода можно легко связать с угловыми градусами, показывающими положение проводника рамки, вращающегося в магнитном поле. Это условно показано на рис. 3.7.

Выше мы говорили, что для оценки свойств переменного тока за длительный промежуток времени вводят параметр — действующее значение тока (напряжения, э.д.с.). Если воспользоваться аналогией, то можно рассмотреть такой пример. Висящая «груша» после многократных ударов боксера отклоняется от вертикального положения на некоторый угол и удерживается в таком положении, пока боксер наносит по ней удары. Но эту же «грушу» можно отвести на тот же угол, приложив меньшее, но постоянное усилие (оно соответствует действующему значению силы ударов).

Теперь вы уже знаете, что мгновенное значение переменного тока все время изменяется как по величине, так и по направлению. Однако, когда мы вкручиваем в патрон лампу накаливания, мы говорим, что лампа рассчитана на напряжение 220 В.

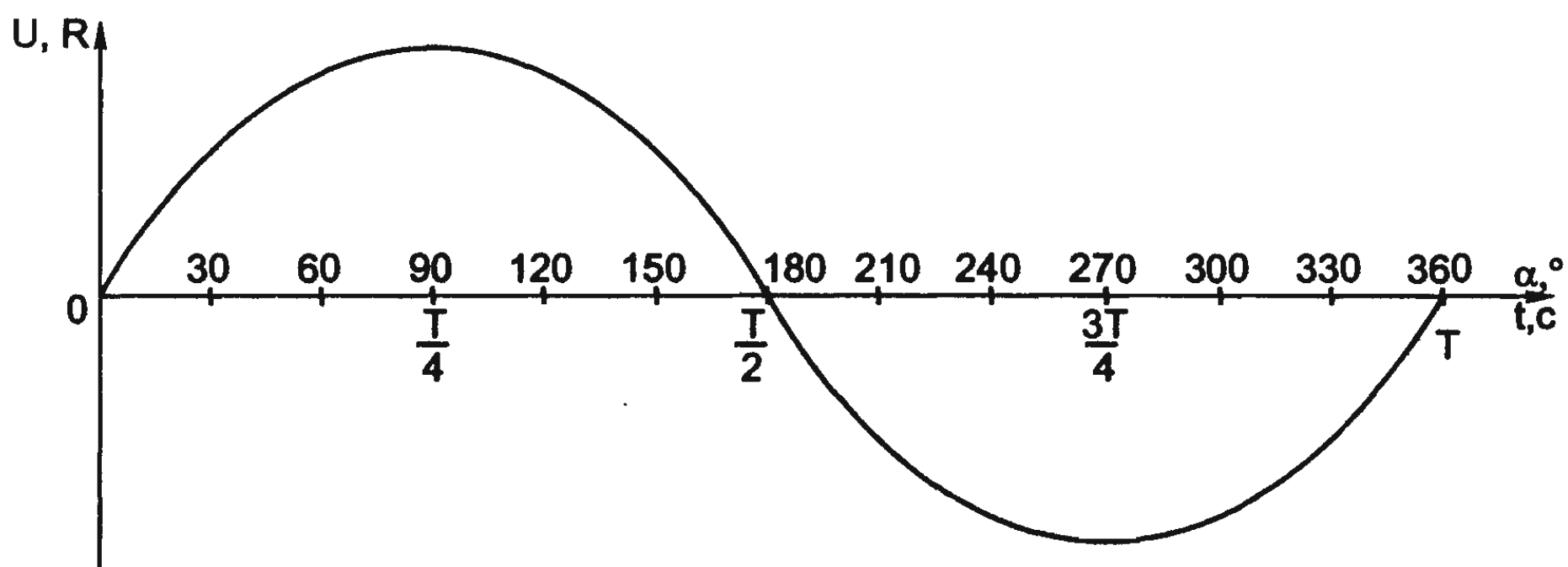


Рис. 3.7. Связь времени с угловыми градусами

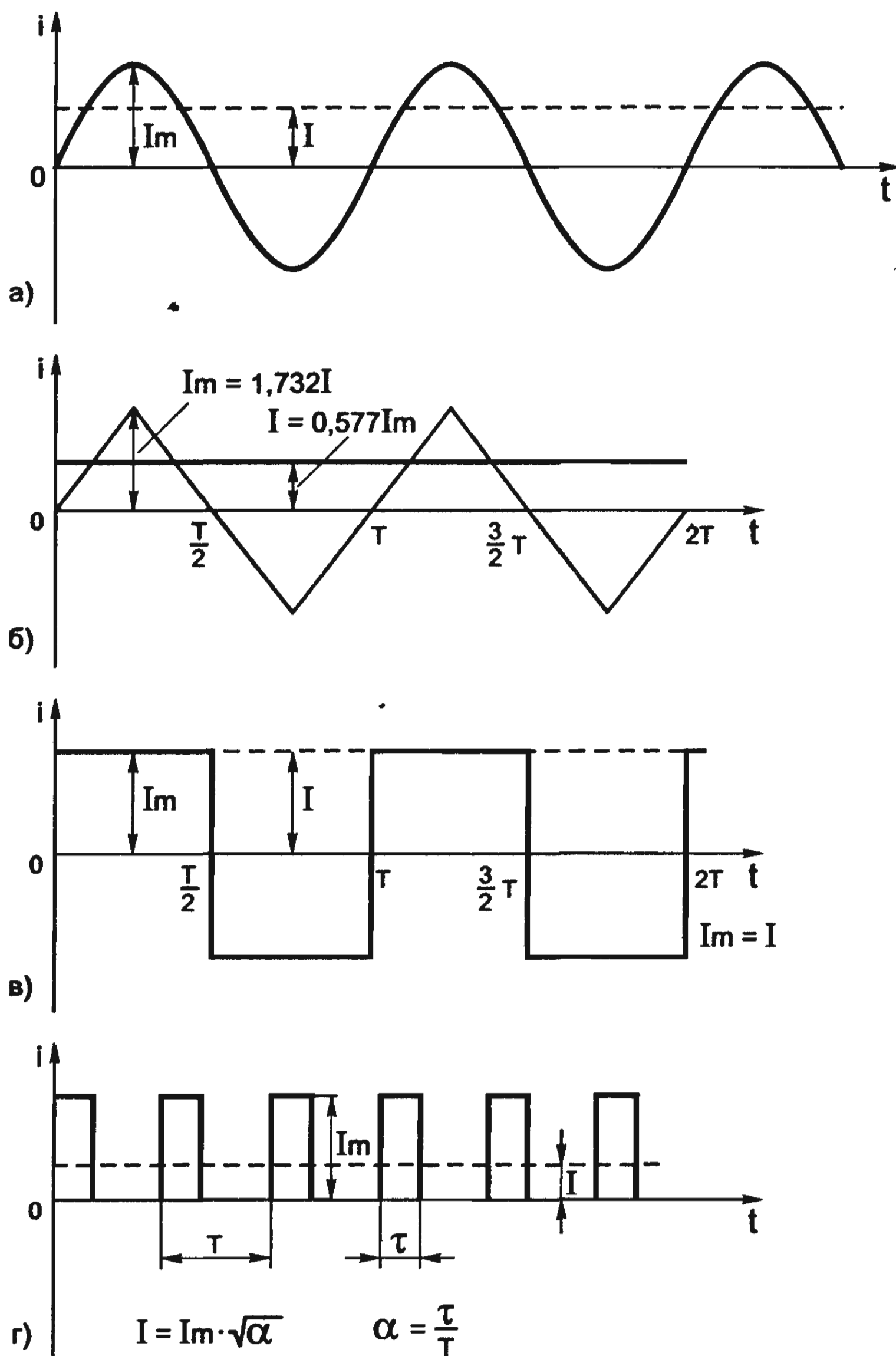


Рис. 3.8. а) действующее значение синусоидального тока;
 б) соотношение между действующим и амплитудным значениями для переменного тока треугольной формы;
 в) соотношение между амплитудным и действующим значениями тока для последовательности прямоугольных импульсов;
 г) Соотношение между амплитудным и действующим значениями для последовательности коротких прямоугольных импульсов

Что мы под этим подразумеваем? Представим себе, что через спираль электрической плитки протекает синусоидальный ток и плитка каждую секунду выделяет количество теплоты Q . Теперь мы через некоторое время подключим эту же плитку в цепь постоянного тока и будем увеличивать напряжение до тех пор, пока плитка не будет выделять каждую секунду такое же количество теплоты, равное Q . В данном случае по своему тепловому действию оба напряжения (тока) равны. Поэтому сила постоянного тока (напряжения), выделяющего в проводнике то же количество теплоты, что и данный переменный ток (напряжение), называется действующим значением переменного тока I (напряжения U).

Для синусоидального тока действующее значение силы тока (рис. 3.8, а):

$$I = I_m / \sqrt{2} = I_m / 1,414 = 0,707I_m \quad (3.2, \text{ а})$$

Аналогично для напряжения и э.д.с.:

$$U = 0,707 U_m \quad (3.2, \text{ б})$$

$$E = 0,707 E_m. \quad (3.2, \text{ в})$$

Поэтому, когда мы говорим, что лампа накаливания рассчитана на 220 В, мы подразумеваем, что это действующее напряжение. Аналогично, если мы лампочку от карманного фонаря, рассчитанную на напряжение 3,5 В, подключим к источнику переменного тока с напряжением 3,5 В, то накал нити лампочки будет таким же, как и при питании ее от батареи с напряжением на зажимах 3,5 В.

Из (3.2) видно: зная действующее значение силы тока I (напряжения U , э.д.с. E), которую можно измерить амперметром переменного тока, можно вычислить его амплитудное значение:

$$I_m = I\sqrt{2} = 1,414I \quad (3.3, \text{ а})$$

$$U_m = 1,414U \quad (3.3, \text{ б})$$

$$E_m = 1,414E \quad (3.3, \text{ в})$$

Из формулы видно, что амплитудное значение синусоидального тока (напряжения, э.д.с.) почти в полтора раза (в 1,414 раза)

больше его действующего значения. Так, амплитудное значение напряжения сети 220 В равно:

$$U_m = U \cdot 1,414 = 220 \cdot 1,414 = 311 \text{ В.}$$

Все амперметры, вольтметры переменного тока калибруются на синусоидальном токе (напряжении); для переменного тока другой формы показания этих приборов нужно корректировать. Например, для переменного тока треугольной формы (рис. 3.8, б) соотношение между действующим и амплитудным значениями определяется по формулам:

$$I = I_m / \sqrt{3} = 0,577I_m \quad (3.4, \text{ а})$$

$$I_m = 1,732 \cdot I \quad (3.4, \text{ б})$$

Для последовательности прямоугольных импульсов (рис. 3.8, в), называемых еще «меандром»:

$$I = I_m \quad (3.5)$$

а для последовательности коротких прямоугольных импульсов (рис. 3.8, г):

$$I = I_m \sqrt{\alpha} \quad (3.6)$$

где $\alpha = \frac{\tau}{T}$, (τ — длительность импульса).

3.2. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА. ЭЛЕМЕНТЫ ЦЕПИ

Элементами цепи переменного тока могут быть лампа накаливания, электрическая плитка, утюг, электродвигатель, резистор, конденсатор, катушка индуктивности, полупроводниковый диод, варистор и другие элементы. Лампа накаливания, электрическая плитка, утюг, резистор, диод, варистор представляют собой элементы, которые преобразуют электрическую энергию в тепловую. Говорят, что они обладают активным сопротивлением. А вот конденсатор и катушка индуктивности являются *реактивными элементами*, они не преобразуют электрическую энергию в тепловую, т. е. они не потребляют электрическую энергию, как, например,

резистор, но обладают другими замечательными свойствами, которые будут рассмотрены ниже.

Кроме того, как указывалось в главе 2, элементы цепи делятся на линейные и нелинейные. Линейные элементы имеют линейную ВАХ (вольт-амперную характеристику) (рис. 3.9, а), нелинейные — нелинейную ВАХ (рис. 3.9, б). Из перечисленных выше элементов линейными элементами являются резистор, конденсатор и катушка индуктивности, а остальные элементы нелинейные.

Внешний вид конденсаторов, их УГО и БЦО показаны на рис. 3.10.

Конденсатор, как и катушка индуктивности, оказывают переменному току сопротивление.

Последовательное и параллельное соединение конденсаторов.

Последовательное соединение конденсаторов (рис. 3.11, а):

$$1/C_0 = 1/C_1 + 1/C_2, \quad (3.7,а)$$

отсюда:

$$C_0 = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}, \quad (3.7,б)$$

$$1/C_0 = 1/C_1 + 1/C_2 + 1/C_3 \quad (3.8)$$

Параллельное соединение конденсаторов (рис. 3.11, б):

$$C_0 = C_1 + C_2, \quad (3.9)$$

$$C_0 = C_1 + C_2 + C_3. \quad (3.10)$$

Обратите внимание: общая емкость при последовательном соединении конденсаторов вычисляется по формуле, аналогичной

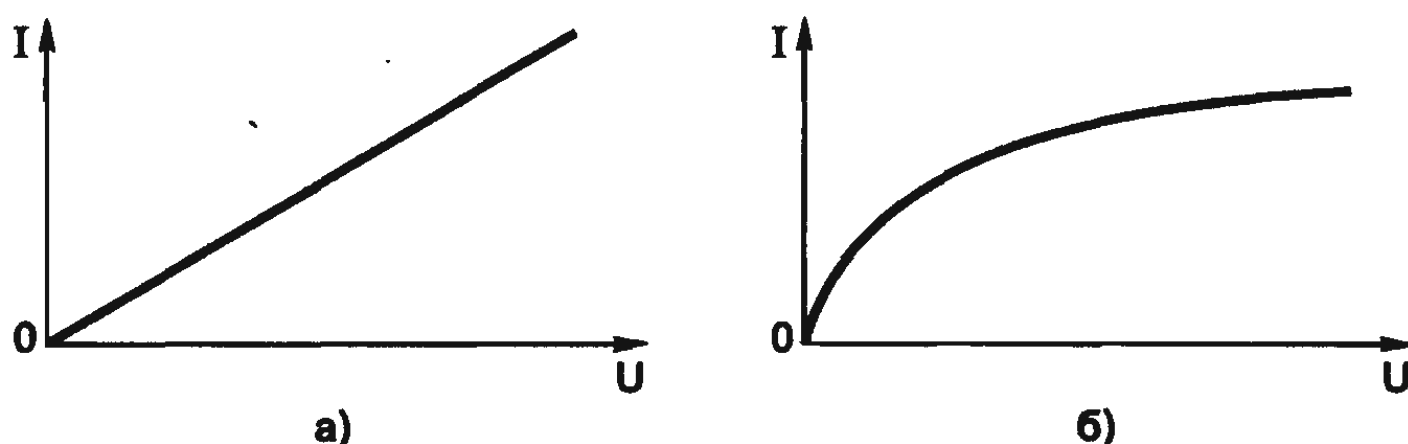


Рис. 3.9. ВАХ линейного элемента (а) и нелинейного элемента (б)

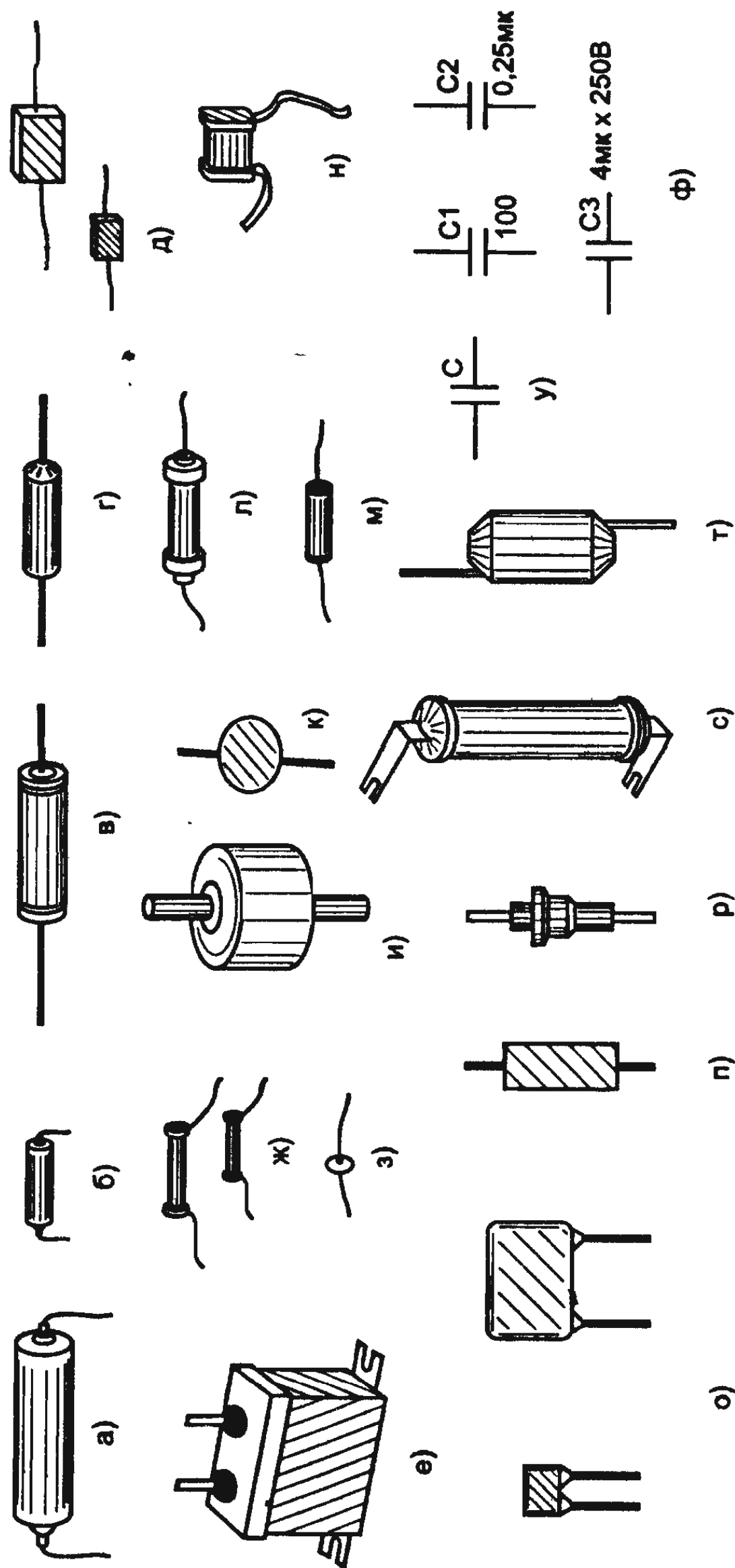


Рис. 3.10. Внешний вид конденсаторов, их УГО и БЦО

формуле для вычисления общего сопротивления при параллельном соединении резисторов, а общая емкость при параллельном соединении конденсаторов — по формуле, аналогичной формуле

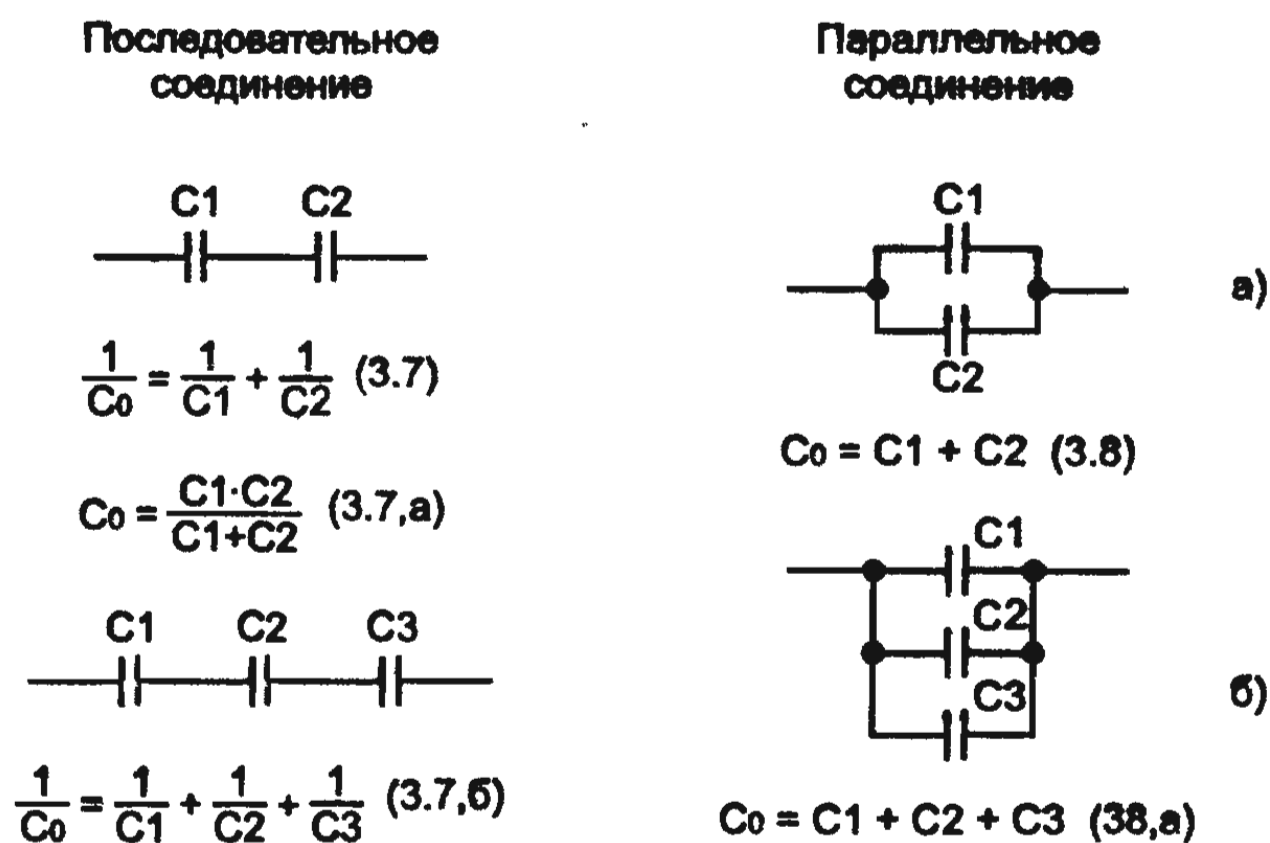


Рис. 3.11. Последовательное (а) и параллельное (б) соединение конденсаторов

для вычисления общего сопротивления при последовательном соединении резисторов.

Для получения необходимой емкости при последовательном соединении конденсаторов требуются некоторые вычисления. Для облегчения подбора ёмкости второго конденсатора (при известном значении емкости первого) на рис. 2.22 (глава 2) приведена номограмма.

Как пользоваться номограммой? При определении общих параметров деталей, номиналы которых имеют один порядок, пользуются шкалами ОА, ОВ, ОС, а если номиналы различаются на один порядок, то шкалами ОА, ОД, ОЕ. Поясним это на примерах.

- *Пример 1.* Последовательно соединены конденсаторы емкостью 5 и 20 мкФ. Чему равна общая емкость? Приложив линейку к делению 5 на шкале ОА и к делению 20 на шкале ОД, на шкале ОЕ прочтем результат — 4 мкФ.
- *Пример 2.* Какой емкости конденсатор необходимо включить последовательно с конденсатором емкостью 5,6 пФ, чтобы их общая емкость была 2,5 пФ? Прикладывая линейку к делениям 5,6 на шкале ОА и 2,5 на шкале ОС, на шкале ОВ прочтем — 4,5 пФ.

Чтобы лучше понять принцип работы конденсатора и катушки индуктивности как реактивных элементов, рекомендуем вам самостоятельно провести ряд простых экспериментов.

3.2.1. Конденсатор как накопитель электрической энергии

Для этого соберите схему (рис. 3.12, а). В положении переключателя SA, указанного на рисунке, конденсатор C будет заряжаться от батареи. Ток заряда протекает по цепи: «+» батареи GB → резистор R → переключатель SA → конденсатор C → «-» батареи GB. Через несколько секунд конденсатор зарядится и можно переключатель SA поставить в правое положение, лампочка кратко временно вспыхнет и погаснет. Чтобы лучше уяснить процесс заряда и разряда конденсатора, воспользуемся аналогией. Представим конденсатор в виде сосуда с крышкой, который может вместить определенное количество жидкости, например бензина. После заполнения этого сосуда бензин можно вылить и поджечь, — это эквивалентно вспышке лампочки.

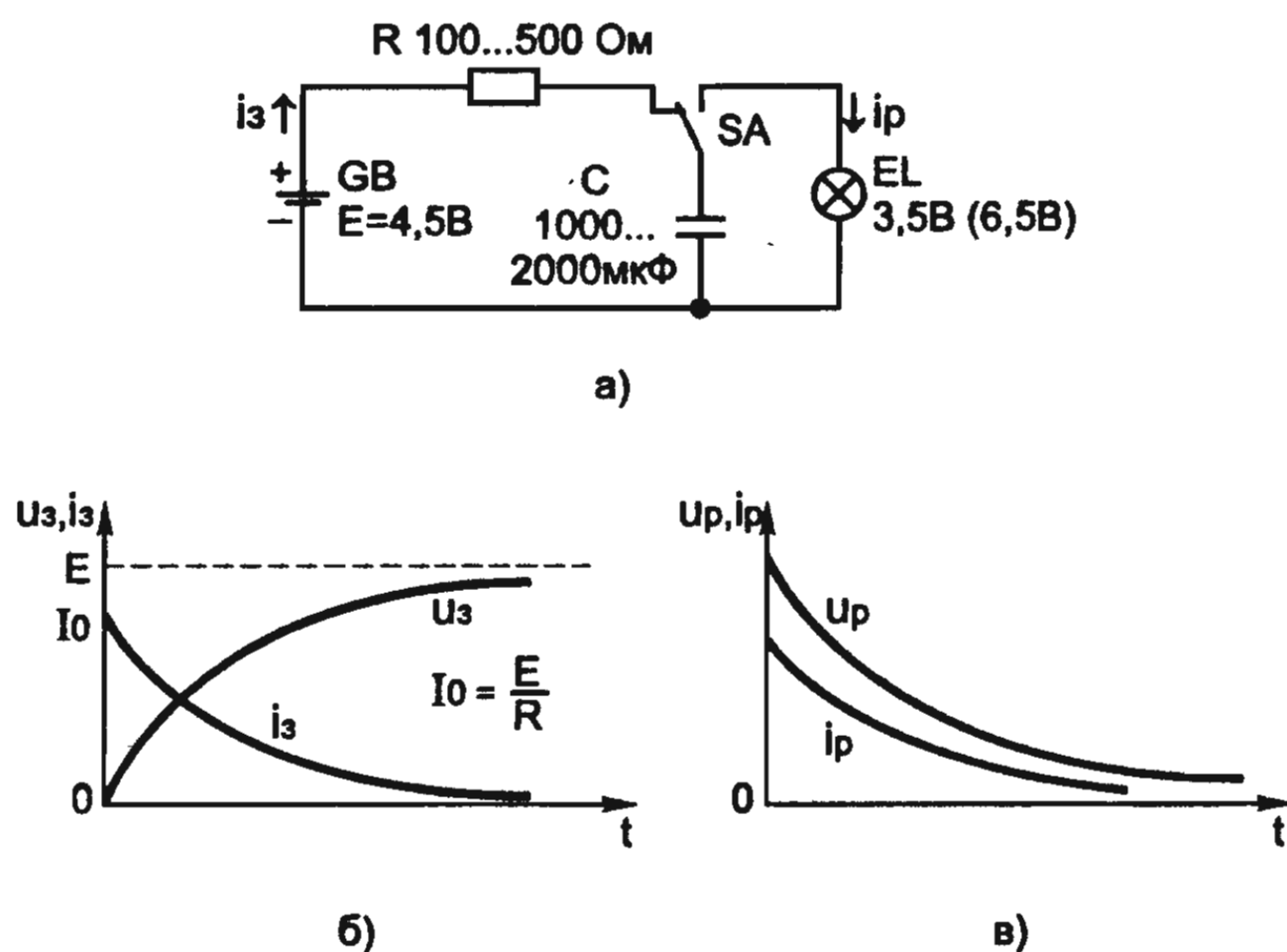


Рис. 3.12. а) Конденсатор — накопитель электрической энергии; б) График заряда конденсатора, в) график разряда конденсатора.

Для чего нужен резистор R в схеме рис. 3.12,а? Если его не будет, то в момент подключения батареи к конденсатору ток заряда будет очень большим, конденсатор может взорваться от нагрева. Резистор R ограничивает ток заряда конденсатора. Конденсатор с хорошим диэлектриком может хранить заряд несколько суток; бумажные конденсаторы разряжаются почти полностью за несколько часов.

На рис. 3.12,б изображен график заряда конденсатора, а на рис. 3.12,в — график разряда конденсатора.

Емкость конденсаторов измеряется в фарадах (Ф), в микрофарадах (мкФ), нанофарадах (нФ), пикофарадах (пФ).

3.2.2. Конденсатор «не пропускает» постоянный ток

При замыкании выключателя SA (рис. 3.13,а) лампочка коротковременно вспыхивает и гаснет. Это значит, что конденсатор не пропускает постоянный ток. Но из эксперимента можно сделать и другой вывод: в момент подключения батареи GB (замыкание выключателя SA), когда напряжение на конденсаторе скачком увеличивается от нуля до 4,5 В, он не оказывает никакого сопротивления (т. е. его сопротивление в начальный момент равно нулю, все напряжение батареи приложено к лампе, сила тока максимальная). Со временем сила тока уменьшается и затем вовсе становится равной нулю. В этот момент конденсатор можно считать заряженным.

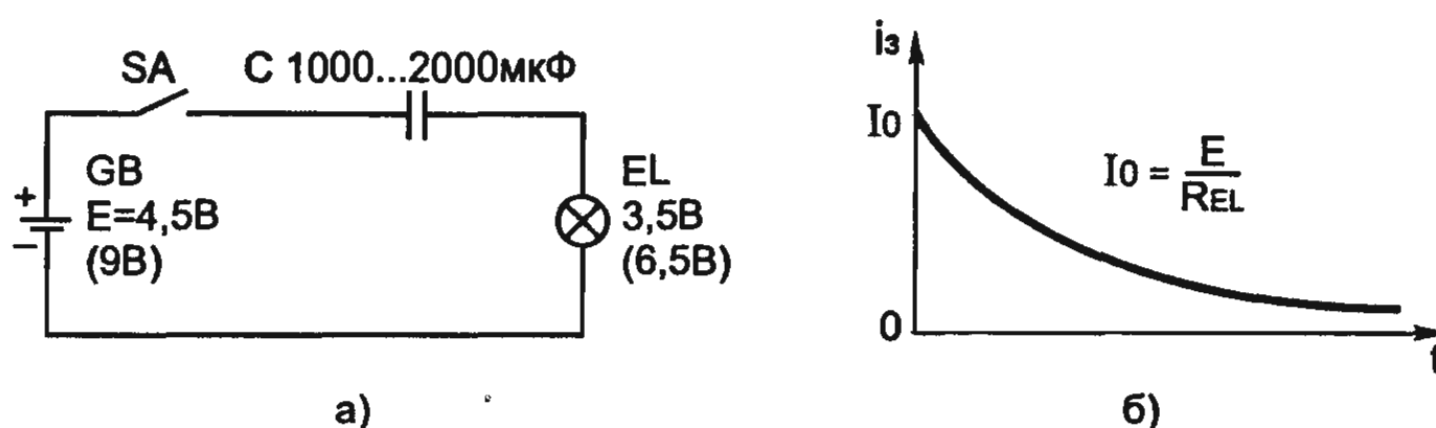


Рис. 3.13. а) Конденсатор не пропускает постоянный ток;
б) График зависимости силы тока, протекающего через конденсатор С и через лампу накаливания EL

На рис. 3.13,б показан график зависимости силы тока, протекающего через конденсатор С и лампу накаливания EL, от времени, т. е. график заряда конденсатора. Из графика видно, что в момент замыкания выключателя SA (при $t = 0$) сила тока через лампу максимальная и равна $I_0 = E/R_{л} \approx 0,3\text{ А}$.

Здесь $R_{л} = 14\text{ Ом}$ — сопротивление нити накала лампы.

3.2.3. Сопротивление конденсатора переменному току зависит от его емкости и частоты тока

Меняя емкость конденсатора (рис. 3.14), можно убедиться, что лампа будет светиться по-разному. Для этого надо два конденсатора по 10 мкФ соединить параллельно, последовательно с

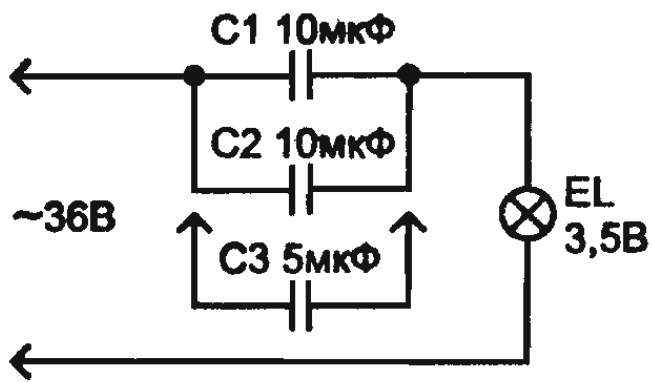


Рис. 3.14. Сопротивление конденсатора переменному току зависит от его ёмкости

ними включить лампочку EL на 3,6 В, на вход подать переменное напряжение 36 В. Зафиксировать яркость свечения лампочки. Затем подключить к этим конденсаторам параллельно еще один емкостью 5 мкФ и снова зафиксировать яркость свечения лампочки, — она увеличится. Отсюда вывод: с увеличением емкости конденсатора

его сопротивление уменьшается. Обратите внимание, что все конденсаторы в этом эксперименте должны иметь рабочее напряжение не менее 60 В.

Реактивное емкостное сопротивление конденсатора переменному току определяется по формуле:

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{6,28 \cdot f_{(\Gamma\text{ц})} \cdot C_{(\Phi)}} \approx \frac{16 \cdot 10^4}{f_{(\Gamma\text{ц})} \cdot C_{(\text{мк}\Phi)}} \quad (3.11)$$

Тогда закон Ома запишется так:

$$I_m = U_m / X_c = 2U_m \pi f C = U_m \omega C. \quad (3.12)$$

$$1 \Phi = 10^6 \text{ мк}\Phi = 10^{12} \text{ п}\Phi, \quad 1 \text{ мк}\Phi = 10^3 \text{ н}\Phi = 10^6 \text{ п}\Phi.$$

3.2.4. Сила тока опережает напряжение на емкости на угол $\pi/2$

Так как $i = I_m \sin \omega t$, а $u = U_m \sin(\omega t + \pi/2)$ то, следовательно, напряжение на конденсаторе отстает от силы тока по фазе на угол $\pi/2$. Это видно на векторной (рис. 3.15, а) и на временной (рис. 3.15, б) диаграммах. Физически это можно понимать так: пока через конденсатор не потечет ток, на его пластинах не появятся заряды, до тех пор на пластинах и не будет напряжения.

Мощность переменного тока будет равна: $P = IU \cos \varphi$. При $\varphi = \pi/2$ мощность $P = 0$. Это значит, что конденсатор является реактивным элементом и не потребляет электрической энергии.

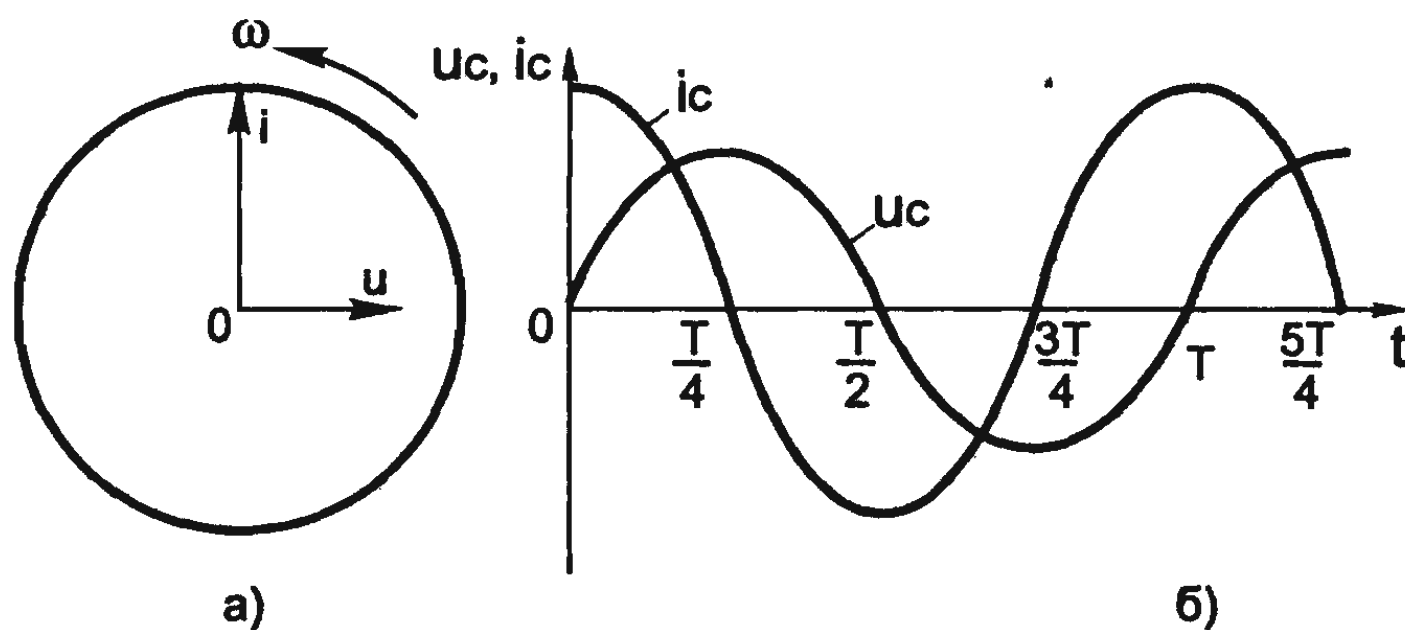


Рис. 3.15. Напряжение на конденсаторе отстаёт от силы тока по фазе на угол 90°

Если вы возьмете три конденсатора емкостью 1 мкФ каждый, соедините их параллельно, подключите в сеть 220 В и будете наблюдать за счетчиком электрической энергии, который имеется в вашей квартире, то счетчик никак не отреагирует на это подключение, хотя они по мощности эквивалентны лампочке мощностью 48 Вт . Почему счетчик не реагирует? Потому что конденсатор (как и катушка индуктивности) обладает замечательным свойством: в положительный полупериод напряжения сети он заряжается и накапливает электрическую энергию, а в отрицательный полупериод напряжения сети он отдает эту энергию снова в сеть. Это как морской прилив и отлив: то вода пригоняет к берегу все, что на ней плавает, то все смывает с берега, унося в море. Имейте в виду, что конденсатор должен быть рассчитан на напряжение $250 \dots 300 \text{ В}$.

Из графика на рис. 3.16 видно, что реактивное (емкостное) сопротивление конденсатора уменьшается как с увеличением емкости, так и с увеличением частоты питающего переменного напряжения; этот график построен по формуле (3.11).

Аналогичными свойствами реактивного элемента обладает и катушка индуктивности. Внешний вид, УГО и БЦО катушки индуктивности приведены на рис. 3.17.

Чтобы лучше понять свойства катушки индуктивности, проведем несколько экспериментов.

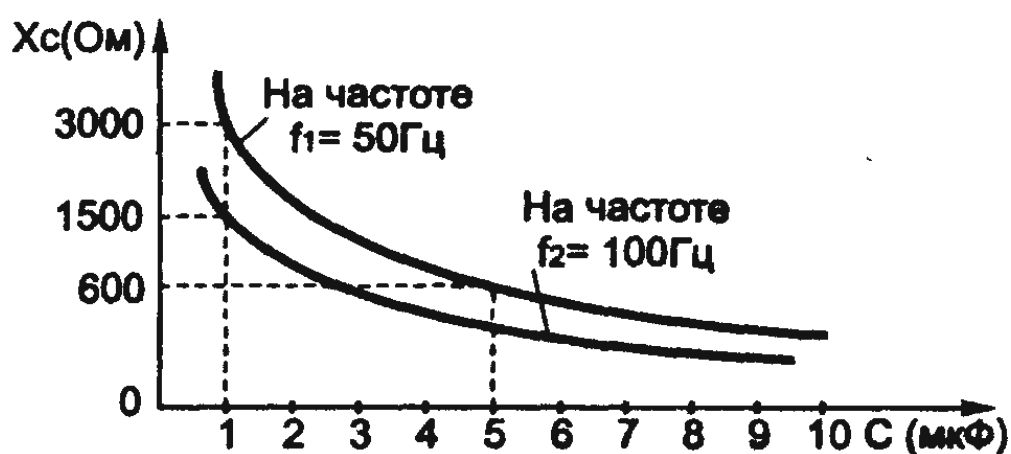


Рис. 3.16. Сопротивление конденсатора уменьшается как с увеличением ёмкости, так и с увеличением частоты

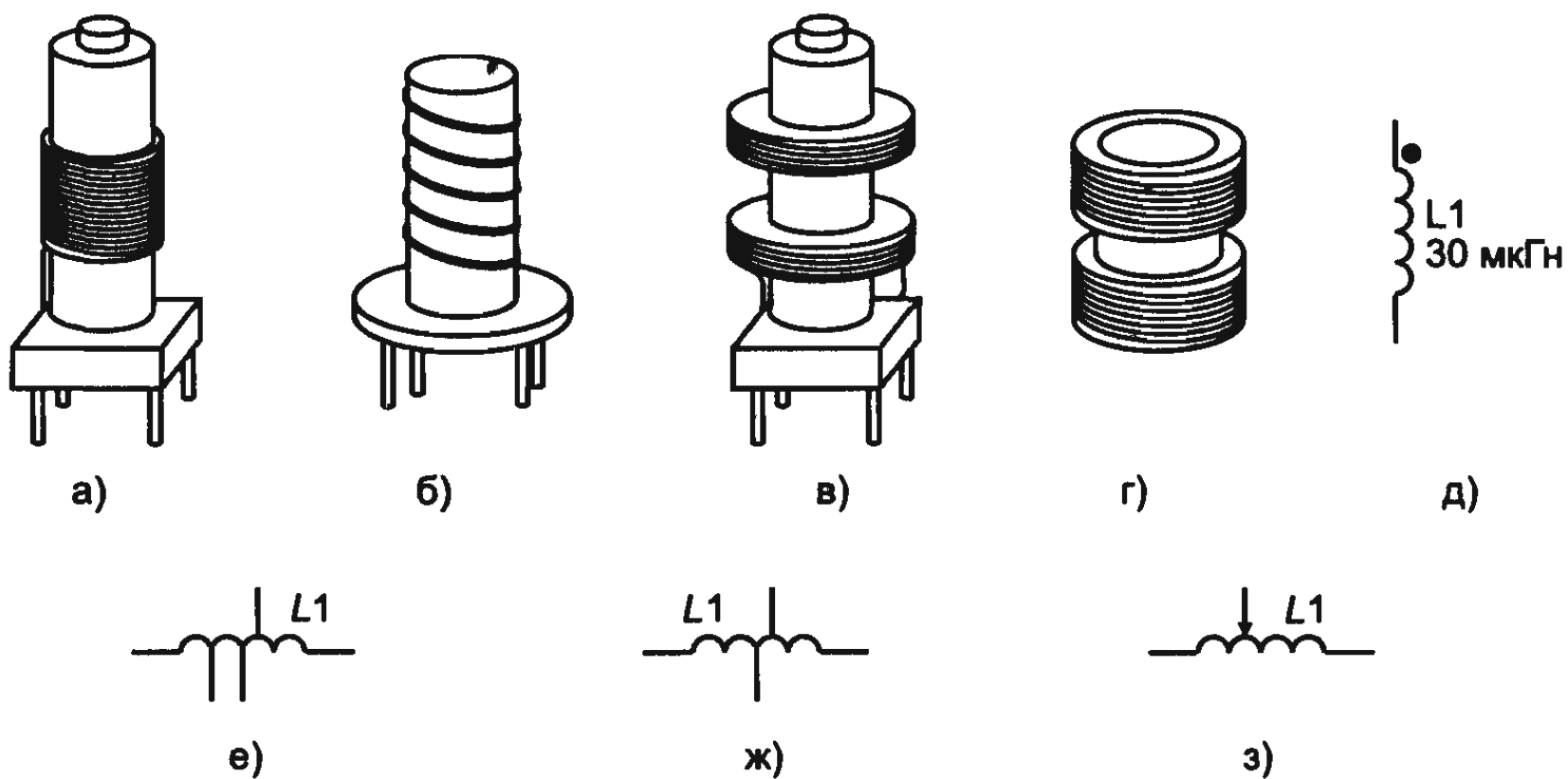


Рис. 3.17. Внешний вид, УГО и БЗО катушки индуктивности

3.2.5. Катушка индуктивности обладает индуктивным сопротивлением, которое также называется реактивным

В качестве катушки индуктивности можно использовать первичную обмотку сетевого трансформатора. При последовательном включении катушки индуктивности и лампы накаливания к источнику постоянного тока лампочка горит ярко, а при включении к источнику переменного тока (в сеть частотой 50 Гц) — тускло либо вообще не горит. Почему? Потому что катушка индуктивности обладает индуктивным сопротивлением X_L часть напряжения источника переменного тока гасится на катушке индуктивности, а постоянному току катушка оказывает малое активное сопротивление (сопротивление провода), которое можно вычислить по формуле:

$$R = \rho \frac{l}{S}.$$

Индуктивное сопротивление катушки индуктивности определяется по формуле:

$$X_L = 2\pi fL = 6,28 \cdot f_{(\text{Гц})} \cdot L_{(\text{Гн})}. \quad (3.13)$$

Здесь L — индуктивность катушки, измеряется в генри (Гн), миллигенри (мГн), микрогенри (мкГн).

$$1 \text{ Гн} = 1000 \text{ мГн} = 1\,000\,000 \text{ мкГн}.$$

Конструктивные данные катушек индуктивности даны в описаниях устройств, рекомендованных к самостоятельному изготовлению.

Тогда закон Ома запишется так:

$$I_m = U_m / X_L = U_m / 2\pi f L = U_m / \omega L. \quad (3.14)$$

3.2.6. Последовательное и параллельное соединение катушек индуктивности

Последовательное соединение	Параллельное соединение
$L_0 = L_1 + L_2$ (3.15) (рис. 3.18)	$\frac{1}{L_0} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2}$ или $L_0 = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2}$ (3.16) (рис. 3.19)
$L_0 = L_1 + L_2 + L_3$ (3.17) (рис. 3.20)	$\frac{1}{L_0} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3}$ (3.18) (рис. 3.21)

Формулы для вычисления общей индуктивности при последовательном и параллельном включении похожи на аналогичные формулы для вычисления общего сопротивления резисторов.

Если при изготовлении какого-либо прибора у вас не оказалось нужной индуктивности, но имеется большое количество катушек индуктивности других номиналов, их можно соединить последовательно или параллельно для получения нужного номинала. При последовательном соединении вычисления довольно простые, а вот при параллельном соединении необходимо затратить время на вычисления. То же самое приходится делать при последовательном



Рис. 3.18. Последовательное соединение двух катушек индуктивности

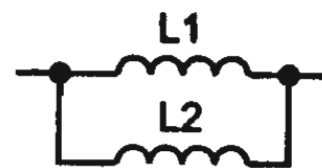


Рис. 3.19. Параллельное соединение двух катушек индуктивности



Рис. 3.20. Последовательное соединение трёх катушек индуктивности

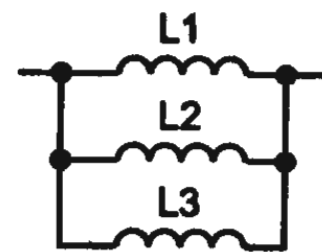


Рис. 3.21. Параллельное соединение трех катушек индуктивности

соединении конденсаторов и при параллельном соединении резисторов. Для облегчения подбора второго элемента на рис. 2.22 (глава 2) приведена номограмма.

3.2.7. Катушка индуктивности как накопитель магнитной энергии

В этом эксперименте в качестве катушки индуктивности можно использовать первичную обмотку сетевого трансформатора. При замыкании выключателя SA лампочка еле светится, а при размыкании выключателя SA она ярко вспыхивает. Это объясняется тем, что в момент включения элемента G часть энергии источника тратилась на создание магнитного поля катушки индуктивности, а при размыкании выключателя магнитное поле катушки индуктивности исчезает и запасенная в нем энергия отдается лампочке. Это явление называется самоиндукцией. Э.д.с самоиндукции препятствует увеличению тока при подключении источника питания к катушке индуктивности, а при отключении источника питания э.д.с. самоиндукции препятствует уменьшению тока в катушке. Здесь имеется в виду, что все элементы включены последовательно.

3.2.8. Сила тока отстает от напряжения на катушке индуктивности на угол $\pi/2$

Так как, $i = I_m \sin \omega t$, а $u = U_m \sin(\omega t - \pi/2)$, то, следовательно, *напряжение на катушке индуктивности опережает силу тока по фазе на угол $\pi/2$* . Это видно также на векторный (рис. 3.22, а) и на временной (рис. 3.22, б) диаграммах.

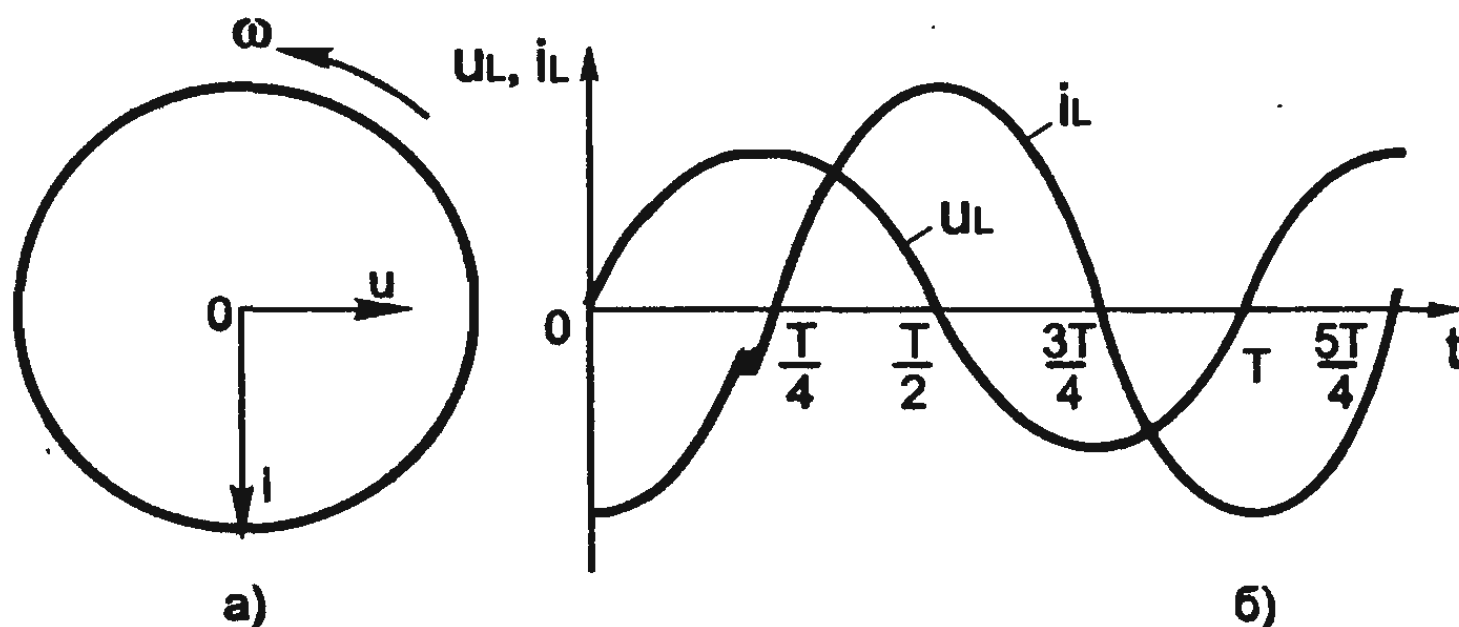


Рис. 3.22. Напряжение на катушке индуктивности опережает силу тока по фазе на угол 90° .

3.2.9. На активном сопротивлении (на резисторе) сила тока и напряжение совпадают по фазе

Так как $i = I_m \sin \omega t$, и $u = U_m \sin \omega t$, то, следовательно, *напряжение на резисторе совпадает по фазе с силой тока*. Это видно также на векторной (рис. 3.23, а) и на временной (рис. 3.23, б) диаграммах.

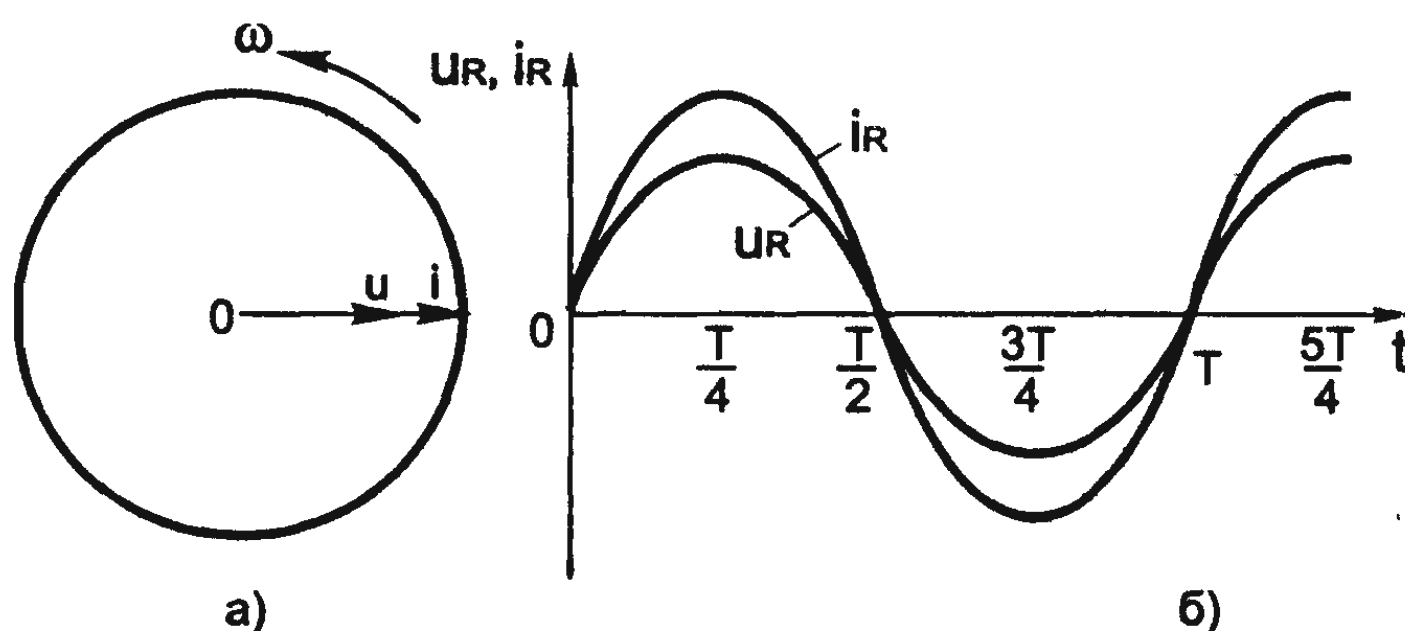


Рис. 3.23. Напряжение на резисторе совпадает по фазе с силой тока

3.3. ИНТЕГРИРУЮЩИЕ И ДИФФЕРЕНЦИРУЮЩИЕ ЦЕПИ

В электронных устройствах часто бывает необходимо изменить прямоугольные импульсы или сигналы другой формы таким образом, чтобы получить сигнал требуемой формы. Указанное изменение может заключаться в сохранении высокочастотных составляющих сигнала и ослаблении низкочастотных составляющих, в ослаблении только высокочастотных составляющих, в изменении амплитуды и формы сигнала путем ограничения и т. д.

К таким устройствам можно отнести интегрирующую и дифференцирующую цепи, которые находят широкое применение в вычислительной технике, в системах развертки телевизионных приемников и в других случаях, когда необходимо ослабить высокочастотные составляющие импульсов.

Практически интегрирующую цепь (рис. 3.24,а.) можно рассматривать как фильтр нижних частот. При воздействии синусоидальных сигналов интегрирующая цепь сильнее ослабляет сигналы более высоких частот (и вносит некоторый фазовый сдвиг). В случае импульсных или прямоугольных сигналов их форма изменяется благодаря фильтрации высокочастотных сигналов.

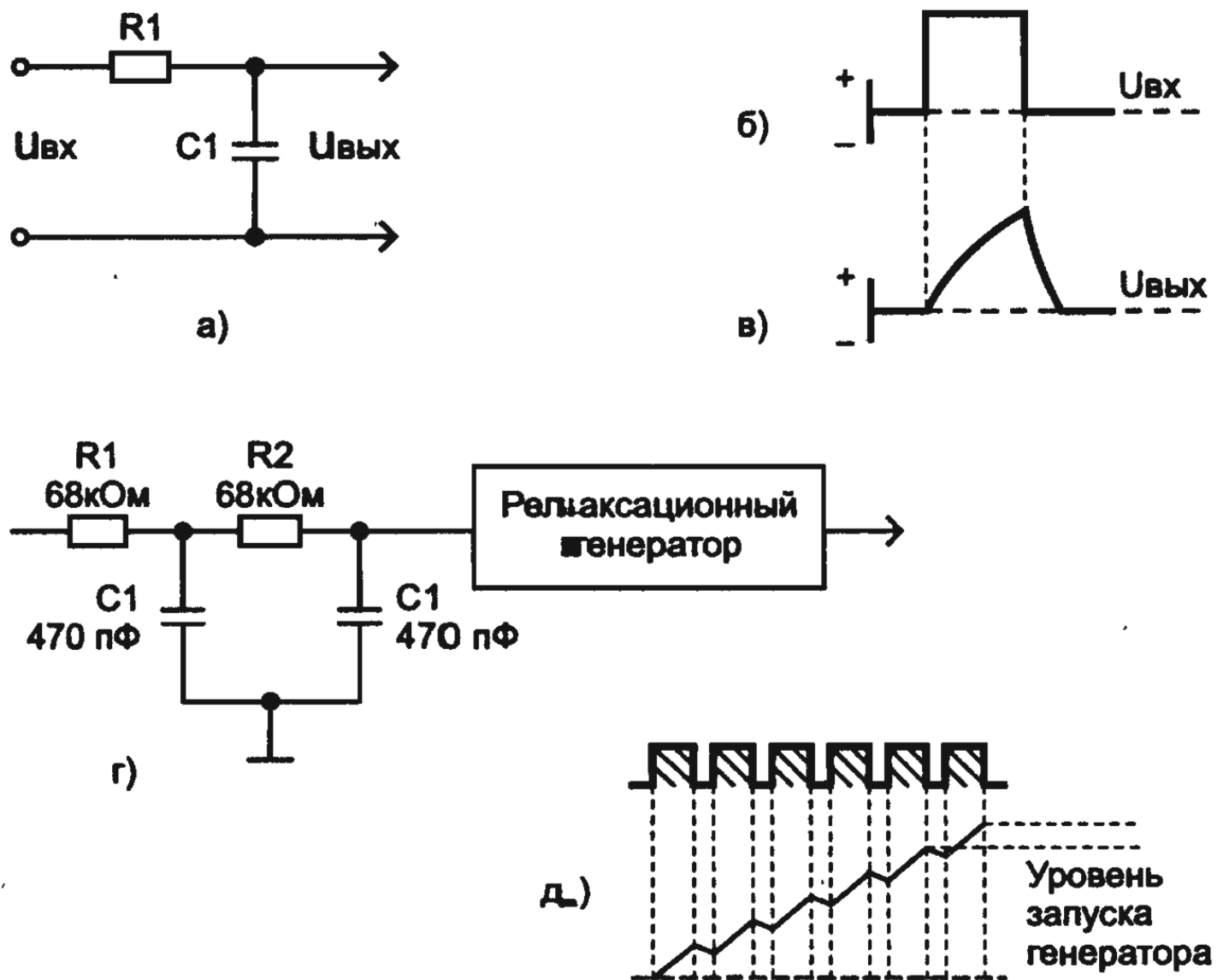


Рис. 3.24. а) Схема интегрирующей цепи
 б) форма входного импульса интегрирующей цепи
 в) выходного импульса интегрирующей цепи
 г) длительность входных импульсов превышает интервал между ними

В практических схемах интегрирующих цепей постоянная времени $t = RC$ велика по сравнению с длительностью воздействующего импульса. В этом случае приращение напряжения e_c на конденсаторе мало по сравнению с напряжением e , приложенным к интегрирующей цепи. Тогда можно записать приближенное равенство:

$$e_c = \frac{1}{RC} \int e dt.$$

Таким образом, выходное напряжение интегрирующей цепи пропорционально интегралу входного тока e/R . Это можно объяснить, если обратиться к рис. 3.24, б и в. При подаче на вход схемы положительного импульса крутой фронт импульса действует на интегратор в течение очень короткого промежутка времени. Затем в течение времени, равного длительности импульса, действует напряжение, соответствующее плоской вершине импульса. Напряжение на конденсаторе нарастает по экспоненциальному закону. За время, равное постоянной времени цепи τ , напряжение на конденсаторе достигнет примерно 65% максимального значения, а полностью конденсатор зарядится примерно в течение пяти по-

стоянных времени (5τ). Так как постоянная времени интегрирующей цепи велика по сравнению с длительностью импульса, напряжение на конденсаторе не достигает максимального значения, а постепенно нарастает до некоторой величины (рис. 3.24, в).

По окончании действия входного импульса конденсатор начнет разряжаться через резистор $R1$ и входную цепь. Разряд протекает медленно по сравнению со спадом входного импульса, и в результате на выходе формируется импульс, форма которого показана на рис. 3.24, в.

Если импульсы на входе интегратора имеют длительность, превышающую интервалы между ними (рис. 3.24, г), то напряжение на конденсаторе будет постепенно нарастать. Такую схему можно использовать в качестве делителя частоты, так как уровень запуска релаксационного генератора будет достигаться только после определенного числа импульсов, поданных на вход. Постоянная времени этой цепи равна:

$$\tau \approx R1(C1 + C2) + R2C2.$$

Интегрирующую цепь можно также построить, располагая катушкой индуктивности и резистором. Для этого в схеме на рис. 3.24, а резистор $R1$ следует заменить катушкой индуктивности, а конденсатор $C1$ — резистором. Однако, поскольку катушка индуктивности имеет еще и активное сопротивление, схема с резистором и конденсатором более широко применяется на практике.

В дифференцирующей цепи (рис. 3.25, а) постоянная времени должна быть малой по сравнению с длительностью импульсов. Эту цепь применяют в тех случаях, когда импульсы сравнительно большой длительности необходимо преобразовать в короткие импульсы с крутым фронтом. Цепь сохраняет крутой фронт импульса в той же полярности и по существу ведет себя как фильтр верх-

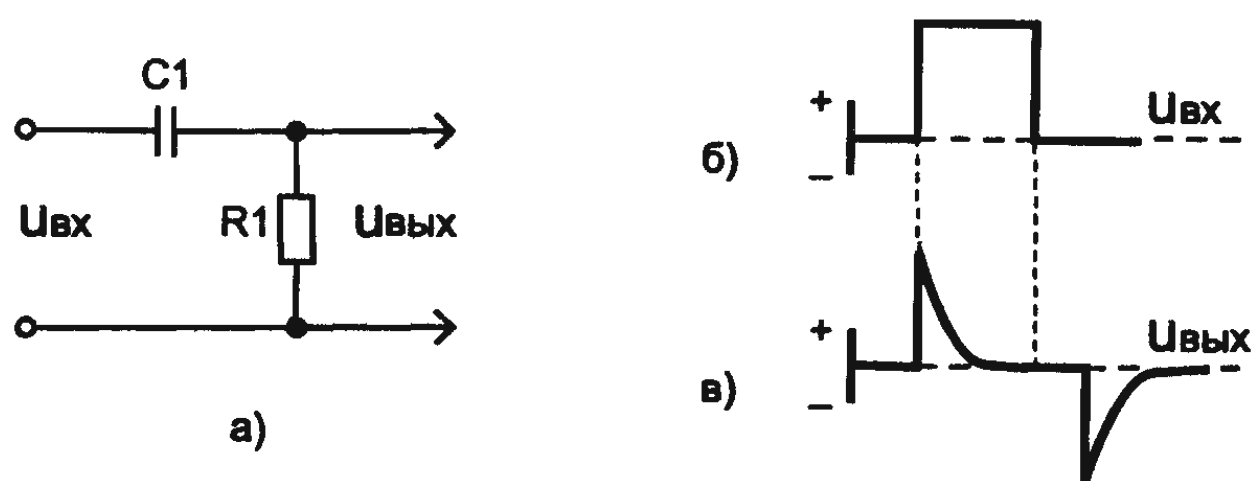


Рис. 3.25, а. Схема дифференцирующей цепи
 б) форма импульса на входе дифференцирующей цепи
 в) выходе дифференцирующей цепи

них частот, ослабляющий низкочастотные и пропускающий высокочастотные составляющие импульса.

При малой постоянной времени сопротивление резистора оказывается значительно больше реактивного сопротивления конденсатора. Поэтому выходное напряжение, равное падению напряжения на резисторе, приближенно выражается формулой:

$$U_{\text{вых}} \approx iR = RC \frac{de_c}{dt} \approx RC \frac{de}{dt}. \quad (3.19)$$

На рис. 3.25,б и в показаны соответственно формы импульса на входе и выходе дифференцирующей цепи. От начального момента действия импульса и в течение всей его длительности к входу схемы прикладывается постоянное напряжение. Если при подаче входного импульса конденсатор $C1$ не был заряжен, то в первый момент через конденсатор, а также через резистор $R1$ будет протекать большой ток. Таким образом, на резисторе сразу же появляется большое падение напряжения, благодаря чему на выходе очень быстро нарастает фронт импульса (рис. 3.25,в). По мере заряда конденсатора протекающий через него ток уменьшается со скоростью, зависящей от постоянной времени цепи. При малой постоянной времени конденсатор быстро заряжается и ток перестает протекать по цепи. Таким образом, когда конденсатор полностью заряжен, напряжение на резисторе $R1$ спадает до нулевого уровня. В момент окончания действия импульса входное напряжение уменьшается до нуля, и конденсатор начинает разряжаться. Ток разряда конденсатора имеет противоположное по сравнению с током заряда направление, следовательно, направление тока через резистор тоже противоположно току заряда. Поэтому на выходе теперь появится отрицательный всплеск напряжения.

На практике на вход дифференцирующей цепи обычно подаются импульсы. Если же на вход дифференцирующей цепи подать синусоидальные колебания, то их форма не изменится, но произойдут сдвиг фазы выходного колебания и уменьшение амплитуды этих колебаний на величины, зависящие от частоты входного сигнала. Другой тип дифференцирующей схемы можно получить, если $C1$ заменить резистором, а $R1$ — индуктивностью. В такой цепи фактором, определяющим качество дифференцирования, является также постоянная времени. Как и в интегрирующей цепи, омическое сопротивление катушки индуктивности ухудшает характеристики схемы. Поэтому такую цепь применяют довольно редко.

3.4. ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫЙ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР

Последовательный колебательный контур (ПКК) представляет собой последовательное соединение катушки индуктивности и конденсатора (рис. 3.26,а). Для лучшего понимания свойств ПКК предлагается собрать схему на рис. 3.26,б. В качестве катушки индуктивности предлагается использовать первичную обмотку сетевого трансформатора, конденсатор должен иметь номинальное напряжение, превышающее напряжение источника питания контура не менее чем в 5—7 раз, лампочка накаливания выбирается мало-мощной на напряжение, равное или несколько меньшее напряжения источника питания контура.

В качестве источника питания ПКК надо использовать понижающий трансформатор с напряжением на вторичной обмотке 10...30 В или автотрансформатор. Для получения резонанса напряжений следует подобрать емкость конденсатора, для чего в цепь ПКК включить амперметр переменного тока и подобрать емкость конденсатора по максимуму силы тока в цепи (рис. 3.26,б). В этом случае при резонансе напряжений лампочка будет иметь максимальную яркость свечения.

После того, как будет собрана схема, можно приступить к эксперименту. Для этого следует включить оба выключателя SA1 и SA2, лампочка будет иметь максимальную яркость свечения. Затем выключить оба выключателя — лампочка будет иметь меньшую яркость свечения (замерьте вольтметром переменного тока напряжение на лампочке, оно будет меньше напряжения питания ПКК на величину падения напряжения на *активном* сопротивлении катушки индуктивности, т. е. на сопротивлении проводов катушки индуктивности постоянного току).

А теперь замкните изолированным проводником катушку индуктивности или конденсатор. При изучении постоянного тока вы узнали, что при выключении одного

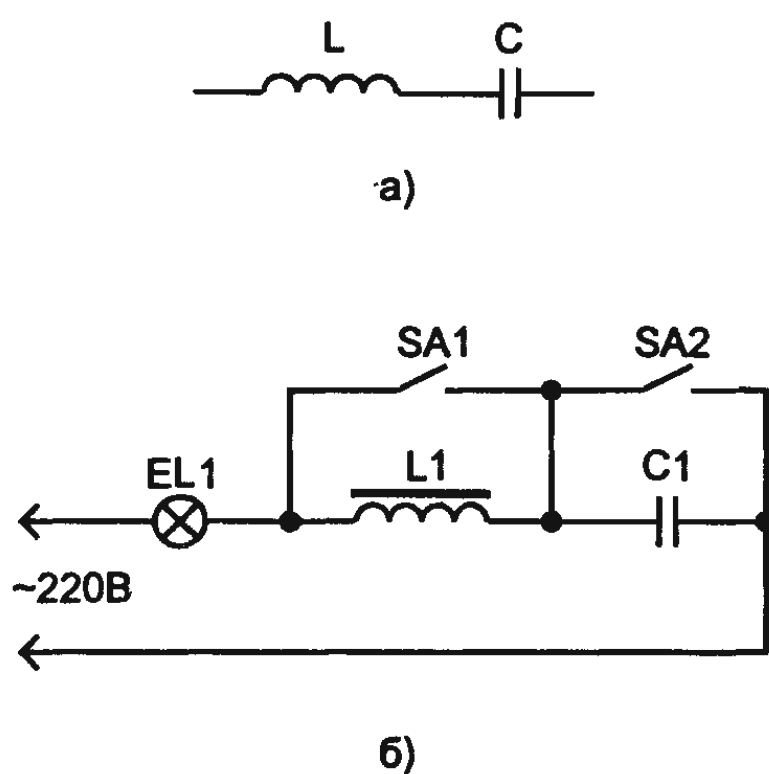


Рис. 3.26. а) Схема последовательного колебательного контура.
б) Принципиальная схема, которая позволяет обнаружить необычные свойства реактивных элементов

элемента цепи (например, лампы накаливания) при последовательном их соединении, на остальных элементах цепи напряжение (и сила тока) увеличивается т. е. яркость свечения остальных лампочек увеличится. В данном же случае будет все наоборот — лампочка перестанет светить.

А теперь измерим напряжение на катушке индуктивности и на конденсаторе: к удивлению, эти напряжения будут больше напряжения источника питания ПКК в 35 раз (это зависит от величины общего *активного* сопротивления ПКК — сопротивления лампочки и активного сопротивления проводов катушки индуктивности). Чем меньше активное сопротивление ПКК, тем больше напряжение на конденсаторе и на катушке индуктивности, причем всегда напряжение на конденсаторе больше напряжения на катушке индуктивности на величину падения напряжения на активном сопротивлении катушки. *При измерении напряжений на катушке индуктивности и на конденсаторе не забудьте увеличить предел измерения вольтметра, иначе он может быть поврежден.*

3.5. ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

3.5.1. Цветомузыкальная приставка

Кроме своего основного назначения — подключение к выходу магнитофона, проигрывателя или приемника и получения световых эффектов, приставка позволяет снять АЧХ ФНЧ, ФВЧ и полосового фильтра и судить об их частотных свойствах.

Схема приставки показана на рис. 3.27,а.

Со звуковой катушки динамической головки ВА1 усилителя звуковой частоты сигнал звуковой частоты подается на базы транзисторов VT1—VT3 через соответствующие им частотные фильтры. В канале высших частот используется ФВЧ R1C1: он пропускает колебания наиболее высоких частот и оказывает значительное сопротивление колебаниям средних и высших частот.

Дроссель L1 и конденсатор C2 образуют полосовой фильтр. Его резонансная частота $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L1 \cdot C2}}$, характеристическое сопротив-

ление $\rho = \sqrt{\frac{L1}{C2}}$ и добротность Q равна отношению ρ к активным потерям (его можно определить по АЧХ). Чтобы полосовой фильтр имел достаточно узкую полосу пропускания, необходимо

увеличить его добротность, т. е. использовать дроссель с большой индуктивностью и малыми активными потерями и небольшую емкость.

Функцию ФНЧ выполняет дроссель $L2$ и резистор $R3$ с параллельно подключенным к нему, как и в предыдущих фильтрах, переходом база-эмиттер транзистора $VT3$.

В коллекторные цепи транзисторов включены лампы накаливания $HL1—HL3$, цвета баллонов которых соответствуют принятому частотному делению колебаний звукового диапазона.

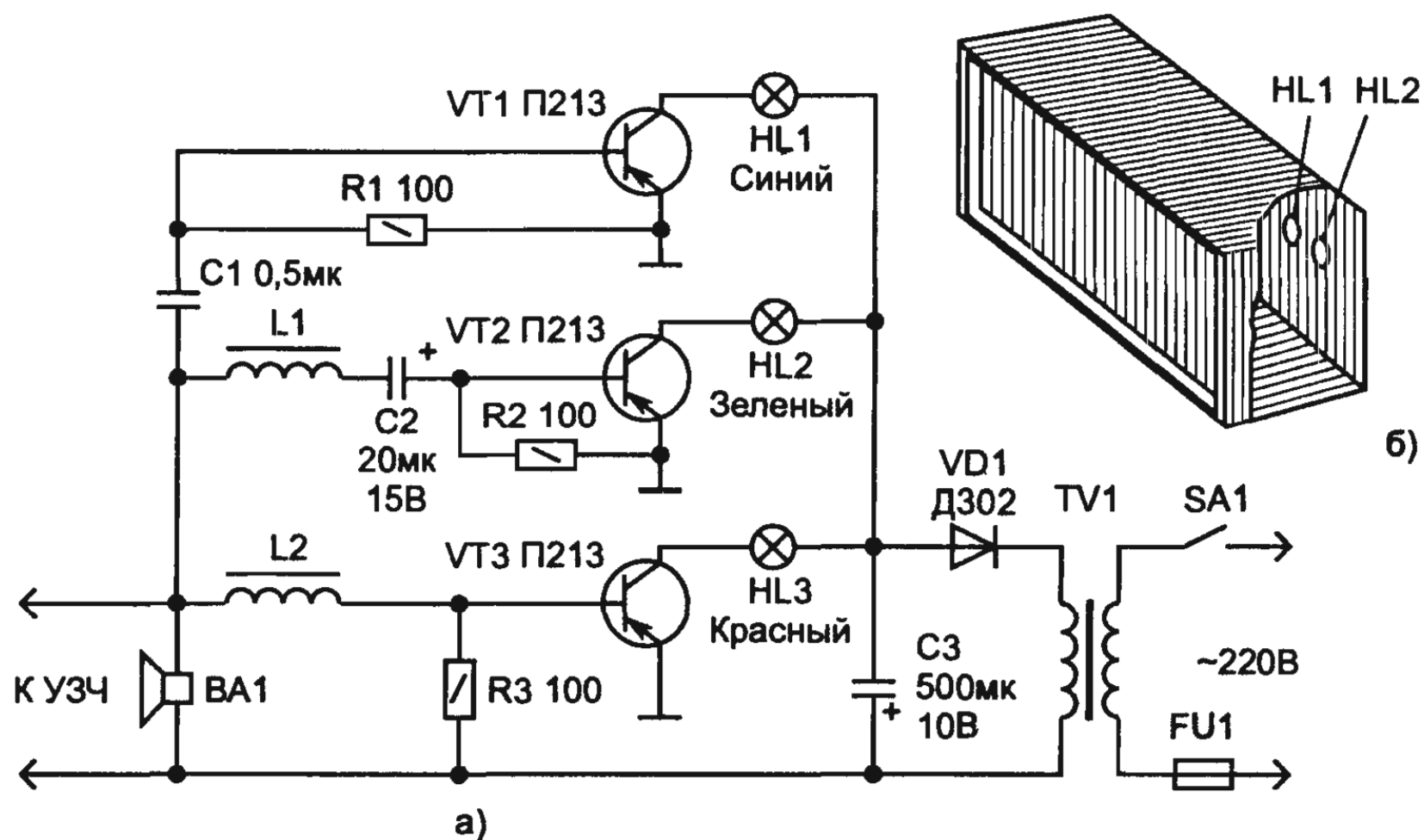


Рис. 3.27. а) Принципиальная схема цветомузыкальной приставки
б) конструкция экрана с лампами

Исходное состояние транзисторов — закрытое. В это время токи коллекторных цепей транзисторных цепей малы и лампы накаливания не светятся. При появлении сигнала (во время отрицательных полуволн) транзисторы открываются и лампы начинают светиться. Чем больше уровень сигнала, тем больше открываются транзисторы и ярче светятся лампы. Если преобладают звуки низких тонов, то ярче других светится лампа красного цвета, а если высоких и средних, то синего и зелёного цветов. В результате на экране, освещаемом лампами, создаются цветовые гаммы.

Приставка имеет источник питания, состоящий из понижающего трансформатора $TV1$, выпрямительного диода $VD1$ и конденсатора $C3$ сглаживающего фильтра.

Транзисторы приставки могут быть низкочастотными или высокочастотными, но обязательно средней или большой мощности, например, П213, П214, ГТ403, П601, КТ814, КТ816, КТ818. Лампы накаливания от карманного фонаря (3,5 В × 0,28 А). При наиболее громких звуках суммарный ток ламп приставки может достигать 0,7...0,8 А. Поэтому в выпрямителе блока питания должен работать диод, рассчитанный на выпрямленный ток около 1 А. Если такого диода не окажется, можно использовать четыре диода серии Д226 или Д7, соединив их по мостовой схеме.

В коллекторные цепи транзисторов можно включить не по одной, а по две — три лампы, соединенные параллельно. Но тогда в выпрямителе надо будет использовать диод на ток 3...5 А, например Д242А, а транзисторы, чтобы не перегревались, установить на теплоотводящие радиаторы. Между базами и коллекторами транзисторов можно включить подстроечные или переменные резисторы сопротивлением по 2—3 кОм, которые совместно с постоянными резисторами R1—R3 образуют делители напряжения, открывающие транзисторы. При налаживании приставки этими резисторами можно выбрать режим работы транзисторов, когда нити накала ламп еле светятся.

В качестве сетевого трансформатора TV1 можно использовать выходной трансформатор ТВК-110 или ТВК-90 кадровой развертки телевизора или любой другой трансформатор, понижающий напряжение сети до 5...6 В. Напряжение на выходе выпрямителя должно быть не менее 7...8 В.

Дроссель L1 намотан на двух сложенных вместе ферритовых кольцах 66НН с внешним диаметром 7 мм, а дроссель L2 — на трёх сложенных вместе таких же кольцах. На каждый из таких сердечников надо намотать по 200 витков провода ПЭЛШО или ПЭВ-1 0,1.

Конструкция экрана с освещающими его лампами может быть такой, как на рис. 3.27,б. Лампы размещены на задней стенке ящика, оклеенного внутри алюминиевой фольгой или обитого жостью. Фольга или жость выполняют роль рефлектора. Лампы можно покрыть в соответствующие цвета цветным лаком либо обтянуть их резиной от надувных шаров соответствующего цвета.

Экраном, являющимся передней стенкой ящика, служит матовое стекло размерами не более 13...18 см. От ламп идут провода к соответствующим им транзисторам, смонтированным вместе с фильтрами и блоком питания в другом ящике.

Экраном может также служить органическое стекло, окрашенное в молочный цвет. Для этого органическое стекло погружают в концентрированную серную кислоту на 1...10 минут. После обработки в кислоте его тщательно промывают в проточной воде и сушат. При выдерживании в кислоте в течение 1...3 минут поверхность стекла не теряет глянца и будет иметь молочный цвет. Если же травить дольше, то его поверхность становится белой и слегка матовой. С увеличением времени воздействия кислоты белый слой становится толще. Если необходимо оставить на органическом стекле прозрачные места, то эти части поверхности покрывают тонким слоем воска. После промывки и сушки воск удаляют.

Работая с серной кислотой, помните, что она опасна, так как при попадании капель воды разбрызгивается. Попавшие на кожу брызги могут вызвать тяжелые ожоги. Поэтому работать следует в резиновых перчатках и в защитных очках. Для погружения детали или изделия в кислоту пользуйтесь пинцетом. На случай попадания кислоты на кожу или одежду всегда имейте под рукой нейтрализующий действие кислоты крепкий раствор пищевой соды или 10%-ный раствор нашатырного спирта.

3.5.2. Усилитель звуковой частоты «электронное ухо»

Устройство позволяет прослушивать в лесу голоса птиц, может быть использовано как УЗЧ в изготавливаемых приемниках и т. д. Он представляет собой высокочувствительный усилитель звуковой частоты, собранный на трех транзисторах (рис. 3.28). Сигнал с микрофона ВМ1 подается через конденсатор С2 на первый каскад усилителя, собранный на транзисторе VT1. Это эмиттерный повторитель (каскад с общим коллектором), он обеспечивает согласование выходного сопротивления микрофона с входным сопротивлением УЗЧ (об этом написано в главе «Полупроводниковые приборы»).

Если микрофон ВМ1 подключить сразу к каскаду усиления с общим эмиттером, который имеет относительно невысокое входное сопротивление, то не вся мощность, развиваемая микрофоном, будет использована. Нагрузкой эмиттерного повторителя является переменный резистор R2, который одновременно является регулятором усиления.

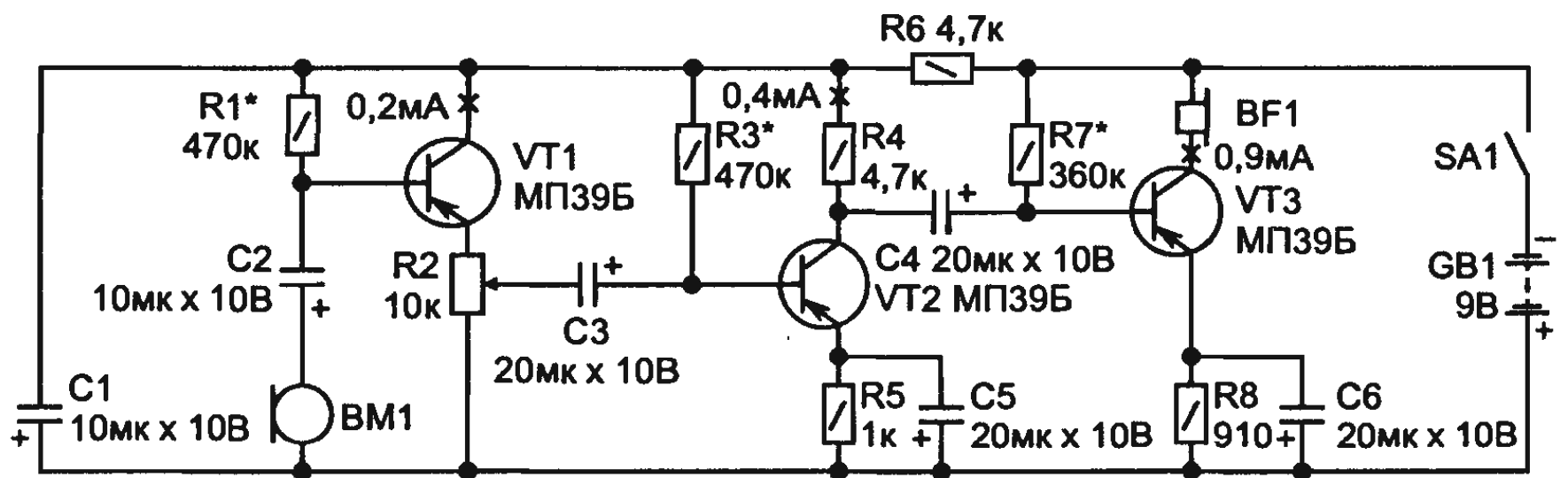


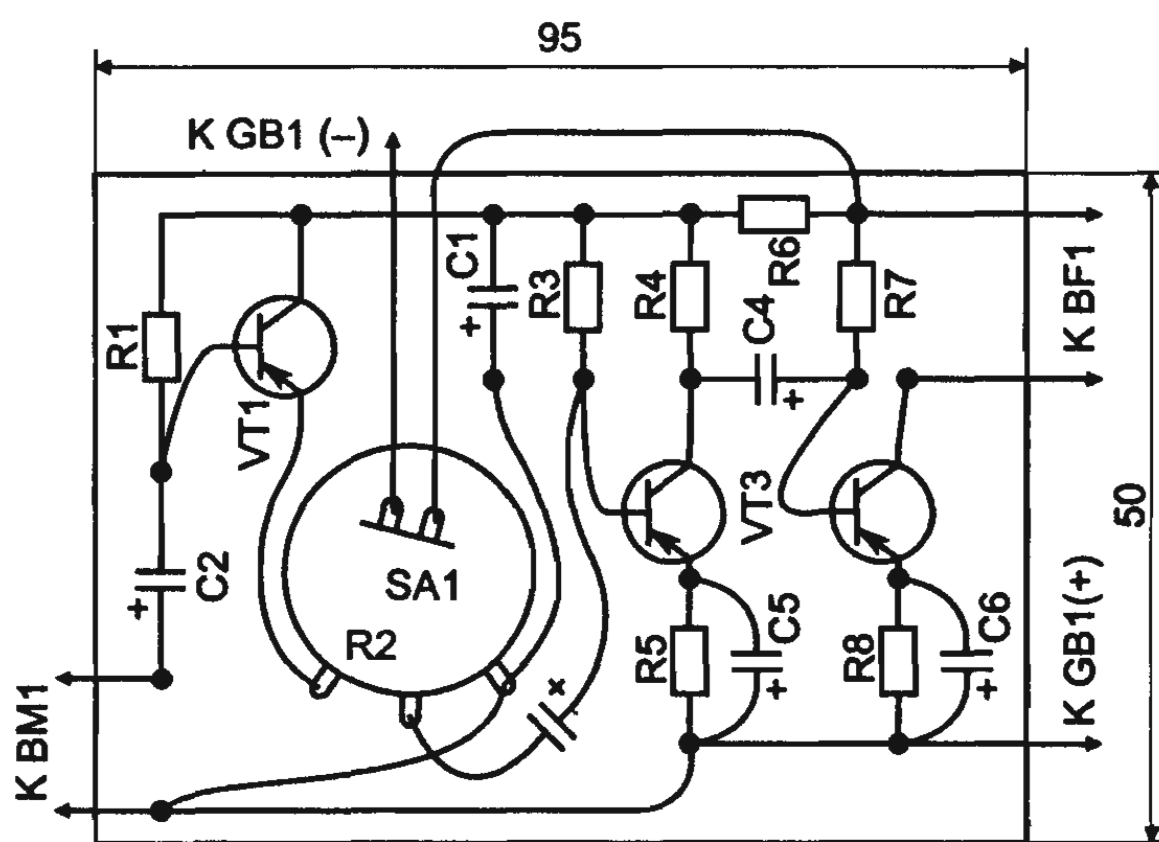
Рис. 3.28.. Принципиальная схема «Электронного уха»

С первого каскада сигнал подается на базу второго каскада усиления, собранного на транзисторе VT2 по схеме с общим эмиттером. Этот каскад имеет относительно большой коэффициент усиления. Напряжение смещения на базу (выбор рабочей точки) подается через гасящий резистор R3. Ток протекает по цепи: «+»GB1—R5 — эмиттер-база VT2—R3 — «-»GB1. На всех трех последовательно соединенных элементах цепи (R5, VT2, R3) создается падение напряжения, пропорциональное сопротивлению этих элементов постоянному току.

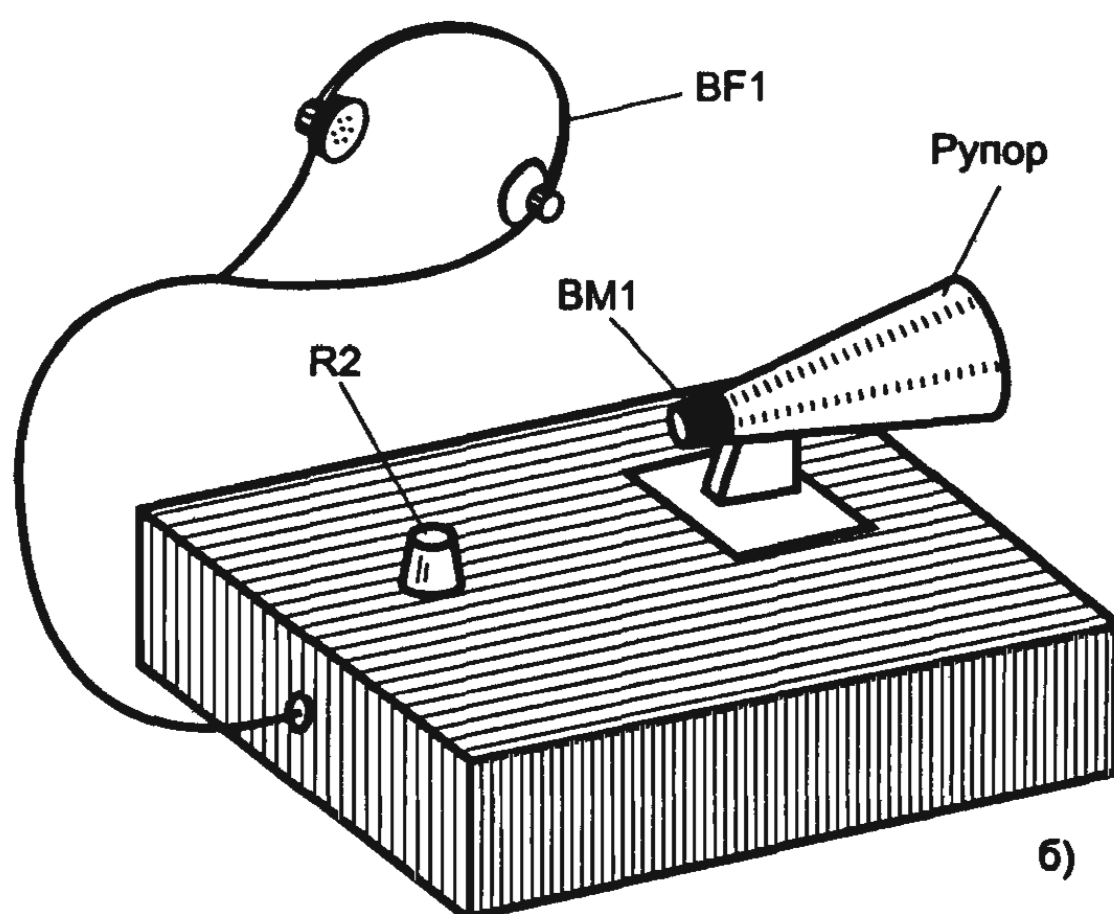
Конденсатор C3 осуществляет развязку между первым и вторым каскадами по постоянному току. Для стабилизации режима работы второго каскада при изменении температуры окружающей среды в цепь эмиттера транзистора VT2 включен резистор R5. Он создает отрицательную обратную связь (ООС) по постоянному току. А чтобы не было ООС по переменному току (из-за чего уменьшилось бы усиление сигнала), параллельно резистору включен конденсатор C5 большой емкости, который для переменного тока имеет малое сопротивление. С нагрузки каскада — резистора R4 — сигнал подается через разделительный конденсатор C4 на вход третьего (выходного) каскада, собранного на транзисторе VT3. В цепи эмиттера он тоже имеет стабилизирующую цепочку R8C6, а его нагрузкой являются головные высокоомные телефоны BF1. Смещение на базу подается через гасящий резистор R7.

В качестве источника питания может быть использована батарея «Крона», аккумулятор 7Д-01 или же две последовательно соединенные батареи 3336Л.

Фильтр нижних частот R6C1 предотвращает возможность самовозбуждения УЗЧ по цепи питания (для этого цепи питания тран-



а)



б)

Рис. 3.29. Монтажная плата (а) и корпус (б) устройства «Электронного уха»

зисторов первых двух каскадов по переменному току закорачиваются на корпус через конденсатор $C1$).

Чтобы обеспечить большую чувствительность усилителя, необходимо использовать малошумящие транзисторы с большим коэффициентом усиления и малым обратным током коллектора (об этих параметрах написано в главе «Полупроводниковые приборы»). Подойдут для этих целей транзисторы П416Б. Другие возможные замены можно найти в главе 4.

Постоянные резисторы МЛТ-0,125 и МЛТ-0,25, переменный резистор ТКД или другой, совмещенный с выключателем питания SA1. Можно установить, в крайнем случае, переменный резистор

типа СП-1 и отдельно выключатель питания. Конденсаторы К50-6 либо другие аналогичные, микрофон МД-64, но вполне подойдет другой чувствительный микрофон. Головные телефоны ТОН-1 или ТОН-2, соединенные последовательно для увеличения сопротивления нагрузки усилителя.

Часть деталей усилителя смонтирована на плате толщиной 1,5...2 мм из изоляционного материала (рис.2.29,а). Плату размещают в небольшом самодельном или подобранном заранее корпусе (рис. 2.29,б), так, чтобы наружу выступала ось переменного резистора R2, на которую надевают ручку. Плата может быть как с навесным монтажом, так и печатная.

Микрофон лучше всего закрепить металлическим хомутиком к корпусу усилителя, а для увеличения дальности действия «электронного уха» надо надеть на микрофон рупор, склеенный из картона или чертежной бумаги.

Налаживание усилителя заключается в проверке и установке (если это понадобится) силы тока коллекторов транзисторов. Вначале миллиамперметр включают в цепь коллектора транзистора VT1 и подбором резистора R1 добиваются силы тока 0,2 мА. Затем устанавливают силу тока транзистора VT2 в пределах 0,3...0,5 мА, затем транзистора VT3 в пределах 0,8...1,0 мА. Но настройка будет значительно эффективнее, если использовать осциллограф и генератор звуковой частоты. Для этого вместо резистора R1 использовать постоянный резистор сопротивлением примерно 300...350 кОм и переменный резистор сопротивлением 250...200 кОм, а вместо резистора R7 — постоянный резистор сопротивлением 200...250 кОм и переменный резистор сопротивлением 250...200 кОм. Использование осциллографа и генератора звуковых частот позволяет не просто добиться максимального усиления, а получить от каждого каскада наибольшее (но, может быть, не максимальное) усиление при минимальных искажениях сигнала (в данном случае синусоиды).

Пользуются «электронным ухом» так. Включают питание и направляют рупор в нужную сторону. Переменным резистором R2 устанавливают такое усиление, при котором хорошо прослушиваются лесные шумы или звуки на расстоянии нескольких метров, но усилитель еще не возбуждается. Кроме того, необходимо помнить, что при большом усилении усилитель может возбудиться из-за акустической связи между микрофоном и телефоном. Чтобы избежать этого, надо устройство держать на некотором расстоянии впереди себя.

3.5.3. Электронная сирена с усилителем

Сирена — это прибор для получения звуков различной высоты. Их устанавливают на специальных автомашинах, используют для подачи сигнала тревоги. Сирена может найти применение и в различных играх. Кроме того, на примере этого устройства можно изучить принцип формирования различных звуков с помощью электронных средств.

Электронная сирена (рис. 3.30) выполнена на четырех мало-мощных низкочастотных транзисторах и представляет собой два симметричных мультивибратора. Один из них, собранный на транзисторах VT1, VT2, генерирует колебания частотой 1...2 Гц, другой, на транзисторах VT3, VT4, — более высокой частоты.

К выходу первого мультивибратора подключена интегрирующая цепочка R5C3, на выходе которой имеется пилообразное напряжение. Этим напряжением управляется второй мультивибратор, в результате чего на резисторе-нагрузке R9 получается последовательность импульсов различной длительности, имитирующих в телефонах звук механической сирены. Постоянная времени цепи заряда интегрирующей цепи $\tau_3 = (R4 + R5)C3 = 1,12$ с, а разряда $\tau_p = (R5 + R_{эк VT2})C3 = 0,6$ с.

С учетом того, что за время t_3 конденсатор C3 заряжается до 63% от максимума, можно считать, что за время действия импульса мультивибратора ($\frac{T}{2} \approx 0,5$) напряжение на нем увеличивается почти линейно. Разряжается конденсатор почти в два раза быстрее, чем заряжается.

Транзисторы в сирене могут быть серий МП39—МП42 со статическим коэффициентом передачи тока 30...50, резисторы — мощностью от 0,125 Вт, конденсаторы — любого типа с номинальным напряжением более 9 В.

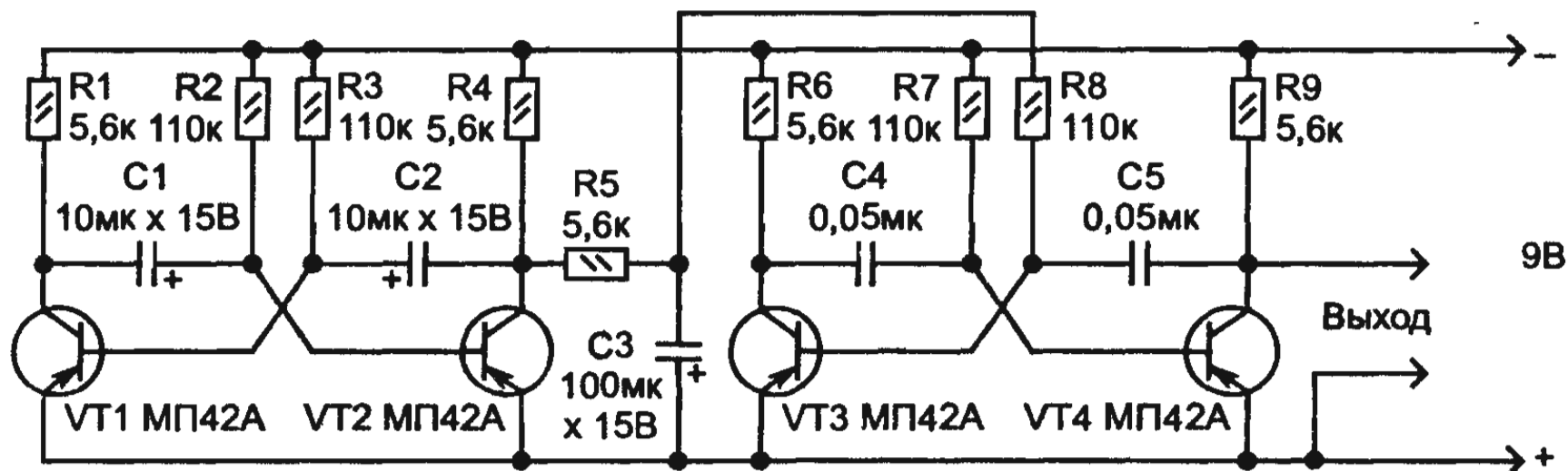


Рис. 3.30. Принципиальная схема электронной сирены

Частота повторения сигнала сирены определяется сопротивлением резисторов R2, R3 и емкостью конденсаторов C1, C2, а тональность звучания зависит от сопротивления резисторов R7, R8 и емкости конденсаторов C4, C5. Номиналы выше указанных резисторов и конденсаторов могут быть и иными по сравнению с указанными на схеме.

Период колебаний симметричного мультивибратора определяется по формуле:

$$T = 1,4R_6C = 1,4 \cdot 110 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-6} = 1,54 \text{ с.}$$

Схема УЗЧ, к которому можно подключить электронную сирену, приведена на рис. 3.31. На входе усилителя стоит частотно-зависимый делитель напряжения R1C1, где R1 одновременно выполняет роль регулятора громкости. Предварительный усилитель выполнен на транзисторе VT1 по схеме с общим эмиттером. Его нагрузкой является резистор R3 (сопротивление диода VD1 в прямом направлении мало, им можно пренебречь). Он не только усиливает сигнал, но и обеспечивает усилителю мощности двухтактный режим работы. Затем — на усилитель мощности, собранный по двухтактной схеме. Затем сигнал подается на предоконечный каскад, собранный на транзисторах VT2 и VT3. Этот каскад нужен для того, чтобы обеспечить двухтактный режим работы выходного каскада. Для облегчения этой задачи и упрощения схемы каскада в нем использованы транзисторы разной структуры — VT2 структуры p-n-p и VT3 — структуры n-p-n. При этом транзистор VT2 усиливает отрицательные полуволны, а VT3 — положительные. С нагрузок каскада (резисторы R4 и R5) сигналы поступают далее на транзисторы VT4 и VT5 выходного каскада усиления мощ-

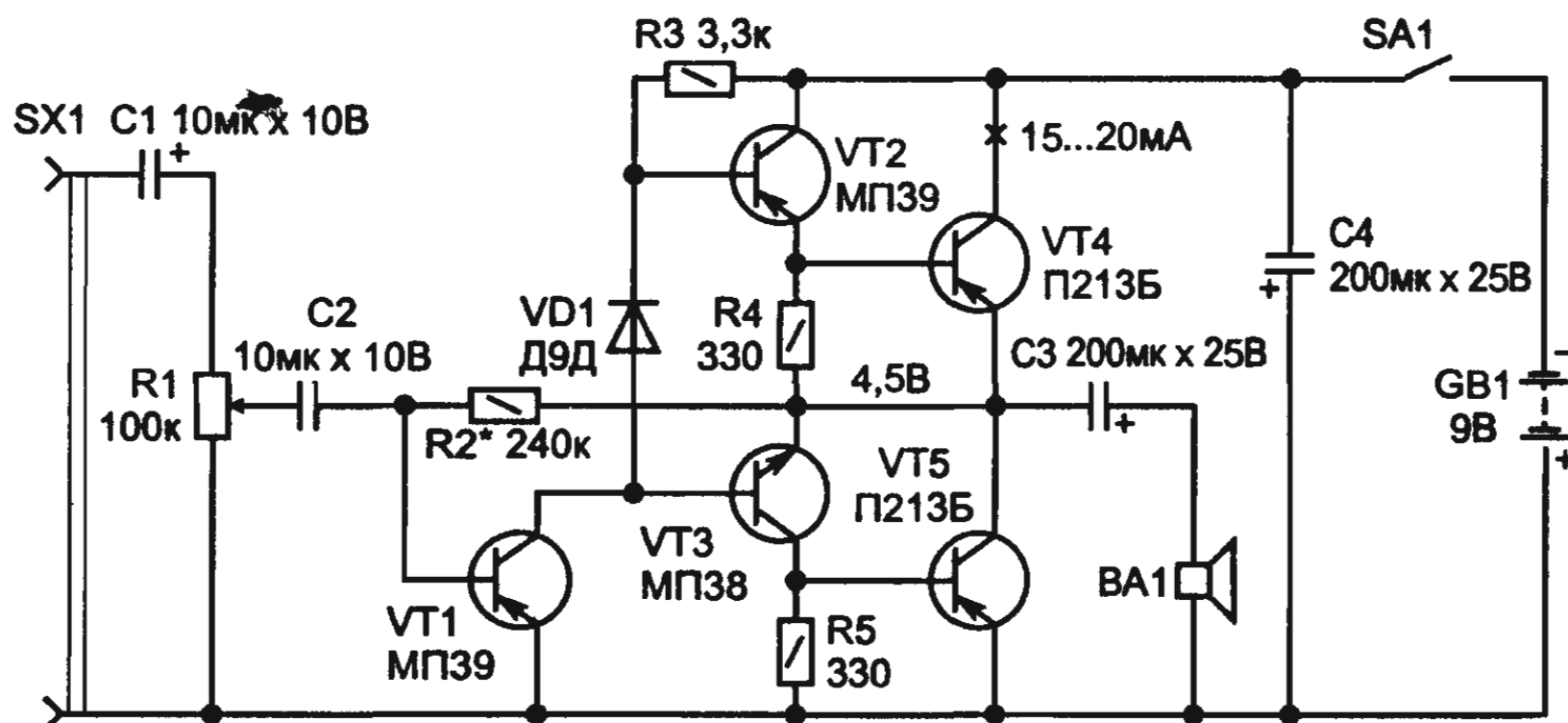


Рис. 3.31. Принципиальная схема УЗЧ к электронной сирене

ности. Мощные колебания звуковой частоты со средней точки (точки симметрии) поступают через конденсатор С3 к головке ВА1 громкоговорителя и преобразуются в звуковые колебания. Емкость конденсатора С3 должна быть возможно большей, чтобы не оказывать заметного сопротивления колебаниям низких звуковых частот.

Диод VD1 обеспечивает устранение переходных искажений типа «ступеньки». Суть искажений состоит в том, что выходной сигнал с транзистора отстегивает входной сигнал с разницей на величину падения напряжения $U_{бэ}$; на положительном интервале входного сигнала выходное напряжение примерно на 0,6 В меньше, чем входное, на отрицательном интервале — наоборот (рис. 3.32). Коллекторный ток транзистора VT1 создает на этом диоде падение напряжения в доли вольта, которое вместе с усиленным сигналом подается на базы транзисторов VT2 и VT3. При этом на базе транзистора VT2 имеется отрицательное напряжение смещения, а на базе транзистора VT3 — положительное. В результате транзисторы несколько приоткрываются и уменьшают искажение слабого сигнала, т. е. усилитель работает в режиме АВ.

С точки симметрии выходных транзисторов постоянное и переменное напряжения через резистор R2 подаются на базу транзистора VT1, за счет чего создается ООС, которая стабилизирует работу всего усилителя.

Питается усилитель совместно с электронной сиреной от источника GB1, составленного из двух последовательно соединенных батарей 3336Л. Чтобы исключить возможность самовозбуждения усилителя через источник питания, последний зашунтирован конденсатором С4.

В усилителе использованы постоянные резисторы МЛТ-0,25, переменные — СП-1, конденсаторы К50-6. Транзисторы МП39 можно заменить любыми другими из серии МП39—МП42, транзистор МП38 — любым из серии МП35—МП38, транзистор П213Б — аналогичными транзисторами средней мощности (например, П213—П217) с возможно большим коэффициентом передачи тока. Вместо диода Д9Д подойдет другой диод этой серии. Динамическая головка ВА1 мощностью 3—4 Вт и

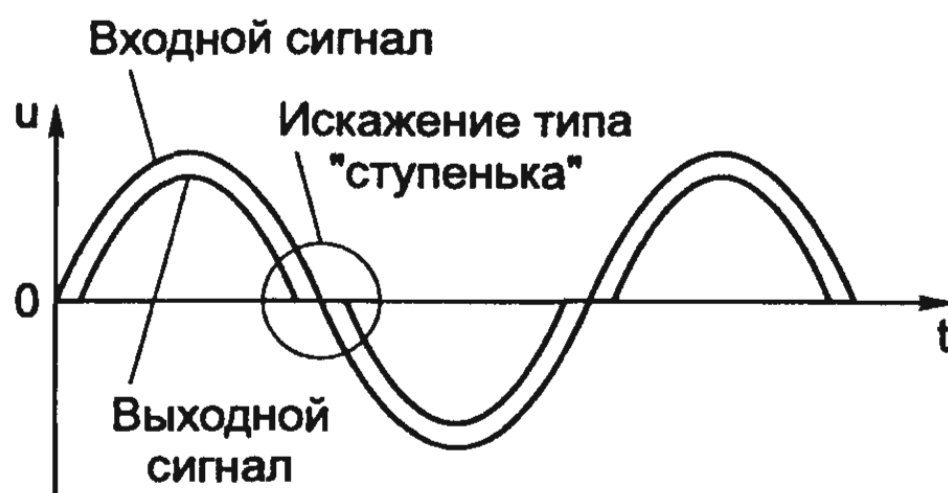


Рис. 3.32. Иллюстрация переходных искажений типа «ступеньки»

сопротивлением звуковой катушки 5...10 Ом. Причем наибольшую выходную мощность, а значит, и громкость звука удастся получить с головкой, обладающей меньшим сопротивлением. Большинство деталей размещены на печатной плате, которая показана на рис. 3.33.

Выходные транзисторы устанавливают на радиаторы, изготовленные по размерам на рис. 3.34 из алюминия толщиной 1,5...2 мм. На радиаторе как можно точнее нужно разметить места отверстий под выводы транзисторов. Поверхность радиатора, с которой должен соприкасаться транзистор, зачищают мелкозернистой наждачной бумагой или лезвием ножа. Выводы эмиттера и базы не должны касаться стенок отверстий. Окончательно транзистор к радиатору прижимают фланцем. Чем лучше контакт между корпусом транзистора и радиатором, тем меньше будет нагрев транзистора и тем большую мощность удастся получить от усилителя.

Хорошим пластинчатым радиатором может быть металлический корпус прибора или его внутренние перегородки. Для обеспечения хорошего теплового контакта необходимо поверхность транзистора, прилежащую к радиатору, смазать невысыхающей смазкой, например силиконовой. Это позволит снизить тепловое сопротивление контакта в полтора-два раза. А если радиатор содержит раковины или другие изъяны, удалить которые невозможно, можно использовать свинцовую прокладку. Для этого пластину свинца аккуратно раскатывают или расплющивают между двумя гладкими плоскими брусками до толщины около 0,5 мм и вырезают прокладку необходимых размеров и формы. Мелкозернистой наждачной бумагой зачищают обе ее стороны, устанавли-

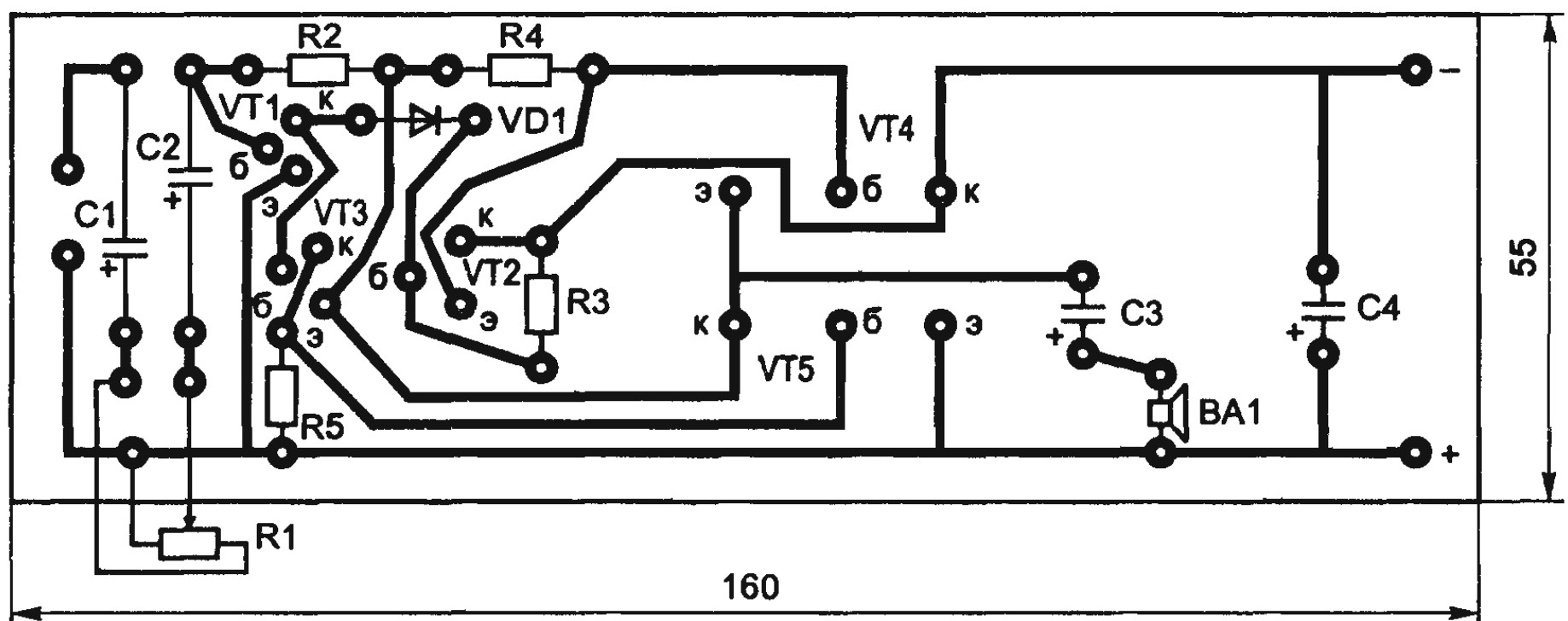


Рис. 3.33. Печатная плата электронной сирены

вают под транзисторы и туго сжимают узел винтами. Прокладка не должна быть толще 1 мм, так как теплопроводность свинца не высока.

Радиаторы с транзисторами крепят к корпусу прибора с помощью отверстий в их отгибах. Платы усилителя и электронной сирены укрепляют в корпусе подходящих размеров. На передней стенке корпуса устанавливают динамическую головку, переменный резистор и выключатель питания. Напротив диффузора головки в стенке вырезают отверстие и закрывают его неплотной тканью. Входные зажимы усилителя и выходные зажимы электронной сирены размещают на задней стенке корпуса.

При налаживании усилителя в первую очередь измеряют напряжение в общей точке соединения эмиттера транзистора VT4 и коллектора транзистора VT5 — оно должно быть равно половине напряжения источника питания. Точнее это напряжение устанавливают подбором сопротивления резистора R2.

Далее проверяют ток покоя коллекторов выходных транзисторов, включив миллиамперметр в цепь коллектора любого из транзисторов. Наилучший режим — не более 20 мА — устанавливают подбором диода. Так, если ток значительно превышает указанное значение, устанавливают диод с меньшим прямым сопротивлением или включают параллельно ему такой же диод. При малом значении тока понадобится диод с большим прямым сопротивлением, либо включить последовательно с диодом резистор и подбором сопротивления резистора установить нужный ток. На этом налаживание заканчивается.

При большой громкости звучания усилитель совместно с электронной сиреной потребляет значительный ток и источника питания из двух батарей хватит на 2...3 часа непрерывной работы. Поэтому включать прибор надо на непродолжительное время.

Переходное искажение типа «ступеньки» можно наблюдать с помощью осциллографа. Для этого подать на вход усилителя с генератора звуковых частот напряжение частотой 1 кГц и такой величины, чтобы выходное напряжение усилителя, т. е. напряжение на эквиваленте нагрузки — резисторе сопротивлением, равным

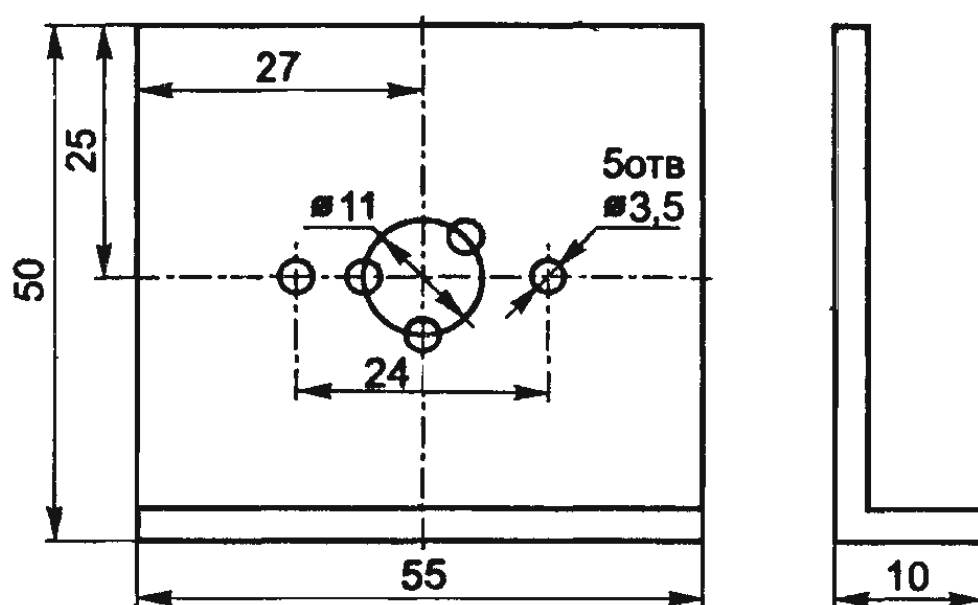


Рис. 3.34. Размеры радиатора для транзистора

сопротивлению динамической головки, — было равно 0,5...1 В. Если теперь замкнуть выводы диода VD1, появятся искажения типа «ступеньки».

3.5.4. Когда напряжение сети нестабильно [1]

Предлагаемое устройство защищает радиоаппаратуру быстрым отключением ее от питающей сети при изменении ее напряжения более допустимых пределов.

Решать описанные проблемы поможет полуавтомат, схема которого приведена на рис. 3.35. Основой предлагаемого полуавтомата служит мощное электромагнитное реле К1. Для питания его обмотки постоянным током применен выпрямительный мост VD1—VD4, подключенный к сети через гасящие конденсаторы С1 и С2. Включают устройство кратковременным нажатием на кнопку SB1. При этом реле К1 срабатывает, а его замыкающиеся контакты К1.1 блокируют контакты пусковой кнопки. Конденсатор С1 обеспечивает необходимый пусковой ток реле при включении. В рабочем режиме реле удерживается током, текущим через конденсатор С2, до напряжения сети не ниже 160 В. При налаживании устройства емкость конденсатора С2 (а иногда и конденсатора С1) приходится подбирать для каждого типа реле индивидуально.

При повышении напряжения сети до 240 В открываются стабилитроны VD7 и VD8. Одновременно срабатывает оптрон U1 и открывается триод VS1, который блокирует цепь питания обмотки реле К1. В результате реле отпускает, его размыкающиеся контакты К1.1 отключают нагрузку устройства от питающей сети переменного тока.

Конденсатор С3, шунтирующий резистор R3 в цепи управления триодом VS1, предотвращает срабатывание защиты от импульсных помех. Резисторы R1, R2 ограничивают броски тока через контакты пусковой кнопки SB1, одновременно являясь «предохранителями» в случае пробоя конденсатора С1 или С2.

Диод VD5 улучшает быстродействие устройства, которое определяется в основном типом примененного реле и составляет доли секунды. Время отпускания реле РЭН33, использованного в описываемом устройстве, не превышает 4 мс, что вполне достаточно для надежного срабатывания защиты. Резистор R5 ограничивает ток, текущий через светодиод оптрона U1. Подбором его (в пределах 8...25 кОм) можно регулировать в небольших пределах

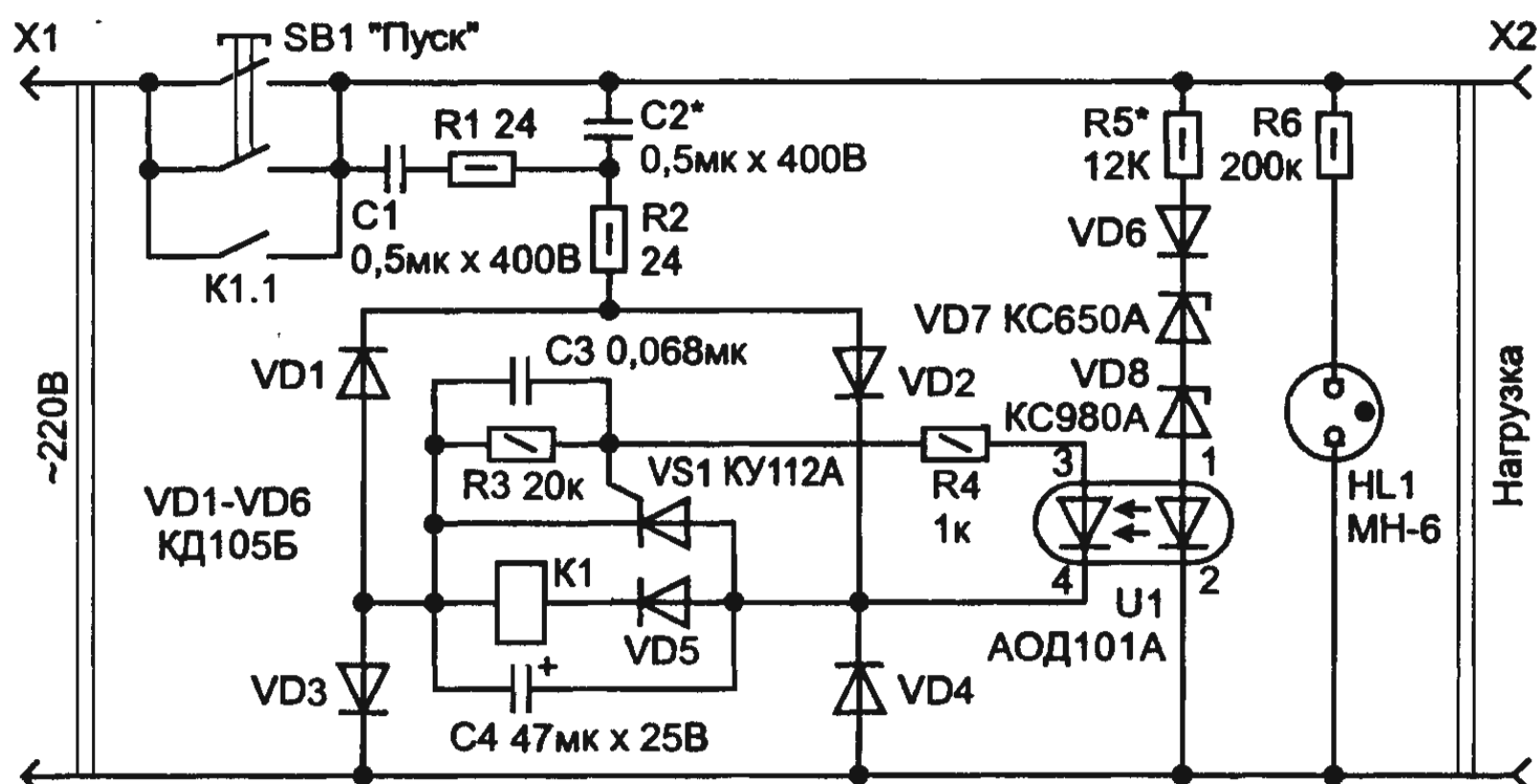


Рис. 3.35. Схема полуавтомата защиты радиоаппаратуры

(5...10 В) порог срабатывания защиты по превышению входного напряжения.

Конструктивно полуавтомат выполнен в виде переносного удлинителя (рис. 3.36). На его лицевой стенке-крышке установлены сетевая розетка X2, кнопочный выключатель SB1 (KM2-1 или П2К без фиксации) и индикатор HL1. Электромагнитное реле (РЭН33), тринистор VS1 и все другие детали смонтированы на печатной плате из одностороннего фольгированного материала, которая размещена в пластмассовом корпусе.

Реле K1 может быть любого типа на рабочее напряжение 12...60 В, а его контакты рассчитаны на ток не менее 2...3 А при

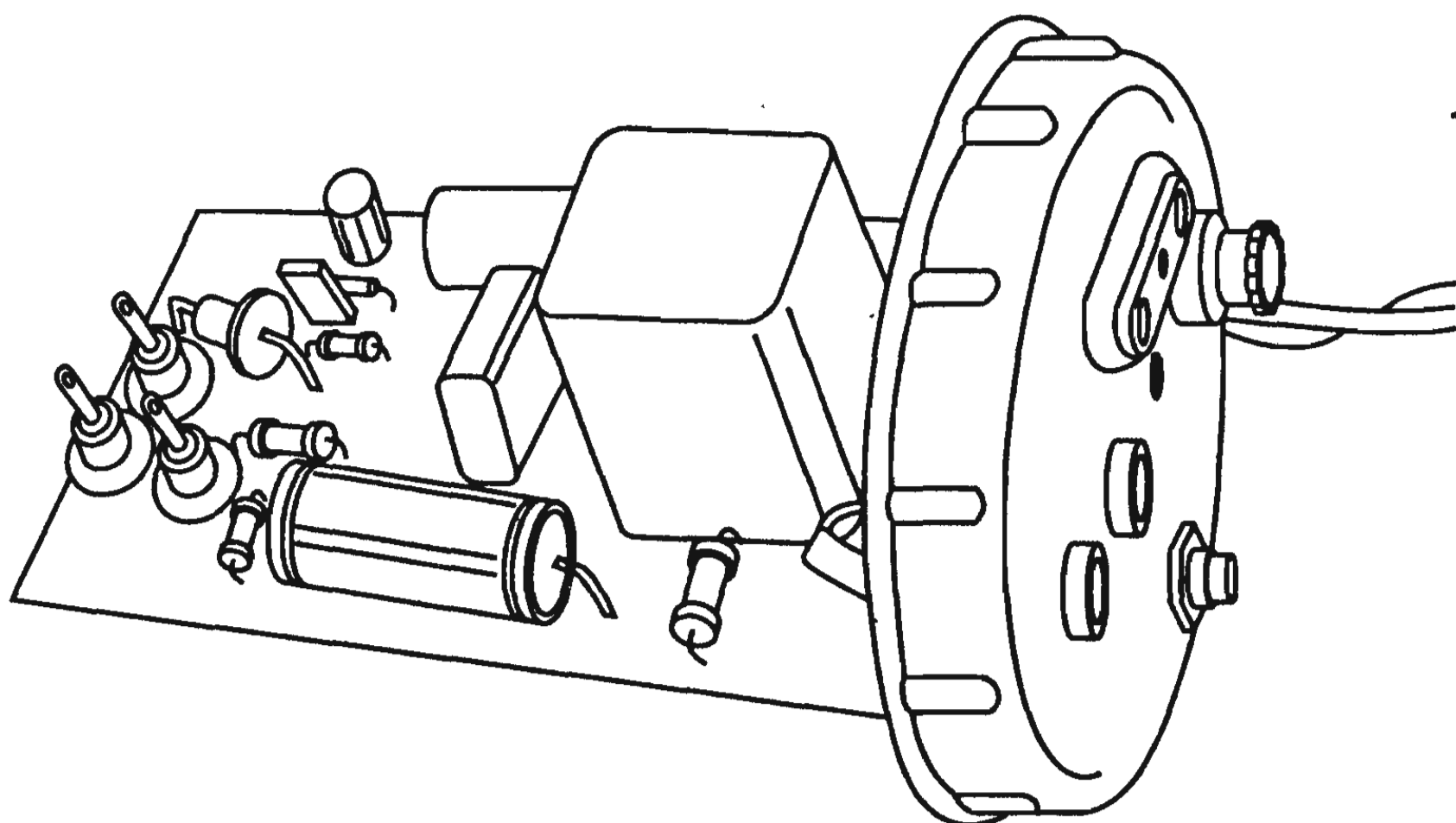


Рис. 3.36. Конструкция полуавтомата

напряжении сети 220 В. При этом, соответственно, должно быть и номинальное напряжение конденсатора С4.

Конденсаторы С1 и С2 — К73, МБМ, МБГО на номинальное напряжение не менее 350 В (С2 лучше на 400 В). Стабилитроны VD7 и VD8 заменимы на аналогичные, суммарное напряжение стабилизации которых может быть от 310 до 340 В при токе 10...12 мА. При меньшем суммарном напряжении стабилизации этих приборов (250...300 В) резистор R5 должен быть сопротивлением 30...47 кОм и большей рассеиваемой мощности. В этом случае увеличится неустойчивости порога срабатывания защиты.

Диодный оптрон АОД101А (U1) допустимо заменить транзисторным серии АОТ110 или АОТ127, соединив резистор R4 с эмиттером фототранзистора, анод тринистора VS1 — с выводом его коллектора, а между базой и эмиттером установить резистор сопротивлением 1 МОм. При этом и тринистор может быть с большим током управления, например, серии КУ201 или КУ202.

Налаживание устройства сводится в основном к подбору конденсаторов С2 и С1. Подбирая первый из них, добиваются отключения устройства при снижении напряжения сети до 160-170 В, а второй — надежного включения пусковой кнопкой SB1. Не исключен и подбор резистора R5 — для обеспечения надежного срабатывания системы защиты при напряжении сети, превышающем 240...250 В. При настройке не следует забывать о мерах электробезопасности — ведь все элементы устройства гальванически связаны с электросетью повышенной опасности.

В заключение несколько практических советов, связанных с возможными изменениями в самом устройстве защиты.

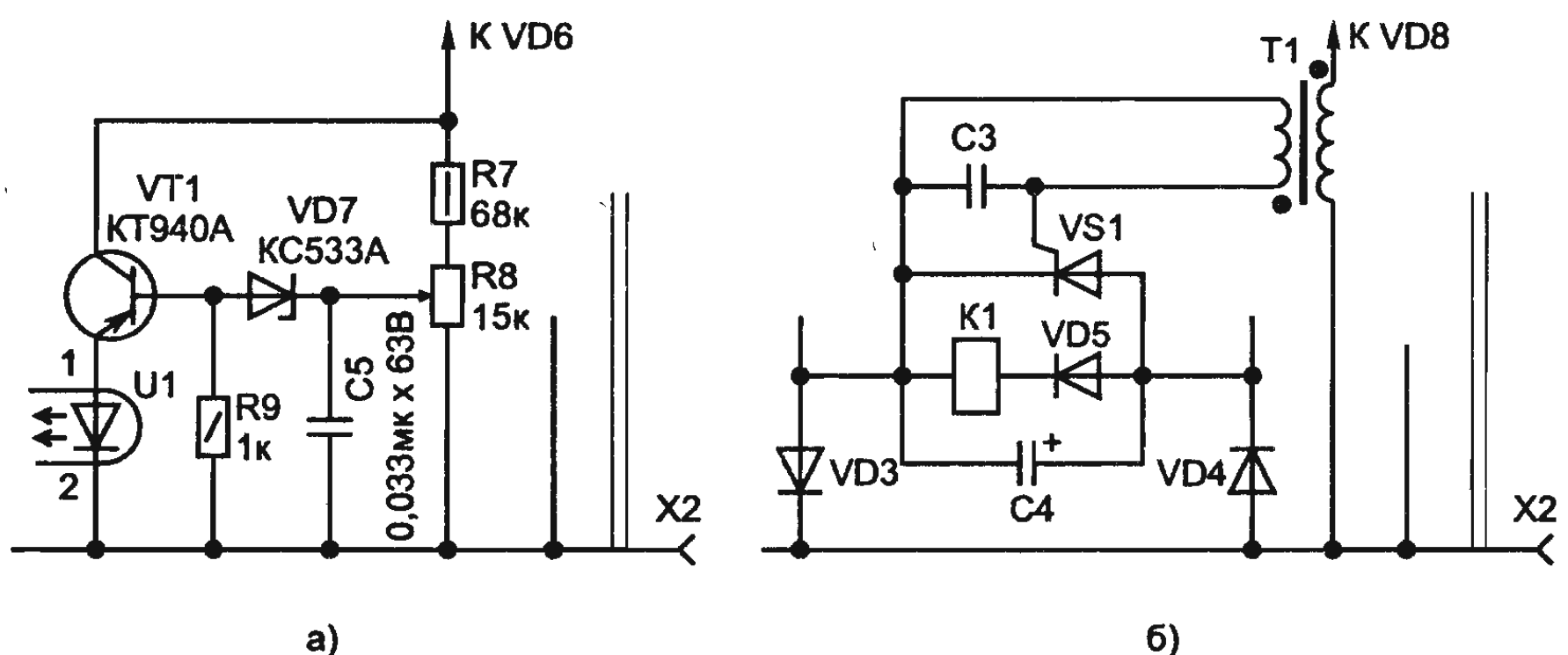


Рис. 3.37. Некоторые возможные изменения в конструкции полуавтомата

Если возникнут трудности с подбором высоковольтных стабилизаторов VD7 и VD8, то возможно применение одного стабилизатора КС533А с дополнительным транзистором КТ940А, как показано на рис. 3.37,а. Переменным резистором R8 устанавливают напряжение порога срабатывания системы защиты. Однако ее надежность при этом несколько снизится, так как транзистор VT1 может «уходить на обрыв», и устройство не отключит нагрузку в случае превышения входного переменного напряжения. Стабилизаторы же, как правило, выходят из строя на «замыкание», и это приводит лишь к отключению нагрузки.

Устройство удастся упростить, если заменить триод VS1 и оптрон U1 оптотиристором соответствующей мощности — с выходным импульсным током не менее 1 А, например, серии АОУ160. Полуавтомат с таким оптроном должен надежно блокировать по питанию обмотку реле К1 быстрой разрядкой конденсатора С4. Наиболее распространенный оптрон серии АОУ103 выдерживает импульсный ток значением до 0,5 А, которого может оказаться недостаточно для надежной работы устройства.

Вообще же оптрон можно заменить маломощным импульсным трансформатором. Подойдет, например, согласующий трансформатор усилителя ЗЧ переносного транзисторного радиоприемника или аналогичный, обмотки которого содержат по 150...300 витков провода ПЭВ-2 0,15...0,3. Обмотку с меньшим числом витков подключают к цепи управления триодом VS1 (рис. 3.37, б), а обмотку с большим числом витков — вместо излучающего диода оптрона U1. Резисторы R3 и R4 в этом случае из устройства удаляют.

Для надежной работы устройства в качестве SB1 следует установить кнопку, рассчитанную на полный пусковой ток защищаемого устройства. В цепь анода тиристора VS1 желательно установить ограничительный резистор сопротивлением порядка 10 Ом, он предохранит тиристор от возможного пробоя разрядным током конденсатора С4.

3.5.5. Тиристорный регулятор напряжения

Этот прибор позволяет регулировать напряжение на активной нагрузке в пределах от нескольких десятков вольт до 220 В при нагрузке мощностью 251000 Вт.

Принципиальная схема регулятора приведена на рис. 3.38.

Тринисторы VS1 и VS2 включены навстречу друг другу — параллельно между собой и последовательно с нагрузкой; они поочередно пропускают ток то в одном, то в другом направлении. При включении регулятора в сеть в первый момент оба тринистора закрыты и конденсаторы C1, C2 заряжаются через переменный резистор R5.

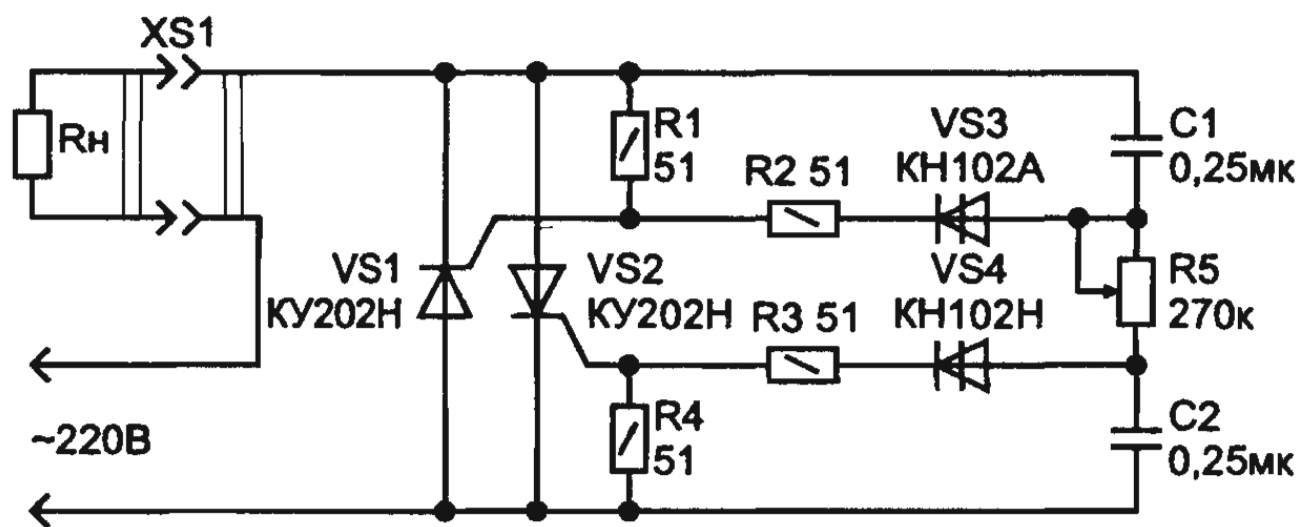


Рис. 3.38. Принципиальная схема тиристорного регулятора напряжения

Выходное напряжение устанавливают с помощью переменного резистора R5, который совместно с конденсаторами C1, C2 образует фазосдвигающую цепочку. Тринисторы управляются импульсами, формируемыми с помощью динисторов VS3, VS4.

Если тринисторы VS1, VS2 установить на радиаторы, то можно увеличить нагрузку до 1,5 кВт.

В некоторый момент времени, который определяется сопротивлением включенной в цепь части резистора R5, когда напряжение на конденсаторах станет равным напряжению включения $U_{вкл}$ динистора, открывается один из динисторов (какой именно, зависит от полярности полупериода) и параллельно конденсатору, например C2, подключается цепочка из двух резисторов R3, R4. На резисторе R4 появляется скачок напряжения, равный половине напряжения переключения (≤ 5 В). Напряжение на конденсаторе U_{C2} распределяется между резисторами R3, R4 и динистором VS4. Этот скачок напряжения включит тринистор VS2, и через нагрузку потечет ток. Отключается указанный тринистор в начале отрицательного полупериода сетевого напряжения; тогда же начинается новый цикл зарядки конденсаторов, но уже в обратной полярности. Теперь открывается второй динистор и второй тринистор.

Резисторы R1, R4, каждый по 51 Ом, рекомендуется подключать в цепь управления для повышения надежности работы три-нистов.

Особенность работы этой схемы состоит в том, что в ней используются оба полупериода переменного тока.

При использовании диристов типа КН102Б или КН102В емкости конденсаторов C1, C2 надо уменьшить до 0,2 мкФ и 0,15 мкФ соответственно. Напряжения переключения для них равны 7 В и 10 В соответственно. Конденсаторы любые малогабаритные на напряжение не менее 300 В. Постоянные резисторы типа МЛТ или ВС, переменный резистор типа СП2-2-1.

3.5.6. Два варианта включения ламп дневного света [2]

Традиционные элементы пускового устройства лампы дневного света (ЛДС) — дроссель и стартер. При выходе из строя или отсутствии этих деталей можно воспользоваться предлагаемыми вариантами включения ЛДС с использованием доступных элементов.

На рис. 3.39,а приведена схема пускового устройства, для которого понадобится повышающий трансформатор и включенный последовательно с ним бумажный конденсатор емкостью 12...25 мкФ на напряжение не менее 350 В. Трансформатор можно намотать на магнитопроводе сечением 2 см². Его обмотка I должна содержать 500 витков провода ПЭВ-2 0,8...0,9, а обмотка II — 2800 витков провода ПЭВ-2 0,25...0,3.

В качестве трансформатора подойдет любой готовый понижающий с напряжением на вторичной обмотке 12...36 В (например, выходной трансформатор кадровой развертки телевизора ТВК-110ЛМ)

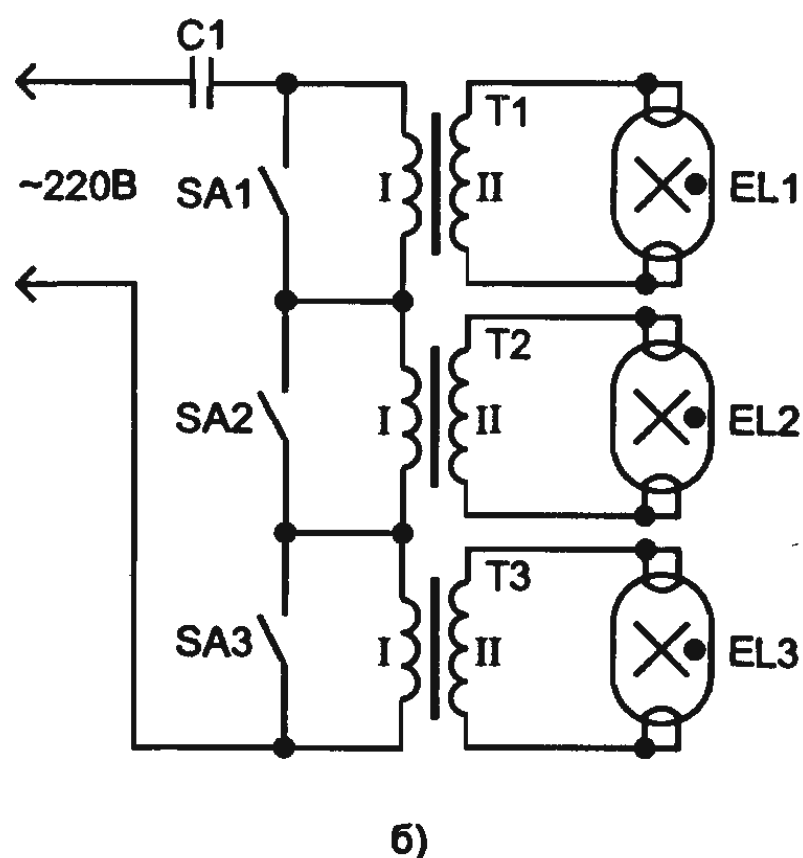
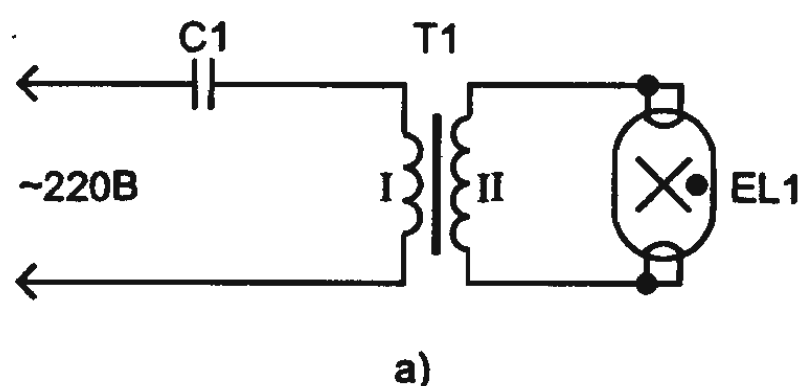


Рис. 3.39. Два варианта включения ламп дневного света

и мощностью не менее 5 Вт. Его первичная обмотка используется как обмотка II, а вторичная — как I.

Емкость конденсатора не изменяют при включении в сеть нескольких (до пяти) ЛДС, соединив последовательно обмотки I их трансформаторов (рис. 3.39, б). Параллельно обмоткам подпаивают выводы выключателей, которыми можно зажигать одну, две или все лампы.

При необходимости к обмоткам II допустимо подключать две последовательно соединенные ЛДС мощностью по 20 Вт или одну мощностью 40 Вт.

3.6. ПОЛЕЗНЫЕ СОВЕТЫ

3.6.1. Определение назначения обмоток сетевого трансформатора

Если требуется определить назначение обмоток трансформатора транзисторного приемника, магнитофона или магнитолы, то в первую очередь определяют сетевую обмотку, которая содержит большее число витков и поэтому обладает высоким сопротивлением. Обмотку меньшего сопротивления, обычно не превышающего 10,8 Ом, считают вторичной (понижающей).

При отсутствии омметра сетевую обмотку находят с помощью компаса. Выполняется это так. Устанавливают рядом с трансформатором или кладут прямо на его сердечник обыкновенный компас, присоединяя поочередно к выводам обмоток гальванический элемент или батарею, и наблюдают за стрелкой компаса. Та обмотка, которая отклоняет стрелку на больший угол, и представляет собой сетевую обмотку.

3.6.2. Определение числа витков обмоток сетевого трансформатора

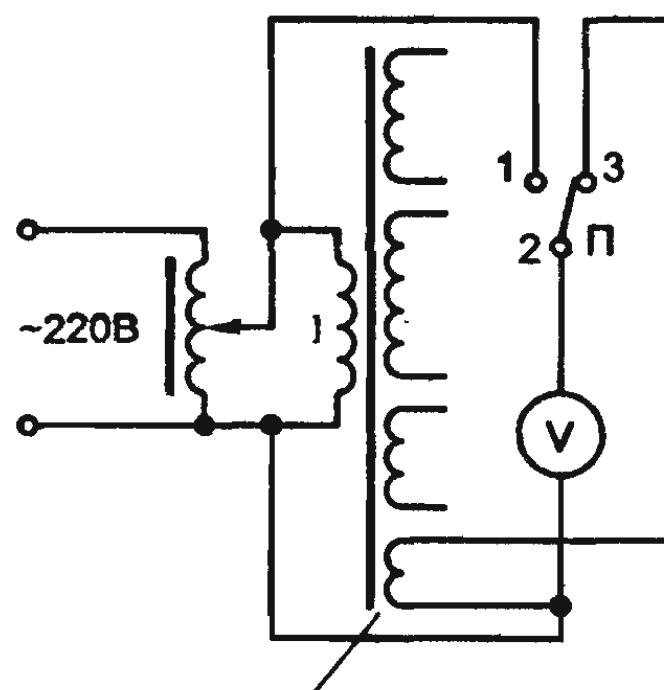
Обмотать боковые стержни сердечника одним-двумя слоями бумаги, осторожно продевая провод, намотать на катушку трансформатора поверх имеющихся обмоток еще одну дополнительную обмотку. Число витков $w_{\text{доп}}$ обмотки желательно взять не менее 25, а в качестве обмоточного провода применить любой изолированный провод диаметром 0,15...0,51 мм. Затем собрать схему, изображенную на рис. 3.40, и установить с помощью ав-

тот трансформатора такое напряжение на первичной обмотке 1, при котором показание вольтметра равно $U_{\text{доп}} = 46$ В. Перевести переключатель в положение 2-1 и записать второе показание U_1 вольтметра.

Вычислить число витков обмотки w_1 по формуле:

$$w_1 = w_{\text{доп}} \frac{U_1}{U_{\text{доп}}}$$

После определения w_1 нетрудно таким же способом вычислить число витков и других обмоток.



Дополнительная обмотка

Рис. 3.40. Схема для определения числа витков сетевого трансформатора

3.6.3. Нахождение обмотки с большим числом витков

Если об обмоточных проводах трансформатора ничего не известно и сопротивления обмоток не сильно отличаются друг от друга, то обмотку трансформатора, содержащую большее число витков O_6 , находят следующим образом.

Для этого следует иметь гальванический элемент и миллиамперметр или вольтметр. Присоединяют к одной из обмоток (например, АВ) гальванический элемент, а к другой (СD) — миллиамперметр (рис. 3.41) с предельным значением тока 1 мА. Источник напряжения и прибор подключают к обмоткам так, чтобы при включении элемента стрелка миллиамперметра отклонялась влево, а при отключении — вправо.

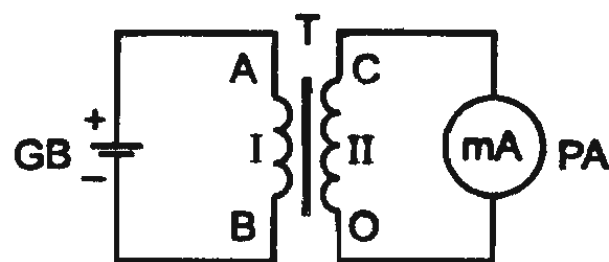


Рис. 3.41. Схема для нахождения обмотки трансформатора с большим числом витков

Замкнув и разомкнув контур I, меняют местами гальванический элемент и миллиамперметр и размыкают контур II.

Обмотку O_6 определяют по величине угла отклонения стрелки. Этот угол больше в том случае, если миллиамперметр присоединён к обмотке O_6 .

3.6.4. Электродвигатель станет сильнее

Увеличение паспортной мощности на 15% достигается с помощью регулируемого по напряжению выпрямительного блока. Благодаря ему устраняются потери, связанные с перемагничиванием сердечника, что существенно уменьшает вероятность выхода из строя двигателей от перегрузок, увеличивает срок их службы. В качестве регулятора предлагается схема с использованием тиристоров типа 2У202М, 2У202Н, КУ202М, КУ202Н либо с буквенным обозначением К или Л (рис. 3.42).

В мостовой схеме выпрямителя используются диоды Д245А, Д246А, но можно Д245, Д246, Д245В, Д247. Резистор R1 — составной.

В качестве индикатора включения аппарата используется неоновая лампа МН-9. В схеме применены три выключателя тумблерного типа ТП1-2.

Изменяя потенциометром R3 напряжение на управляющем электроде тиристора VS1, регулируем ток, проходящий через тиристор VS1, а следовательно, и ток, проходящий через мост. В схеме предусмотрено подключение для двух видов нагрузки: R_{н1} и R_{н2}. Первая предназначена для потребителей переменного тока, а вторая — постоянного. Нагрузку, например, дрель включаем в один из обозначенных разрывов цепи: R_{н1} или R_{н2}. Соответственно, надо накоротко замкнуть свободный разрыв цепи выключателем SA2 или SA3. В первом случае вращением потенциометра R3

изменяем частоту вращения дрели, во втором — изменяем и частоту вращения и мощность коллекторного электродвигателя.

Наладка собранной схемы производится с помощью регулирования двух резисторов R1 и R3 при подключенной нагрузке. Вместо R1 временно можно поставить переменный резистор сопротивлением 20 кОм. Движок его ставится в среднее положение. И далее, перемещая движок, следует добиться вращения электро-

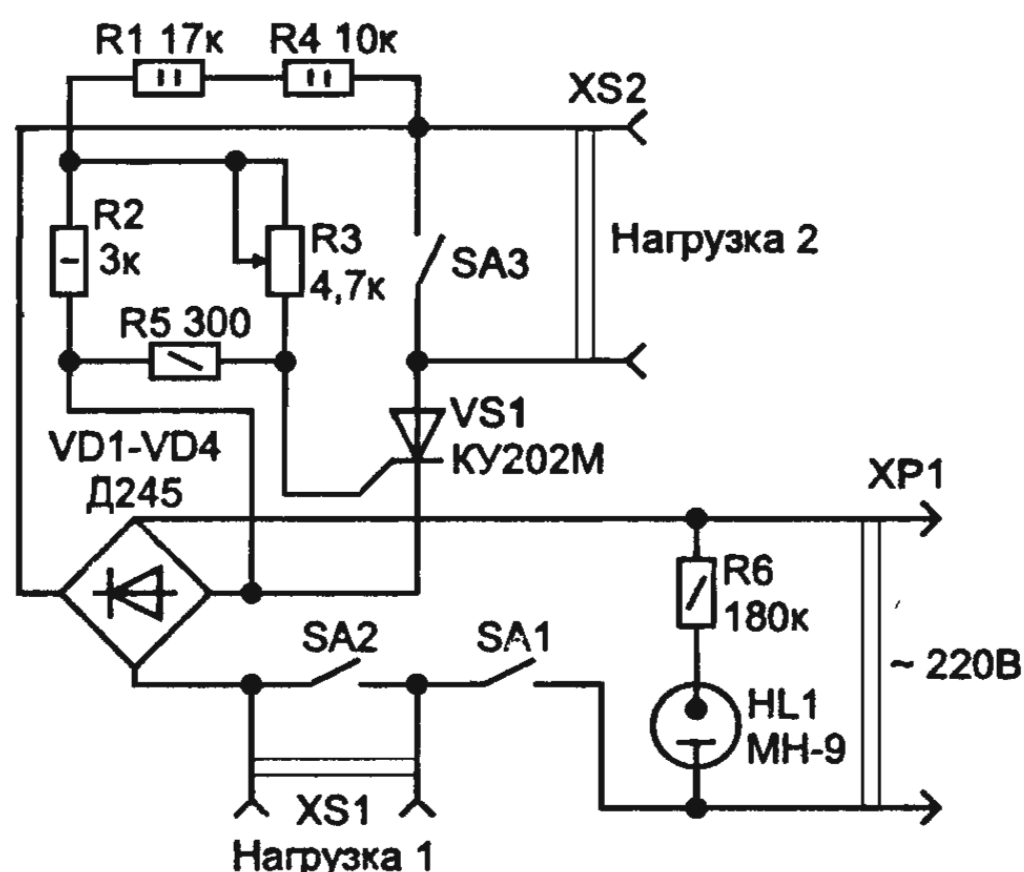


Рис. 3.42. Схема регулятора напряжения для электродрели

двигателя под нагрузкой от максимальных до минимальных оборотов. Затем надо заменить переменный резистор постоянным.

Регулятор напряжения собирается на текстолитовой плате и размещается в подходящем корпусе сетевого удлинителя с выводом ручки потенциометра R3 наружу.

3.6.5. Устройство для намагничивания магнитов [3]

Устройство работает следующим образом (рис.3.43). После включения питания начинается заряд накопительного конденсатора C1 через цепочку VD2, R5, R6, VD1. Через 15...20 сек загорается индикатор HL1 «Готов», сигнализирующий о том, что напряжение на C1 достигло рабочей величины (120 В). Теперь можно нажать кнопку SB1, через тиристор VS1 и катушку-соленоид L1 происходит разряд конденсатора C1. Импульс тока, прошедший через L1, создает магнитное поле, которое намагничивает заготовку из магнитного материала, находящуюся внутри соленоида.

Катушка L1 может иметь различную форму и число витков, а также может быть снабжена сердечником необходимой формы из ферромагнитного материала. В данном случае катушка L1 имеет 20 витков провода МГШВ-0,35 на сердечнике из электротехнической стали, заготовки из сплава ЮНД4 в ней намагничиваются до уровня 30...50 мТл.

Очевидно, что изменив номиналы элементов схемы, можно добиться других уровней остаточной индукции, например, увеличения намагниченности можно добиться, увеличив емкость конденсатора C1 и сопротивление резистора R3.

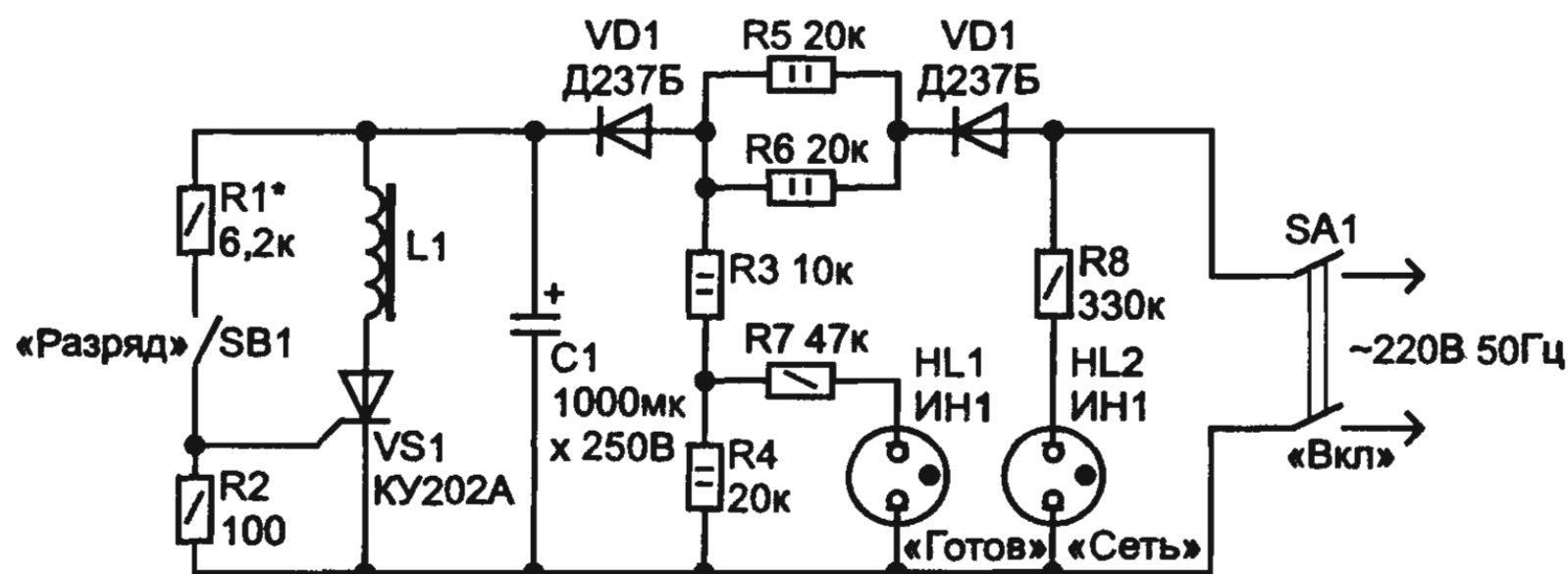


Рис. 3.43. Схема устройства для намагничивания магнитов

Налаживание устройства состоит в подборе сопротивления резистора R1 до максимально возможной величины, при которой надежно открывается и затем закрывается тиристор VS1 (после зажигания индикатора «Готов» и нажатия и отпускания кнопки «Разряд»).

3.6.6. Как размагнитить инструмент

Конструкция, о которой пойдет разговор, не столько демонстрационное пособие, сколько полезный прибор для школы, кружка, дома. Ведь вам часто приходится пользоваться инструментом из магнитного материала, и вы наверняка замечали, что со временем он становится постоянным магнитом — начинает притягивать мелкие предметы и детали: гайки, шайбы, винты. А это неудобно для работы, следовательно, инструмент нужно размагничивать.

Для этой цели служит приспособление, показанное на рис. 3.44,а. Оно состоит из катушки индуктивности L1, понижающего трансформатора T1 и кнопочного выключателя SB1. Электрическая схема соединений деталей приведена на рис. 3.44,б. Когда на катушку подают питающее напряжение, катушка создает переменное магнитное поле — оно и размагничивает инструмент.

Из плотной бумаги склейте каркас катушки толщиной 1,5...2 и длиной 80 мм. Внутренний диаметр каркаса 30...35 мм. По краям каркаса установите щетки толщиной 5...6 и диаметром 80 мм.

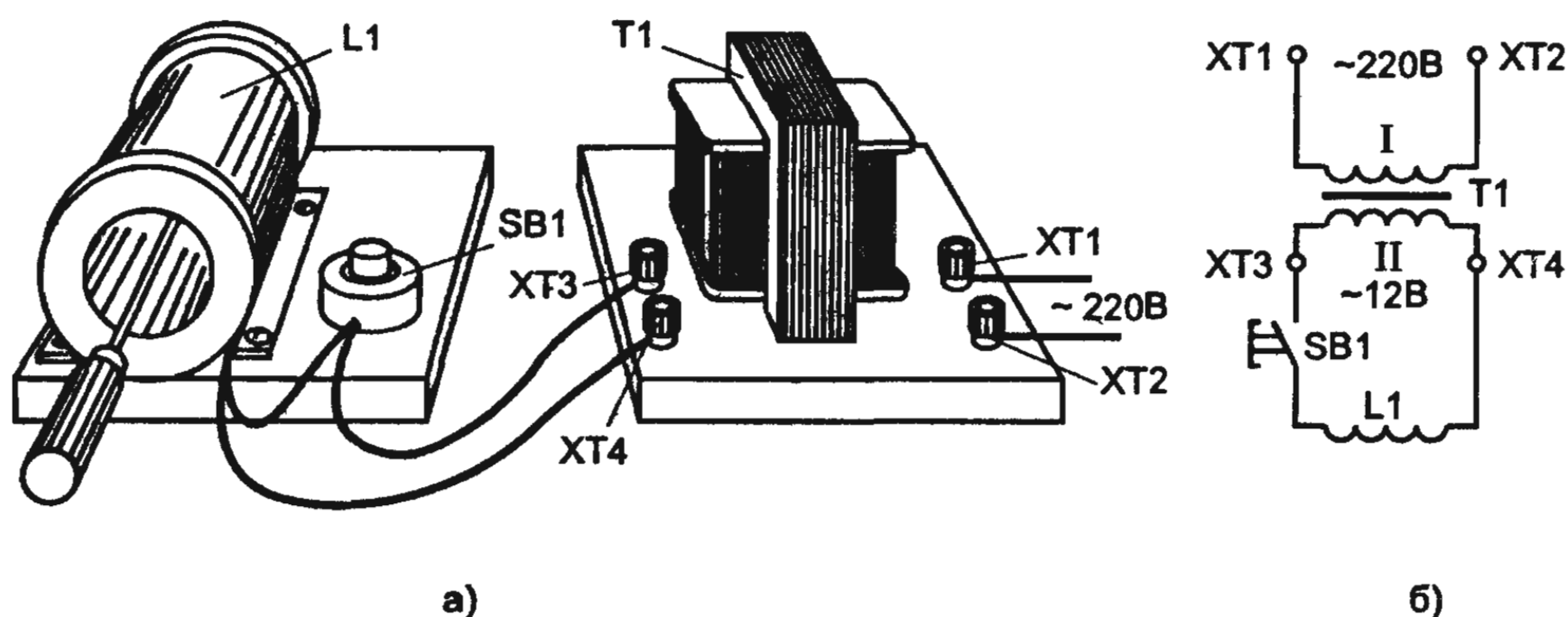


Рис. 3.44. а) Приспособление для размагничивания инструмента
б) схема устройства для размагничивания инструмента

На каркас намотайте обмотку — примерно 1000 витков провода ПЭЛ или ПЭВ диаметром 0,7...0,9 мм. Сопротивление такой обмотки будет около 8 Ом.

Понижающий трансформатор — любой конструкции, с напряжением на обмотке II 10...15 В при токе нагрузки до 2 А.

Включив установку в сеть, нажмите кнопку выключателя и введите внутрь каркаса катушки, например, отвертку. Подержите ее 10...15 с, а затем выключите установку. Если отвертка не успела размагнититься, операцию повторите.

При отсутствии намагниченных инструментов можете взять, скажем, толстый гвоздь, намагнитить его с помощью постоянного магнита, а затем размагнитить на установке. Индикатором степени намагниченности и эффекта размагничивания допустимо использовать компас.

3.7. ЗАДАЧИ

1. Сила тока в паяльнике 0,9 А при напряжении 220 В. Определите мощность тока в паяльнике и сопротивление обмотки паяльника.

2. Определите сопротивление электрической лампы, на баллоне которой написано: 220 В, 100 Вт.

3. У какой лампы сопротивление нити накала больше: мощностью 50 Вт или 100 Вт, если они рассчитаны на одинаковое напряжение?

4. Сопротивление какой цепи переменному току больше, во сколько раз и почему (рис. 3.45, а, б)?

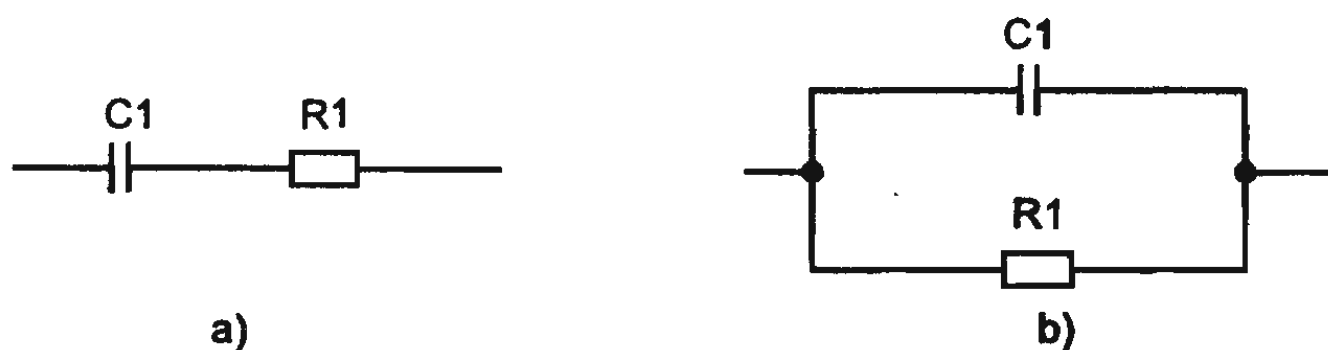


Рис. 3.45. Сопротивление какой цепи переменному току больше, во сколько раз и почему?

5. При каких соотношениях X_C и X_L (рис. 3.46, б) в цепи будет резонанс напряжения (считать, что $R < X_C$, $R < X_L$)?

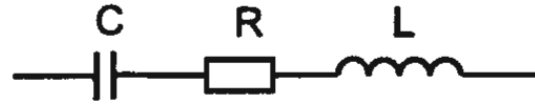


Рис. 3.46. При каких соотношениях X_C и X_L в цепи будет резонанс напряжения

6. На рис. 3.47 показан трансформатор и приведены значения напряжений и сила токов во вторичных обмотках. Укажите все возможные варианты соединения вторичных обмоток трансформатора, величины напряжений и допустимую силу токов в полученных обмотках.

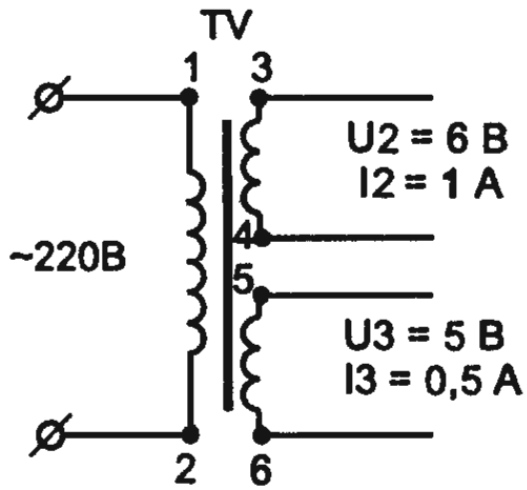


Рис. 3.47. Указать все возможные варианты соединения вторичных обмоток трансформатора

Глава 4

Полупроводниковые приборы

К полупроводникам относят вещества, занимающие по величине удельного электрического сопротивления (или проводимости) промежуточное положение между проводниками (металлами) и диэлектриками (табл. 4.1). Характерным признаком полупроводников, выделяющим их в особый класс веществ, является сильная зависимость их электропроводности от концентрации примесей и энергетических воздействий (температуры, света и др.). Например, даже при небольшом повышении температуры проводимость полупроводников резко возрастает (около 5% на 1°C), тогда как у металлов проводимость снижается, причем незначительно (на десятые доли процента на 1°C). Введение в полупроводник даже небольшого количества легирующих примесей (около 10%) существенно увеличивает его проводимость. В электронике находит применение лишь ограниченное число известных полупроводников — германий, кремний, арсенид галлия. Бор, фосфор, мышьяк и другие используют в качестве легирующих примесей. Большинство полупроводниковых диодов изготавливаются на основе кремния.

Таблица 4.1

Параметры	Проводники	Полупроводники	Диэлектрики
ρ , Ом·см	$<10^{-4}$	$10^{-4} - 10^{-10}$	$>10^{10}$
σ , Ом/см	$>10^4$	$10^4 - 10^{-10}$	$<10^{-10}$

Полупроводники, применяемые в электронике, имеют монокристаллическую структуру. Это значит, что по всему их объему атомы размещены в строго периодической последовательности на определенных постоянных расстояниях друг от друга, образуя кристаллическую решетку. В такой идеальной кристаллической решетке все электроны связаны со своими атомами, поэтому такая структура не проводит электрический ток. Однако в полупроводниках сравнительно небольшие электрические воздействия (на-

грев, облучение) приводят к отрыву некоторых электронов от своих атомов. Такие электроны называют электронами проводимости. Они перемещаются по кристаллической структуре и улучшают ее электропроводность. При уходе электрона из атома в кристаллической решетке образуется незаполненная связь (дырка). Ей присущ нескомпенсированный положительный заряд, равный по величине заряду электрона. Это приводит к хаотическому возникновению дырок в связях других атомов, что эквивалентно хаотическому перемещению положительных зарядов. При наличии внешнего электрического поля дырка будет двигаться в направлении, определяемом силами поля, в кристалле возникает электрический ток. Движение электронов и дырок в полупроводнике обуславливает его собственную электропроводность. Она мала, ее можно улучшить, вводя в монокристалл легирующие примеси. Практически не существует полупроводников с чисто электронной или чисто дырочной проводимостью. Электропроводность полупроводников определяется основными носителями заряда, концентрация которых намного больше концентрации неосновных носителей. По функциональным возможностям полупроводниковые приборы можно разделить на три основных класса: диоды, транзисторы и тиристоры.

Диод (рис. 4.1) представляет собой пассивный нелинейный полупроводниковый прибор с двумя электродами — анодом и катодом.



Рис. 4.1. Полупроводниковый диод

Он проводит ток в прямом направлении, когда к аноду приложен положительный потенциал, а к катоду — отрицательный, и не проводит ток в обратном направлении. Пассивным он называется потому, что не усиливает мощность передаваемого сигнала.

Транзистор (рис. 4.2) это полупроводниковый прибор с тремя электродами, который может усиливать сигнал по мощности.



Рис. 4.2. Биполярный транзистор

Тиристор (рис. 4.3) это управляемый полупроводниковый прибор, который используется только в ключевом режиме (открыт — закрыт).



Рис. 4.3. Тиристор

Рассмотрим более подробно эти полупроводниковые приборы.

4.1. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ДИОДЫ

Слово «диод» образовано от греческих слов «ди» — два и сокращенного «(электр)од». До сих пор мы изучали линейные элементы — резисторы, конденсаторы, катушки индуктивности. Это значит, что при удвоении приложенного к ним напряжения сила тока тоже удваивается. Вольт-амперная характеристика (ВАХ) этих элементов является прямой линией. Диод является нелинейным элементом, поэтому его ВАХ нелинейная (рис. 4.4).

Обратный ток для диодов общего назначения измеряется в долях микроампер (обратите внимание на разный масштаб измерений прямого и обратного тока!), его обычно не принимают во внимание до тех пор, пока обратное напряжение не достигнет значения напряжения пробоя. В этом случае обратный ток диода возрастает до значительных, соизмеримых с прямым током, и диод выходит из строя.

Прямой ток резко возрастает при малых положительных напряжениях $U_{ак}$, однако он не должен превышать определенного максимального значения $I_{макс}$, так как иначе произойдет перегрев и диод выйдет из строя.

На рис. 4.5 приведена ВАХ германиевого и кремниевого диодов для положительных напряжений. Следует иметь в виду (см. рис. 4.5), что германиевые диоды открываются в прямом направлении при напряжении 0,2...0,4 В, а кремниевые — при 0,6...0,8 В, и что германиевые диоды имеют меньшее сопротивление в прямом направлении чем кремниевые. И еще следует отметить: с повышением температуры и прямой и обратный токи увеличиваются.

По диапазону частот, в котором могут работать диоды, их подразделяют на низкочастот-

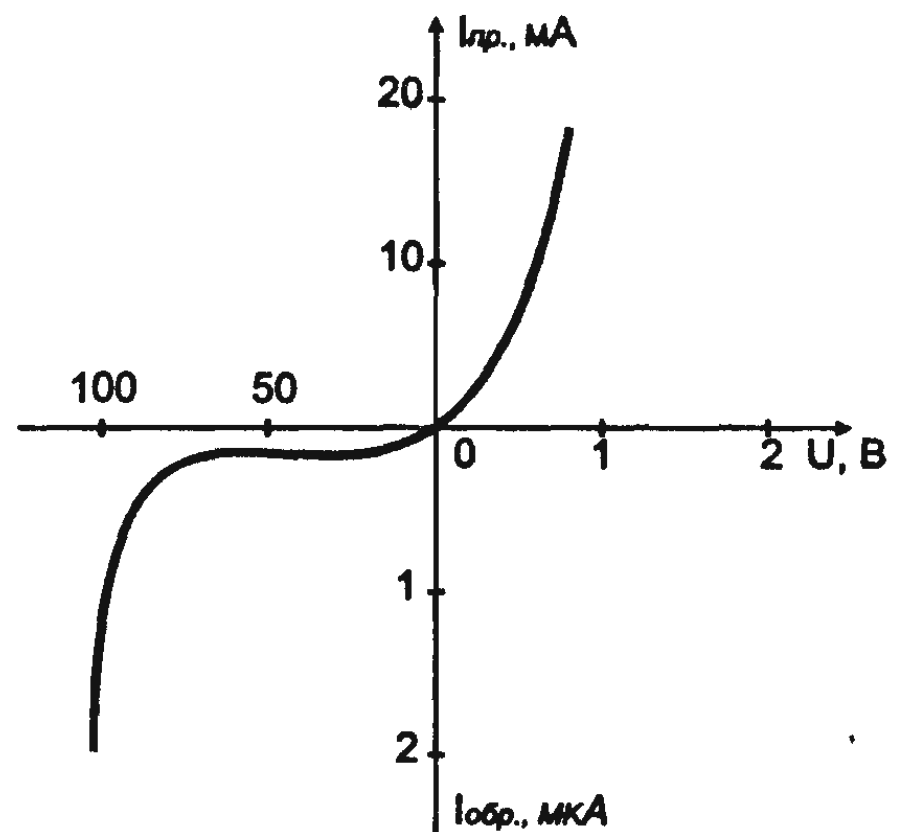


Рис. 4.4. Вольт-амперная характеристика диода

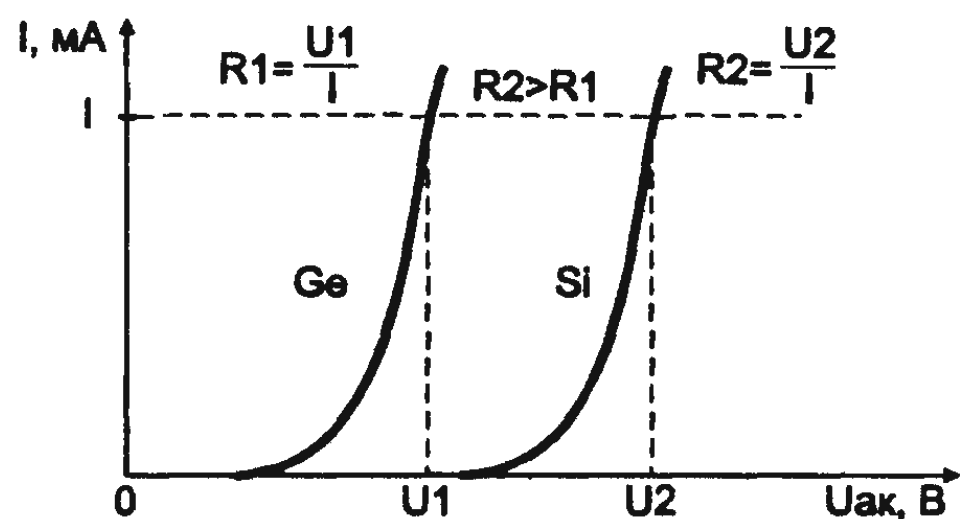


Рис. 4.5. ВАХ германиевого и кремниевого диодов

ные (НЧ) и высокочастотные (ВЧ). По назначению НЧ диоды подразделяют на выпрямительные, стабилизирующие, импульсные, а ВЧ диоды — на детекторные, смесительные и другие.

Рассмотрим параметры диодов. Различают параметры номинального и предельного режимов работы. Номинальное значение параметра соответствует нормальному режиму работы. Параметры предельного режима характеризуют их максимально допустимые значения, при которых обеспечивается надежность прибора при длительной работе.

Здесь рассмотрим параметры наиболее широко распространенных групп выпрямительных (используемых для выпрямления переменного тока) и универсальных (используемых в качестве выпрямителей переменного тока высоких и низких частот, умножителей и преобразователей частоты, детекторов больших и малых сигналов и т. д.) диодов. Диоды применяют в цепях как постоянного, так и переменного тока.

Средний выпрямленный (прямой) ток $I_{пр}$ представляет собой ток (среднее значение за период), проходящий через диод, при котором обеспечивается его надежная и длительная работа. Значение этого тока ограничивается максимальной мощностью $P_{макс}$, рассеиваемой диодом. Превышение этого тока ведет к тепловому пробую и повреждению диода.

Прямое падение напряжения $U_{пр.ср}$ — среднее значение за период на диоде при прохождении через него допустимого прямого тока.

Допустимое обратное напряжение $U_{обр}$ — среднее значение за период, при котором обеспечивается надежная длительная работа диода. Превышение обратного напряжения приводит к пробую и выходу диода из строя. С повышением температуры значения обратного напряжения и прямого тока снижаются.

Обратный ток $I_{обр}$ — среднее значение за период обратного тока при допустимом $U_{обр}$. Чем меньше обратный ток, тем лучше выпрямительные свойства (свойства односторонней проводимости) диода. Повышение температуры на каждые 10°C приводит к увеличению обратного тока у германиевого и кремниевого диодов в 1,5...2 раза и более.

Максимальная постоянная, или средняя за период, мощность $P_{макс}$, рассеиваемая диодом, при которой он может длительно работать, не изменяя своих параметров.

Предельный режим использования диодов характеризует максимально допустимое обратное напряжение $U_{обр.макс}$ и максимальный выпрямленный ток $I_{пр.макс}$.

Основные параметры наиболее распространенных диодов приведены в таблице 4.2.

Таблица 4.2.
Основные параметры выпрямительных и универсальных диодов

Диод	Максим. допустимый средний выпрямленный ток, $I_{\text{выпр. макс}}$, А	Макс. допустимое постоянное обратное напряжение, $U_{\text{обр. макс}}$, В	Диод	Макс. допустимый средний выпрямленный ток, $I_{\text{выпр. макс}}$, А	Макс. допустимое постоянное обратное напряжение, $U_{\text{обр. макс}}$, В
Выпрямительные					
Д226Б	0,3	400	Д202	0,4	100
Д226В	0,3	300	Д203	0,4	200
Д226Г	0,3	200	Д204	0,4	300
Д226Д	0,3	100	Д205	0,4	400
Д7А	0,3	50	Д302	1,0	200
Д7Б	0,3	100	Д303	3,0	150
Д7В	0,3	150	Д304	5,0	100
Д7Г	0,3	200	Д243	10,0	200
Д7Д	0,3	300	Д243Б	5,0	200
Д7Е	0,3	350	Д245	10,0	300
Д7Ж	0,3	400	Д246	10,0	400
Универсальные					
Д2Б	0,016	10	Д9Д	0,080	30
Д2В	0,025	30	Д9Е	0,054	50
Д2Г	0,016	50	Д9Ж	0,038	100
Д2Д	0,016	50	Д9И	0,080	120
Д2Е	0,016	100	Д9К	0,080	60
Д2Ж	0,008	150	Д311*	0,5/0,04	30
Д2И	0,016	100	Д311А	0,6/0,08	30
Д9А	0,065	10	Д311Б	0,25/0,02	30
Д9Б	0,105	10	Д220	0,5/0,05	50
Д9В	0,054	30	Д220А	0,5/0,05	70
Д9Г	0,080	30	Д220Б	0,5/0,05	100

* В числителе — максимально допустимый импульсный прямой ток, в знаменателе — максимально допустимый постоянный или средний прямой ток.

Если в вашей «кладовке» не оказалось нужного диода, то можно его заменить другим, т. е. найти ему аналог (см. табл. 4.3).

Таблица 4.3.
Аналоги универсальных диодов

Диоды	Аналоги
Д2Б	Д2Д, Д2Е, Д2Ж
Д9Е	Д9Ж, Д9ИД9Л
Д20	Д18, Д10
Д26	Д2Д, Д2Е, Д10
Д104	Д104А, Д105, Д105А
Д226Б	Д7Ж, КД105Б, Д226В
КД105Б	КД109А, Д226Б, Д7Ж
КД105Г	КД105В
КД109А	КД105Б
КД202Б	КД205Г
КД205Д	КД205КД205В

Внешний вид диодов показан на рис. 4.6. Маркировка диода нанесена либо на корпусе, либо на выводах в одном случае буквами и цифрами, в другом цветными метками. Диоды Д9 маркируют цветными точками в середине корпуса: Д9Б — красной, Д9В — оранжевой, Д9Г — желтой, Д9Д — белой, Д9Е — голубой, Д9Ж — зеленой и голубой, Д9И — двумя желтыми, Д9К — двумя белыми, Д9Л — двумя зелеными. Около вывода анода на корпусе ставят красную точку.

Для диодов серии D220 принята иная система. Все они маркируются желтой точкой, вывод анода отмечается красной точкой, а вывод катода помечается синей точкой для диода Д220, черной для Д220А, зеленой для Д220Б.

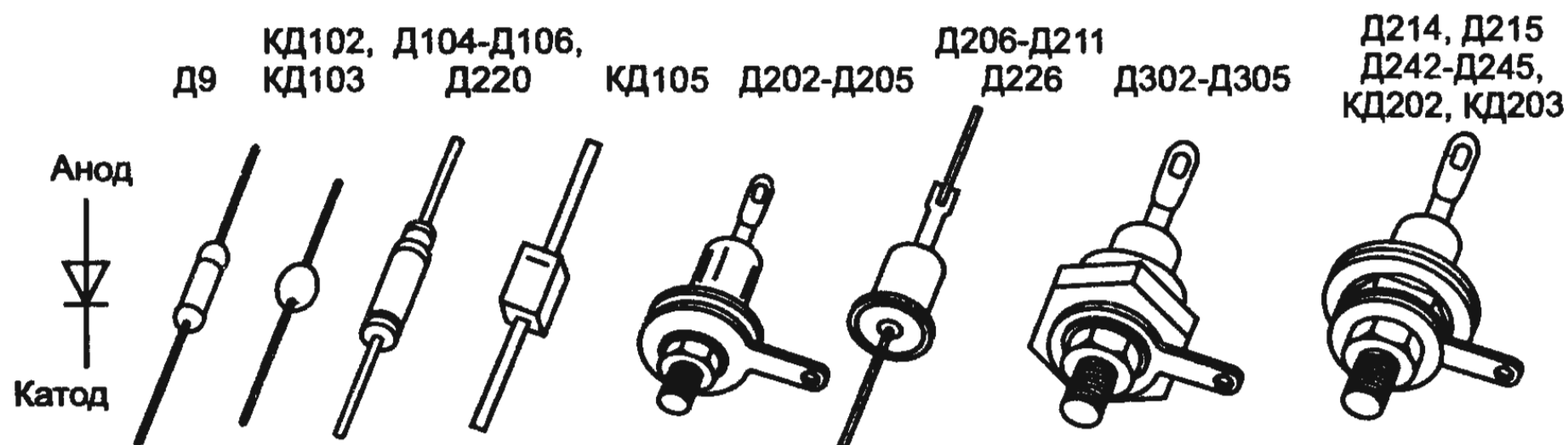


Рис.4.6. Внешний вид диодов

А теперь допустим, что у вас оказался уже работавший в каком-либо устройстве диод. Как узнать, исправен он или нет? Если у вас есть авометр, тогда это не составит труда, для этого необходимо измерить его прямое $R_{пр}$ и обратное $R_{обр}$ сопротивления (рис. 4.7).

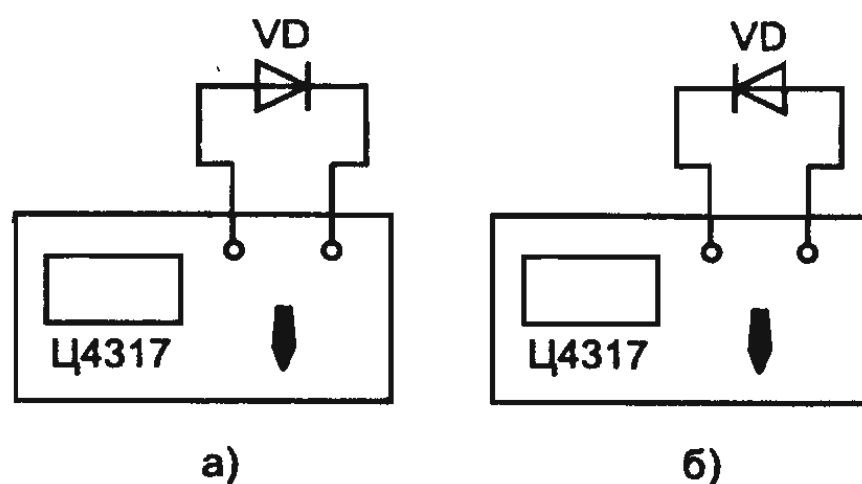


Рис. 4.7. Измерение прямого и обратного сопротивлений диода с помощью авометра

Если прямое сопротивление составляет десятки ом, а обратное — несколько единиц или десятков килоом, то диод исправен. Чем меньше прямое сопротивление и больше обратное, тем выше качество диода. Если же и прямое и обратное сопротивления бесконечно большие, значит, диод перегорел. А если у вас авометра нет, то и это не беда. Возьмем батарею 3336Л (на 4,5 В) или «Крону» (на 9 В) и лампочку от карманного фонаря, подключим их так, как показано на рис. 4.8. Лампочка должна «гореть», когда «+» батареи подключен к аноду диода, — это говорит о том, что диод исправен.

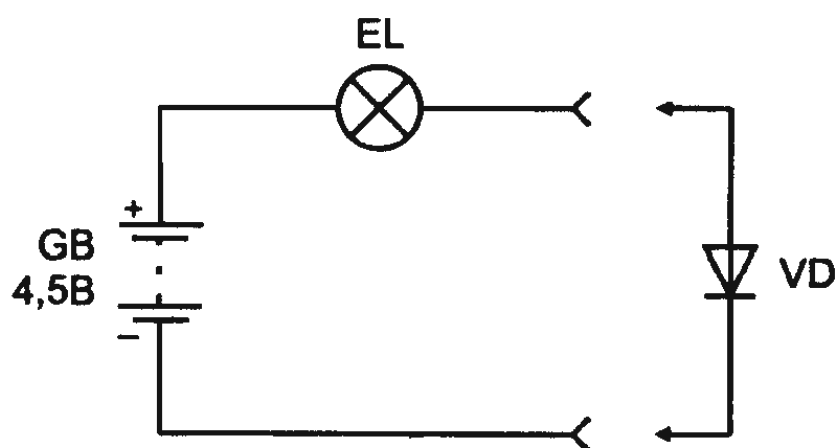


Рис. 4.8. Проверка исправности диода с помощью батарейки и лампочки от карманного фонаря

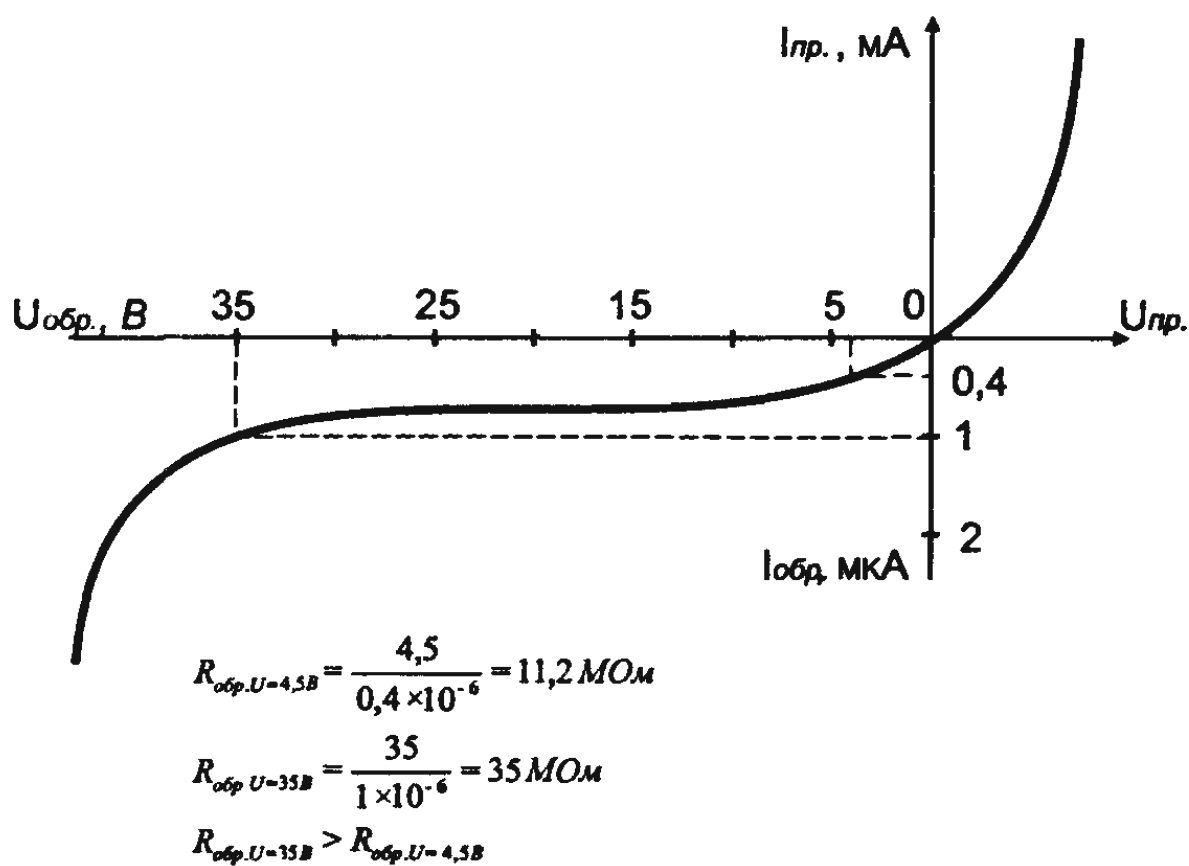


Рис. 4.9. В зависимости от величины обратного напряжения будет различно и сопротивление диода

из-за нелинейности ВАХ диода измеренные значения $R_{пр}$ и $R_{обр}$ зависят от напряжения источника питания омметра. Чем больше это напряжение, тем меньшими получаются значения $R_{пр}$ и большими $R_{обр}$. Измеренные обратные сопротивления оказываются много меньше тех значений, которые соответствуют более высоким обратным напряжениям, прикладываемым к диодам в схемах различных устройств (рис. 4.9). Это обстоятельство следует всегда учитывать, особенно при отбраковке выпрямительных диодов. Рекомендации по применению диодов (перенести сюда).

4.2.1. Рекомендации по применению диодов

1. Для повышения надежности работы приборов в аппаратуре необходимо снижать температуру переходов, а также рабочие напряжения и токи: они должны быть существенно ниже предельно допустимых. Рекомендуется устанавливать напряжения и токи на уровне 0,5...0,7 от предельных значений. Не допускается также кратковременное превышение предельно допустимого режима при эксплуатации.

2. Если необходимое значение тока или напряжения превышает предельно допустимое для данного прибора значение, рекомендуется их параллельное или последовательное соединение. При параллельном соединении необходимо выравнять токи через диоды с помощью резисторов с небольшим сопротивлением (до 10 Ом в зависимости от типа диода), включаемых последовательно с каждым диодом. При последовательном включении диодов обратные напряжения на них выравняются с помощью шунтирующих резисторов или конденсаторов. Рекомендуемые сопротивления и емкости шунтов указываются в ТУ на диоды. Между последовательно или параллельно включенными диодами должна быть хорошая тепловая связь (например, установка на одном радиаторе). В противном случае распределение нагрузки между диодами будет неустойчивым.

3. Необходимо придерживаться принципа максимально возможного снижения температуры переходов и корпуса приборов. Для охлаждения мощных диодов используют теплоотводящие радиаторы, а также конструктивные элементы узлов и блоков аппаратуры. Крепление диодов к радиатору должно обеспечивать надежный тепловой контакт. Если корпус должен быть изолирован,

то для уменьшения общего теплового сопротивления лучше изолировать радиатор от корпуса аппаратуры, чем диод от радиатора.

4. Расстояние от корпуса до начала изгиба выводов должно быть не менее 5 мм. Расстояние от корпуса или изолятора до места лужения или пайки вывода должно быть не менее 3 мм. Для отвода тепла участок вывода между корпусом и местом пайки зажимается пинцетом с губками из красной меди. Жало паяльника должно быть надежно заземлено. Время пайки должно быть минимальным (2...3 с), температура плавления припоя не превышать 260°C (например, припой ПОС-40).

5. Не рекомендуется располагать диоды ни в постоянных, ни в переменных сильных магнитных полях.

6. Устройство с диодами необходимо рассчитывать с учетом максимально возможных изменений параметров в диапазоне рабочих температур, а также в процессе эксплуатации и хранения.

4.2.2. Стабилитроны

Стабилитроны применяются для стабилизации напряжения источников постоянного тока, в качестве ограничителей, фиксаторов уровня, развязывающих элементов переключающих устройств, а также для фиксации уровней напряжений и токов в схемах, отсюда другое название кремниевых стабилитронов — опорные диоды.

В стабилитронах обратная ветвь ВАХ имеет крутой излом (рис. 4.10,а), обусловленный резким ростом тока, и используется для стабилизации постоянного напряжения. Обратное сопротивление стабилитрона при малых напряжениях велико, а при дости-

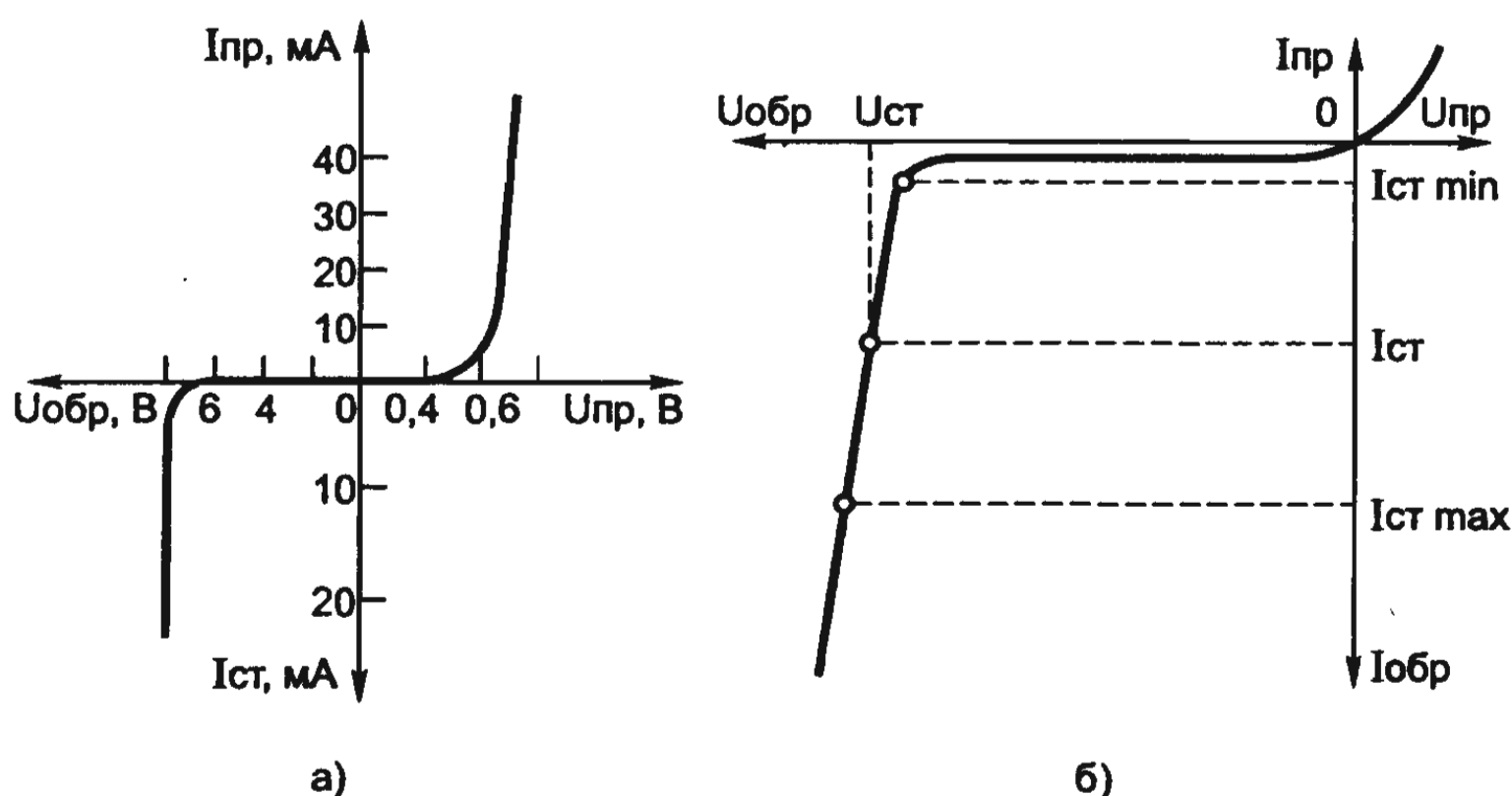


Рис. 4.10. ВАХ стабилитрона

жении напряжения стабилизации ток резко возрастает. На рис. 4.10,б приведена рабочая часть ВАХ стабилитрона. Эффект стабилизации основан на том, что большое изменение тока ΔI вызывает малое изменение напряжения ΔU .

Прямая ветвь стабилитрона ничем не отличается от характеристики обычного диода и падение напряжения в прямом направлении равно примерно 0,6 В.

Основные параметры стабилитронов: напряжение стабилизации $U_{ст}$, максимальный $I_{ст.макс}$ и минимальный $I_{ст.мин}$ ток стабилизации, дифференциальное (динамическое) сопротивление $r_{диф} \approx \Delta U / \Delta I$, статическое сопротивление $r_{стат} \approx U_{ст} / I_{ст}$, температурный коэффициент напряжения (ТКН) стабилизации $\alpha_{ст} = \Delta U \cdot 100 / (U_{ст} \cdot \Delta T) \%/^{\circ}C$ при постоянном токе стабилизации (табл. 4.4).

Таблица 4.4.
Основные параметры распространенных стабилитронов

Стабилитрон	Напряжение стабилизации $U_{ст}$, В	Максимальный ток стабилизации $I_{ст. макс}$, мА	Дифференциальное сопротивление $r_{диф}$, Ом
КС133А	3,0...3,7	81	65
КС139А	3,5...4,5	70	60
КС147А	4,1...5,2	58	56
КС156А	5,0...6,3	55	46
КС168А	6,0...7,5	45	28
КС198 А - Г	9,1...10,1	20	18
Д808	7,0...8,5	33	6
Д809	8,0...9,5	29	10
Д810	8,0...10,5	26	12
Д811	10,0...12,0	23	15
Д813	11,5...14,0	20	18
Д814А	7...8,5	40	6
Д814Б	8,0...9,5	36	10
Д814В	9,0...10,5	32	12
Д814Г	10,0...12,0	29	15
Д814Д	11,5...14	24	18

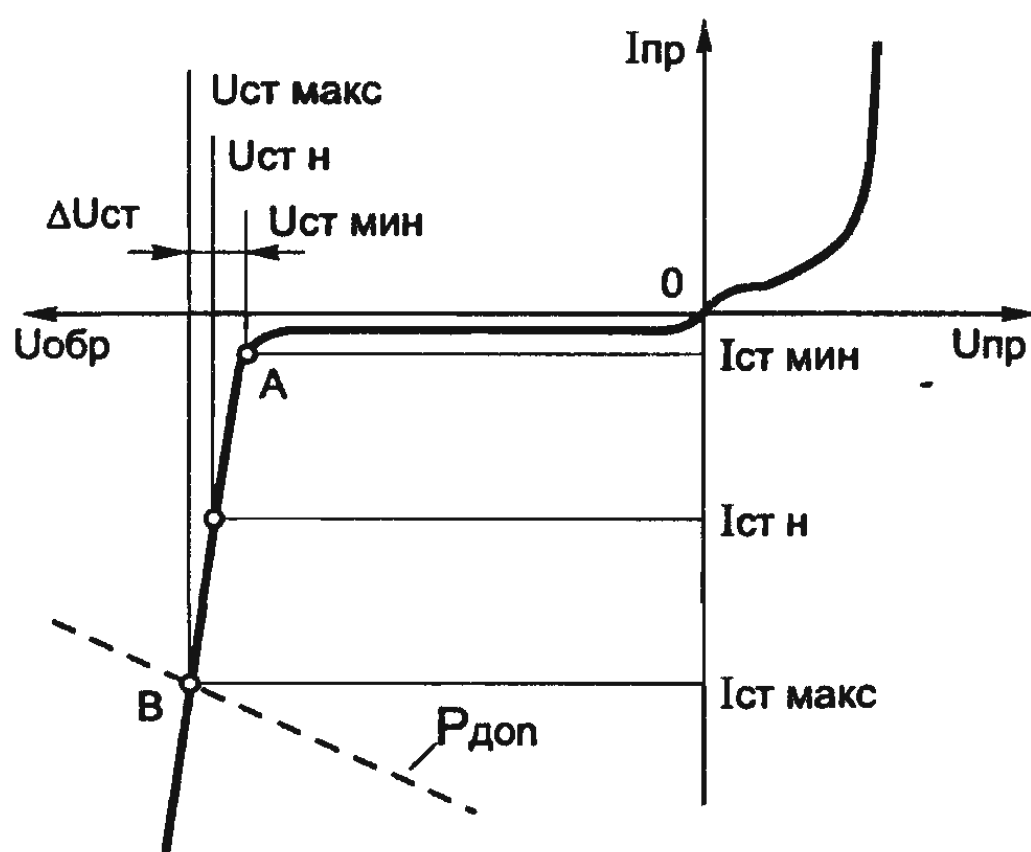


Рис. 4.11. Напряжение стабилизации в реальных условиях зависит от тока стабилизации

Стабилизация тем лучше, чем круче идет кривая ВАХ и, соответственно, чем меньше дифференциальное сопротивление $r_{диф}$, и чем меньше ТКН стабилизации.

Так как реальная ВАХ имеет некоторый наклон, то напряжение $U_{ст}$ стабилизации зависит от тока $I_{ст}$ стабилизации (рис. 4.11).

Максимальный ток $I_{ст.макс}$ стабилизации ограничен допустимой мощностью рассеивания $P_{доп}$. Минимальный ток $I_{ст.мин}$ стабилизации соответствует началу устойчивого режима стабилизации; при меньших токах в диоде возникает значительное напряжение шумов (такой режим работы используется на специальных полупроводниковых приборах — генераторах шума).

ТКН стабилизации зависит от рабочей силы тока, а также от напряжения стабилитрона.

На рис. 4.12 показана зависимость ТКН стабилизации $\alpha_{ст}$ от напряжения $U_{ст}$ стабилизации. Как видно из рисунка, для высоковольтных стабилитронов $\alpha_{ст}$ больше нуля, а для низковольтных меньше нуля.

Для уменьшения ТКН стабилизации выпускаются термокомпенсированные стабилитроны, в которых соединены последовательно стабилитрон и р-п-переход (диод), включенный в прямом направлении. С повышением температуры падение напряжения на р-п-переходе (включенном в прямом направлении) уменьшается, а на обратном смещенном р-п-переходе (стабилитроне) растет. Таким способом у термокомпенсированных ста-

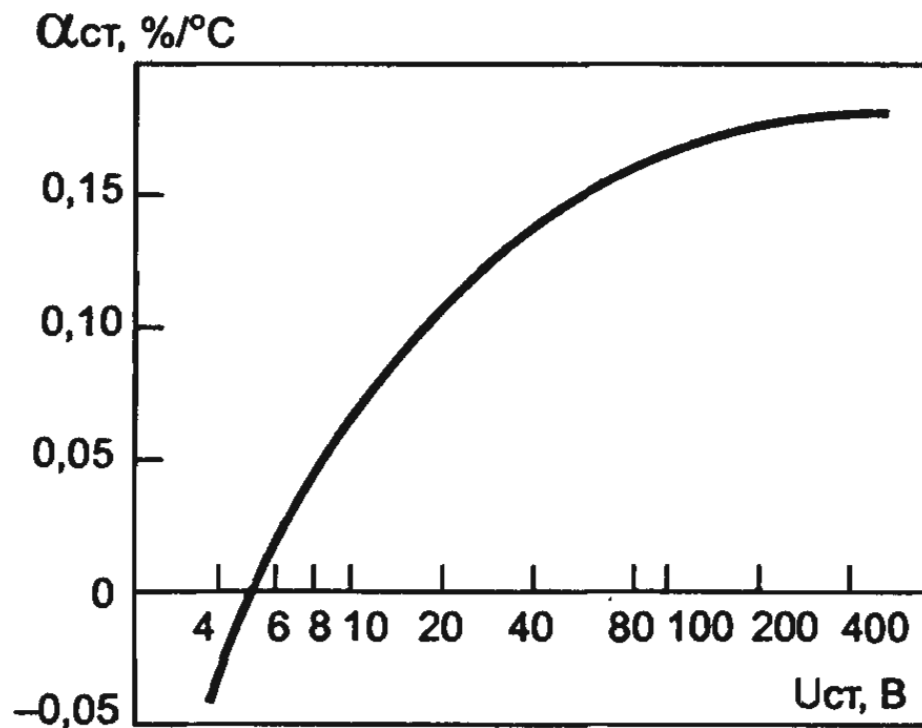


Рис. 4.12. График зависимости ТКН стабилизации стабилитрона от напряжения стабилизации

билитронов, например КС211, удастся получить малый $\alpha_{ст}$ (у КС211Б $\alpha_{ст} = 0,02\%/^{\circ}\text{C}$, а, для сравнения, у КС650А $\alpha_{ст} = 0,2\%/^{\circ}\text{C}$).

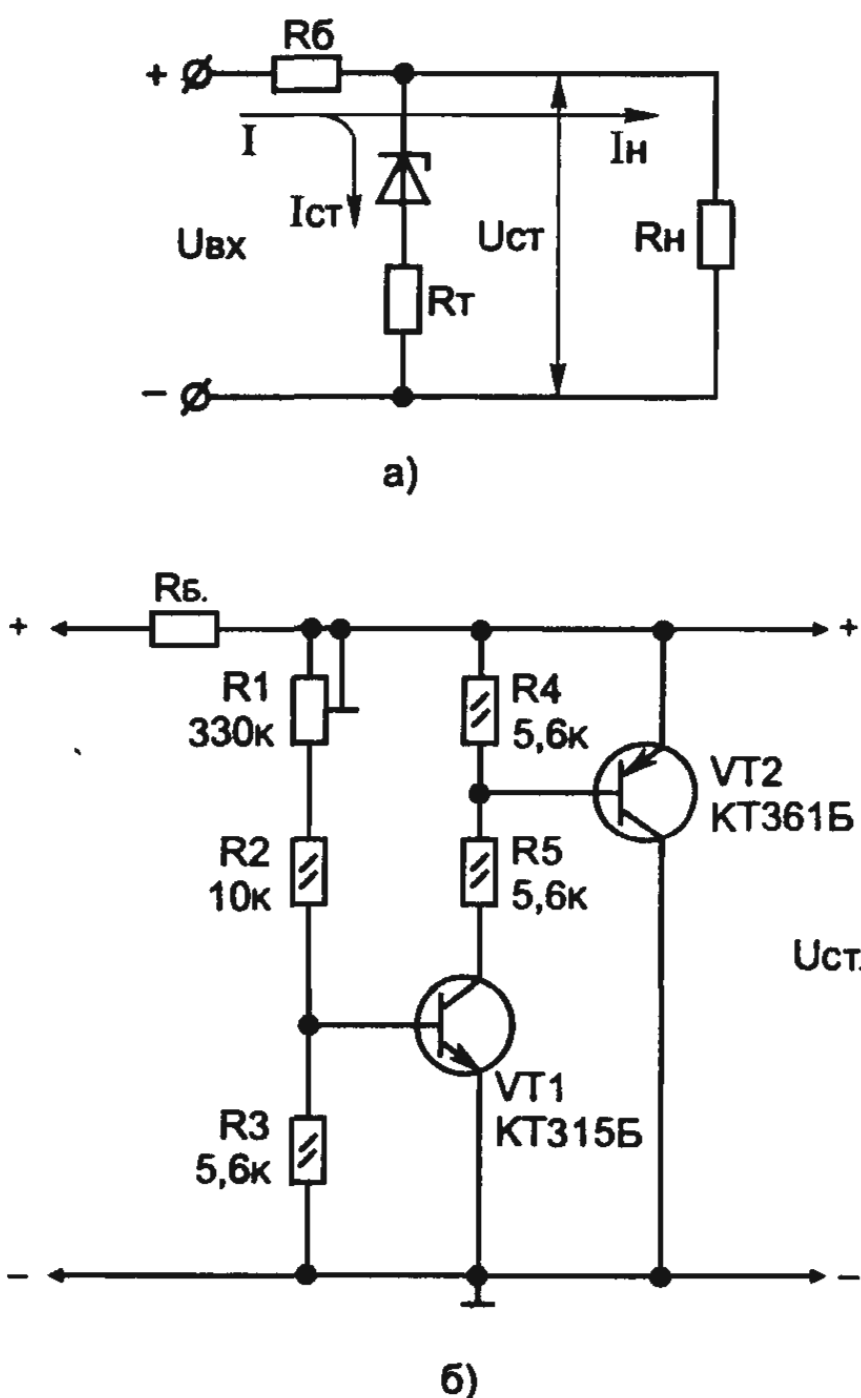


Рис. 4.13. Принципиальная схема параметрического стабилизатора напряжения

На рис. 4.13 изображена схема параметрического стабилизатора напряжения, применяемая на практике. При увеличении входного напряжения возрастет сила тока I в общей цепи и сила тока через стабилитрон $I_{ст}$. Увеличится падение напряжения на балластном резисторе R_6 . Напряжение на стабилитроне $U_{ст}$ и на нагрузке $R_н$ останутся практически неизменными. *Обратите внимание: в схеме на катод стабилитрона подается «+» источника питания, а на катод — «-» источника!*

Для стабилизации напряжения разной полярности выпускаются симметричные стабилитроны, имеющие симметричную ВАХ.

Диоды, у которых для стабилизации напряжения используется прямая ветвь ВАХ, называют стабилиторами. Стабилиторы включаются в схему стабилизации на-

пряжения как обычные диоды. В отличие от стабилитронов стабисторы имеют малое напряжение стабилизации (около 0,7 В). Для расширения диапазона стабилизации используют последовательное соединение в одном корпусе нескольких стабисторов. Параметры стабисторов аналогичны параметрам стабилитронов, а их максимальная сила тока и мощность те же, что и у выпрямительных диодов. Стабисторы имеют отрицательный ТКН стабилизации. Для использования в качестве стабистора предназначены кремниевые диоды Д219С, Д220С, Д223С. Внешний вид всех стабилитронов одинаковый.

Если у вас нет стабилитрона на нужное напряжение, в этом случае надо собрать цепочку последовательно соединенных стабилитронов так, чтобы при протекании через них рабочего тока выполнялось равенство:

$$U_{ст1} + U_{ст2} + \dots + U_{стn} = U_{ст},$$

где $U_{ст}$ — требуемое напряжение стабилизации.

Так как напряжение стабилизации однотипных стабилитронов имеет значительный разброс, то для подбора стабилитронов надо собрать схему из последовательно соединенных источника постоянного напряжения с напряжением, превышающим напряжение стабилизации на 25...50 %, переменного резистора 500...1000 Ом, проверяемого стабилитрона и миллиамперметра. Для измерения напряжения стабилизации на стабилитроне надо иметь вольтметр с входным сопротивлением не менее 1 кОм/В (входное сопротивление универсального вольтметра не менее 45 кОм/В). С помощью переменного резистора устанавливают силу тока в цепи, равную рабочей силе тока стабилитрона, и измеряют напряжение стабилизации.

Для увеличения мощности рассеивания стабилитронов применяют радиаторы. В простейшем виде теплоотвод (радиатор) представляет собой две алюминиевые пластинки толщиной 2 мм и площадью 200...220 см².

Для эффективного отвода тепла пластины хорошо прижимают к корпусу стабилитрона. Чтобы улучшить тепловой контакт, надо со стабилитрона в местах соприкосновения его с пластинами удалить краску и смазать невысыхающей смазкой, например, силиконовой. Это позволяет увеличить силу тока стабилизации стабилитронов, например, типа Д808...Д813 в десятки раз.

Для проверки исправности стабилитронов Д808...Д813, Д815 и др. можно воспользоваться любым авометром. Если при измерении прямого сопротивления авометр покажет сопротивление 100...150 Ом, а при измерении обратного сопротивления стрелка прибора не сдвинется с места (на шкале « $\Omega \cdot 10$ »), то стабилитрон считается исправным.

Если у вас нет нужных стабилитронов, можно использовать регулируемый аналог на транзисторах (рис. 4.13,б). Он имеет такую же ВАХ, как и стабилитрон, причем напряжение стабилизации можно регулировать в пределах 3...20 В резистором R1. Аналог представляет собой двухкаскадный усилитель постоянного тока (УПТ), охваченный отрицательной обратной связью (ООС) через делитель напряжения R1, R2, R3. Напряжение стабилизации определяется соотношением сопротивлений резисторов делителя, который устанавливают таким, чтобы напряжение на эмиттерном переходе транзистора VT1 было равно 0,7 В. При увеличении, например, напряжения на аналоге напряжение на базе транзистора VT1 тоже увеличится, что приведет к увеличению тока через транзистор VT2, а следовательно, к компенсации повышения выходного напряжения. При указанных на схеме номиналах элементов регулируемый аналог имеет следующие характеристики:

Напряжение стабилизации при изменении сопротивления R1 от нуля до максимума, В	3...20
Дифференциальное сопротивление при силе тока 5 мА, Ом	20...50
Температурный коэффициент стабилизации напряжения, %/°С	$3 \cdot 10^{-3}$
Рассеиваемая мощность, мВт, не более	200

Для установки напряжения стабилизации аналог подключают к источнику с напряжением 20...30 В через балластный резистор R₆ сопротивлением 5...10 кОм и подстроечным резистором R1 устанавливают необходимое напряжение на выводах аналога.

Допускается последовательное соединение любого числа стабилитронов. Это в ряде случаев оказывается конструктивно и экономически выгоднее, чем использование одного более мощного и высоковольтного стабилитрона. В целях резервирования (повышения надежности бесперебойной работы) стабилитроны

одного типа могут быть включены параллельно. При этом суммарная мощность, рассеиваемая на всех стабилитронах, не должна превышать максимально допустимую мощность рассеивания одного стабилитрона данного типа. Стабилитроны средней и большой мощности при работе должны устанавливаться на радиаторах.

Для повышения надежности работы стабилитронов целесообразно их эксплуатировать на 20...30% ниже предельных значений по мощности рассеивания.

4.3. БИПОЛЯРНЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

4.3.1. Общие сведения

«Транзистор» в переводе с английского означает «преобразователь сопротивления». Это полупроводниковый прибор, который служит для усиления и переключения сигналов.

Транзисторы, в которых прохождение тока через кристалл полупроводника обусловлено движением двух различных типов носителей заряда (электронов и дырок), называют биполярными. Особую группу составляют полевые, или униполярные транзисторы, которые работают с носителями заряда лишь одного знака (электронами или дырками), а также однопереходные транзисторы (двухбазовые диоды). Пока что мы будем вести речь о биполярных транзисторах, называя их просто транзисторами.

Выпускаются германиевые и кремниевые транзисторы. Они бывают р-п-р (читается «П-Н-П») и п-р-п (читается «Н-П-Н») структуры. УГО этих транзисторов и их диодные эквивалентные схемы приведены на рис. 4.14.

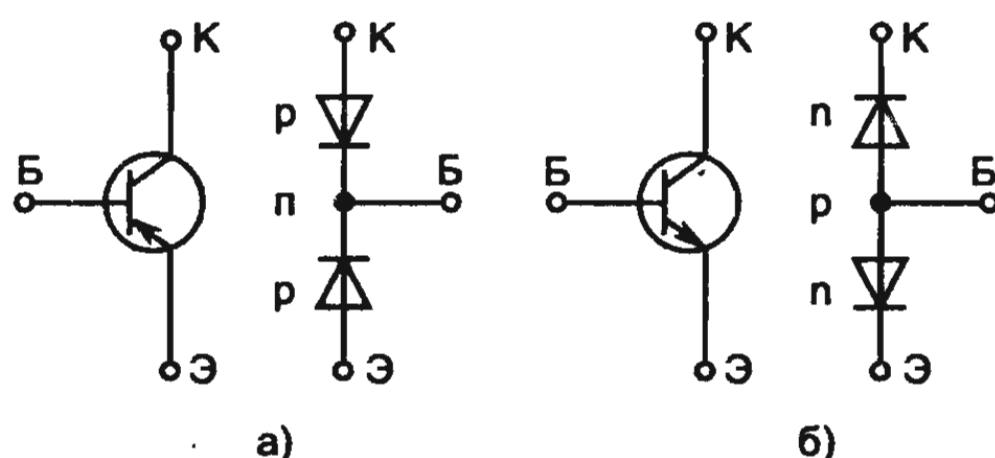


Рис. 4.14. УГО и эквивалентные схемы биполярных транзисторов

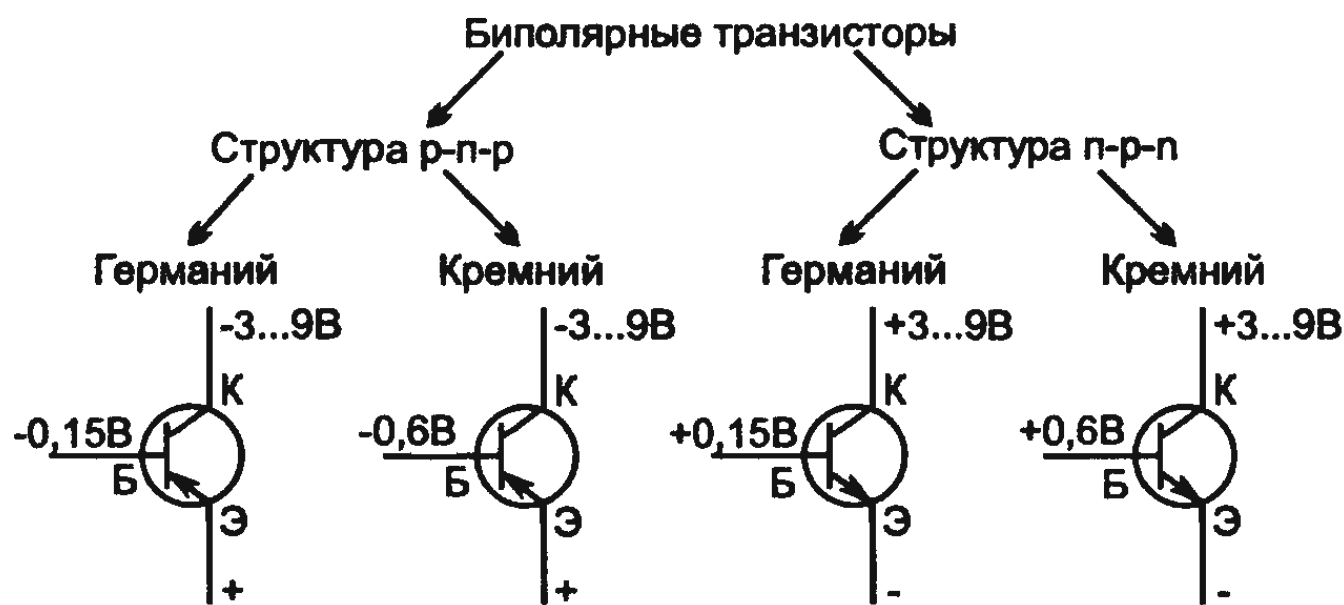


Рис. 4.15. УГО транзисторов на основе германия и кремния и типовые напряжения на их электродах

В настоящее время большинство транзисторов, в том числе транзисторы интегральных схем, выпускают на основе кремния, и они имеют, как правило, структуру n-p-n типа.

Транзистор состоит из двух противоположно включенных диодов, которые обладают одним общим n- или p-слоем. Электрод, связанный с ним, называется базой Б, а два других электрода называются эмиттером Э и коллектором К.

Диодные эквивалентные схемы поясняют структуру включения переходов транзистора. Хотя эта схема не характеризует полностью функции транзистора, она дает возможность представить действующие в нем обратные и прямые напряжения. Кроме того, диодные эквивалентные схемы позволяют определить практически структуру и электроды неизвестного транзистора, о чем разговор пойдет ниже.

На рис. 4.15 показаны условные графические обозначения транзисторов n-p-n и p-n-p структуры, выполненные на основе германия и кремния, и типовые напряжения на их электродах. А на рис. 1П показаны цоколевки и упрощенные изображения корпуса со стороны выводов наиболее широко применяемых в любительской практике биполярных транзисторов мощности, а на рис. 2П — цоколевка полевых транзисторов малой мощности (буквенные индексы транзисторов на рис. 1П и 2П опущены).

4.3.2. Схемы включения транзисторов

В рабочем режиме к электродам транзисторов подключают постоянное напряжение внешних источников питания. Помимо постоянных напряжений, к электродам подводят сигналы, подлежащие, например, усилению. В связи с этим различают входную

цепь, в которую подводят сигнал, и выходную, в которой с нагрузки снимают сигнал. В зависимости от того, какой из электродов при включении транзистора является общим для входной и выходной цепей, различают схемы с общей базой ОБ, общим эмиттером ОЭ и общим коллектором ОК. В схеме с общей базой (рис.4.16,а) входной цепью является цепь эмиттера, выходной — цепь коллектора. В схеме с ОЭ (рис.4.16,б) входной является цепь базы, а выходной — цепь коллектора. В схеме с ОК (рис.4.16,в) входной является цепь базы, а выходной — цепь эмиттера.

Потенциал общего электрода схемы принимают равным нулю, а напряжения на других отсчитывают относительно потенциала общего электрода. Обозначения напряжений в цепях транзистора снабжают буквенными индексами, указывающими на электроды, между которыми оно включено, причем второй индекс относится к общему электроду схемы, например, $U_{бэ}$, $U_{кэ}$, $U_{бк}$ и т. д.

Физические процессы, протекающие в транзисторах со структурой n-p-n и p-n-p, одинаковы. В транзисторах p-n-p, в отличие от транзисторов n-p-n, подается напряжение обратной полярности, а токи имеют противоположное направление.

В таблице 4.5 дается качественная оценка основных параметров схем с ОЭ, ОК и ОБ. Схема с ОЭ имеет наибольшее усиление по мощности и средние значения входного и выходного сопротивлений, поэтому она чаще других используется в усилителях.

Таблица 4.5.
Качественные значения основных параметров транзистора

Схемы включения транзисторов	Параметры				
	Кэф. усиления по току	Кэф. усиления по напряжению	Кэф. усиления по мощности	Входное сопротивление	Выходное сопротивление
Схема с общим эмиттером	$K > 1$ (большой)	$K > 1$ (ед. сотен и несколько тысяч)	Максим.	Среднее (сотни и тысячи Ом)	Среднее
Схема с общим коллектором	$K > 1$ (большой)	$K < 1$	Миним.	Максим.	Миним.
Схема с общей базой	$K < 1$	$K > 1$ (большой)	Средний	Десятки Ом	Максим.

4.3.3. Основные параметры транзисторов

Система параметров транзисторов насчитывает более пятидесяти параметров и характеристик. Как и для диодов, параметры транзисторов подразделяются на параметры, имеющие предельно допустимые значения (максимально и(или) минимально допустимые значения) и параметры, значения которых характеризуют свойства приборов.

Система предельно допустимых параметров включает в себя предельно допустимые значения напряжений коллектор-эмиттер, коллектор-база и база-эмиттер, предельно допустимые значения токов коллектора и базы и т. д. Предельно допустимые значения тока и напряжения обычно задаются для стационарных условий (например, постоянный ток коллектора), но могут приводиться и для импульсного режима работы. В этом случае оговаривается длительность импульса t_n и частота f .

Система основных параметров, как правило, зависит от функционального назначения транзистора, его мощности и частотного диапазона работы, а также от рабочего режима и температуры, причем с увеличением температуры зависимость параметров от режима сказывается более сильно. В справочниках приводятся, как правило, типовые (усредненные) зависимости параметров транзисторов от силы тока, напряжения, температуры, частоты и т. д. Эти зависимости должны использоваться при выборе типа транзистора и сравнительных расчетах, так как значения параметров транзисторов одного типа не одинаковы, а лежат в некотором интервале. Этот интервал ограничивается минимальным или максимальным значением, указанным в справочнике.

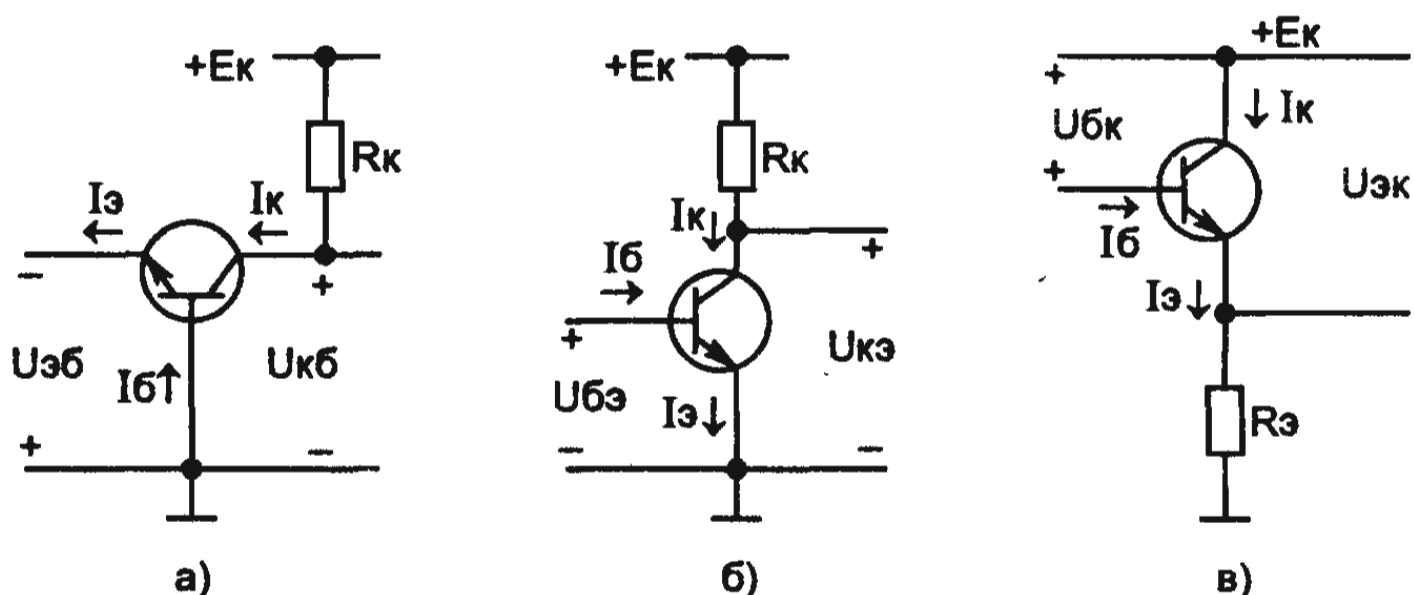


Рис. 4.16. Схема включения транзистора: а) с ОБ; б) с ОЭ; в) с ОК

В конце книги некоторых справочников помещен алфавитно-цифровой указатель транзисторов и указаны страницы. Поэтому данные о любом транзисторе можно найти быстро.

Перечень основных предельных эксплуатационных параметров (исключая СВЧ-транзисторы и силовые транзисторы) приведен в таблице 4.6.

Таблица 4.6.
Предельные эксплуатационные параметры транзисторов

Тип транзистора	$U_{кб}$ макс, [U _{кб.п.} макс], В	$U_{кэ}$ макс, [U _{кэ.п.} макс], В	I_k макс, [I _{к.п.} макс], мА	$h_{21э}$ [h _{21э}] (при $U_{кб}$, В; $I_э$, мА)	$f_{гр}$ [F _{гр}] МГц, не менее	$I_{к60}$, мкА, не менее
п - р - п						
КТ201А	20	[20]	20 [100]	[20...60] (1;5)	[10]	<1
КТ201Б	20	[20]	20 [100]	[30...90] (1;5)	[10]	<1
КТ201Б	10	[10]	20 [100]	[30...90] (1;5)	[10]	<1
КТ201Г	10	[10]	20 [100]	[70...210] (1;5)	[10]	<1
КТ201Д	10	[10]	20 [100]	[30...90] (1;5)	[10]	<1
КТ312А	20	20	30 [60]	10...100 (20;2)	80	1
КТ312Б	35	35	30 [60]	25...100 (20;2)	120	1
КТ312В	20	20	30 [60]	50...280 (20;2)	120	1
КТ315А	—	25	100	30...120 (10;1)	270	1
КТ315Б	—	20	100	50...350 (10;1)	270	1
КТ315В	—	40	100	30...120 (10;1)	270	1

Тип транзистора	$U_{кб}$ макс, [$U_{кб. н. макс}$], В	$U_{кз}$ макс, [$U_{кз. н. макс}$], В	I_k макс, [$I_{к. н. макс}$], мА	$h_{21э}$ [$h_{21э}$] (при $U_{кб}$, В; $I_э$, мА)	$f_{гр}$ [$F_{гр}$] МГц, не менее	$I_{к60}$, мкА, не менее
КТ315Г	—	35	100	50...350 (10;1)	270	1
КТ315Д	—	40	100	20...90 (10;1)	250	1
КТ315Е	—	35	100	50...350 (10;1)	250	1
КТ315Ж	—	20	50	30...250 (10;1)	250	0,6
КТ315И	—	60	50	>30 (10;1)	250	0,6
КТ815А	40	[40]	1500 [3000]	40 (2;0,15)*	3	50
КТ815Б	40	[50]	1500 [3000]	40 (2;0,15)*	3	50
КТ815В	40	[70]	1500 [3000]	40 (2;0,15)*	3	50
КТ815Г	40	[100]	1500 [3000]	30 (2;0,15)*	3	50
р - н - р						
КТ361А	25	25	50 [150]	20...90 (10;1)	250	1
КТ361Б	20	20	50 [150]	50...350 (10;1)	250	1
КТ361В	40	40	50 [150]	20...90 (10;1)	250	1
КТ361Г	35	35	50 [150]	50...350 (10;1)	250	1
КТ361Д	40	40	50 [150]	20...90 (10;1)	250	1
КТ361Е	35	35	50 [150]	50...350 (10;1)	250	1
КТ361Ж	10	10	50 [150]	50...350 (10;1)	250	1
КТ361И	15	15	50 [150]	>250 (10;1)	250	1
КТ361К	60	60	50 [150]	50...350 (10;1)	250	1
КТ3107А	50	45	100 [200]	70...140 (5;2)	200	0,1

Тип транзистора	Uкб макс, [Uкб и макс], В	Uкэ макс, [Uкэ и макс], В	Uкэ макс, [Uкэ и макс], В	h21э [h21Э] (при Uкб, В; Iэ, мА)	fгр [Fгр] МГц, не менее	Iкб0, мкА, не менее
КТ3107Б	50	45	100 [200]	120...200 (5;2)	200	0,1
КТ3107В	30	25	100[200]	70...140 (5;2)	200	0,1
КТ3107Г	30	25	100 [200]	120...200 (5;2)	200	0,1
КТ3107Д	30	25	100 [200]	180...460 (5;2)	200	0,1
КТ3107Е	25	20	100 [200]	120...220 (5;2)	200	0,1
КТ3107Ж	25	20	100 [200]	180...460 (5;2)	200	0,1
КТ3107И	50	45	100 [200]	180...460 (5;2)	200	0,1
КТ3107К	30	25	100 [200]	380...8000 (5;2)	200	0,1
КТ3107Л	25	20	100 [200]	380...8000 (5;2)	200	0,1
ГТ402А	—	25	500	30...80 (1;3)*	1,0	20
ГТ402Б	—	25	500	60...150 (1;3)*	1,0	20
ГТ402В	—	40	500	30...80 (1;3)*	1,0	20
ГТ402Г	—	40	500	60...150 (1;3)*	1,0	20
КТ814А	40	[40]	1500 [3000]	40 (2;0,15)*	3	50
КТ814Б	40	[50]	1500 [3000]	40 (2;0,15)*	3	50
КТ814В	40	[70]	1500 [3000]	40 (2;0,15)*	3	50
КТ814Г	30	[100]	1500 [3000]	40 (2;0,15)*	3	50

* (при Uкб, В; Iк, А)

4.3.4. Статические ВАХ транзистора

ВАХ содержит информацию о свойствах транзистора во всех режимах работы, в том числе о связях между параметрами. По ВАХ можно определить ряд параметров, не приводимых в справочниках, а также рассчитать цепи смещения, стабилизации режима, оценить работу транзистора в широком диапазоне импульсных и постоянных токов, мощностей и напряжений. В основном используются два семейства статических ВАХ: входные и выходные.

Входные характеристики устанавливают зависимость входного тока (тока базы в схеме с общим эмиттером) от напряжения между базой и эмиттером при определенном напряжении на коллекторе. Входная характеристика германиевого транзистора структуры р-п-р МП40 приведена на рис. 4.17,а; на рис. 4.17,б изображена такая же характеристика кремниевого транзистора КТ361 такой же структуры. При нулевом напряжении на коллекторе (относительно эмиттера) ход кривой обеих характеристик весьма схож, за исключением значений базовых напряжений, при которых начинают открываться транзисторы (у кремниевых транзисторов оно несколько больше). Из рисунков видно, что это, по сути дела, характеристики полупроводниковых диодов. При подаче на коллектор транзистора постоянного напряжения «диод» (т.е. эмиттерный переход) начинает работать в несколько измененном режиме, что отразится на его входной характеристике (на рис. 4.17,а при $U = 5$ В).

Выходные характеристики устанавливают зависимость тока коллектора от напряжения на нем при определенном токе базы

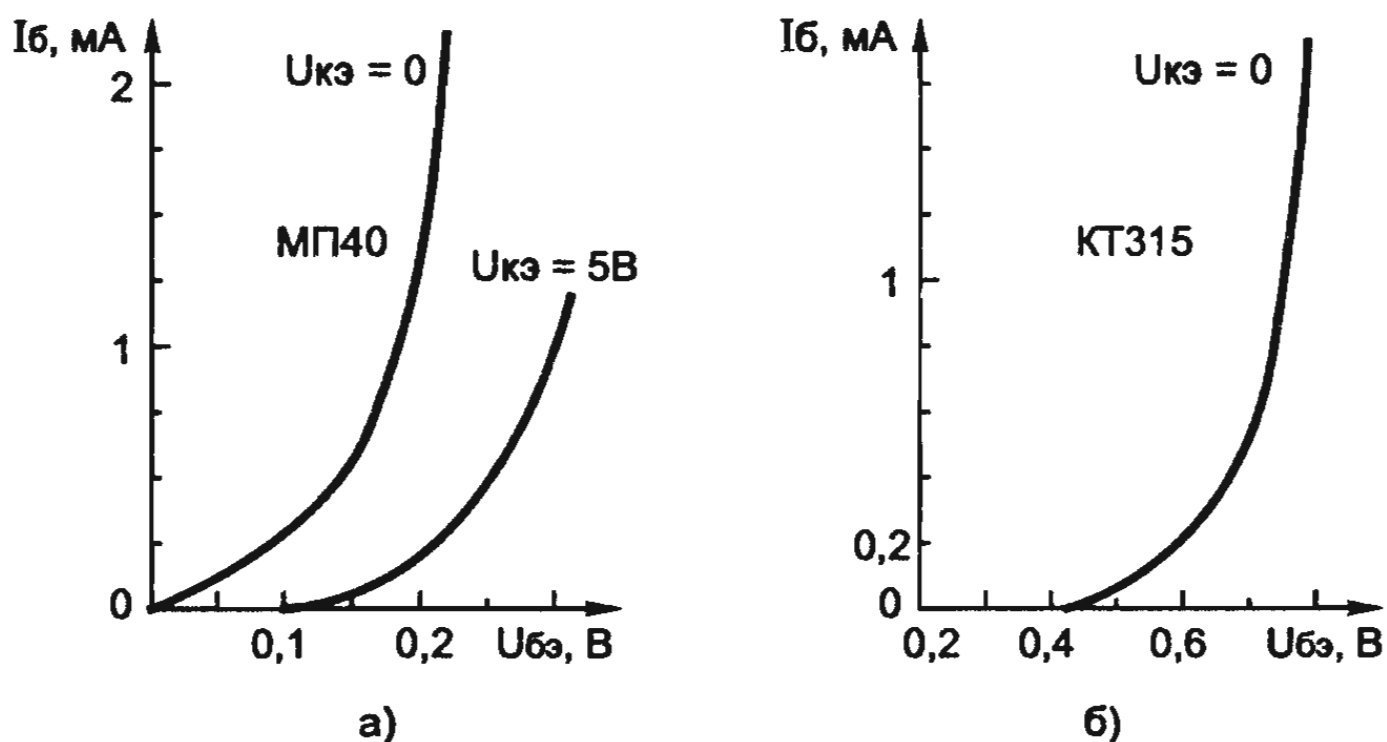


Рис. 4.17. Входная характеристика: а) германиевого транзистора МП40; б) кремниевого транзистора КТ361

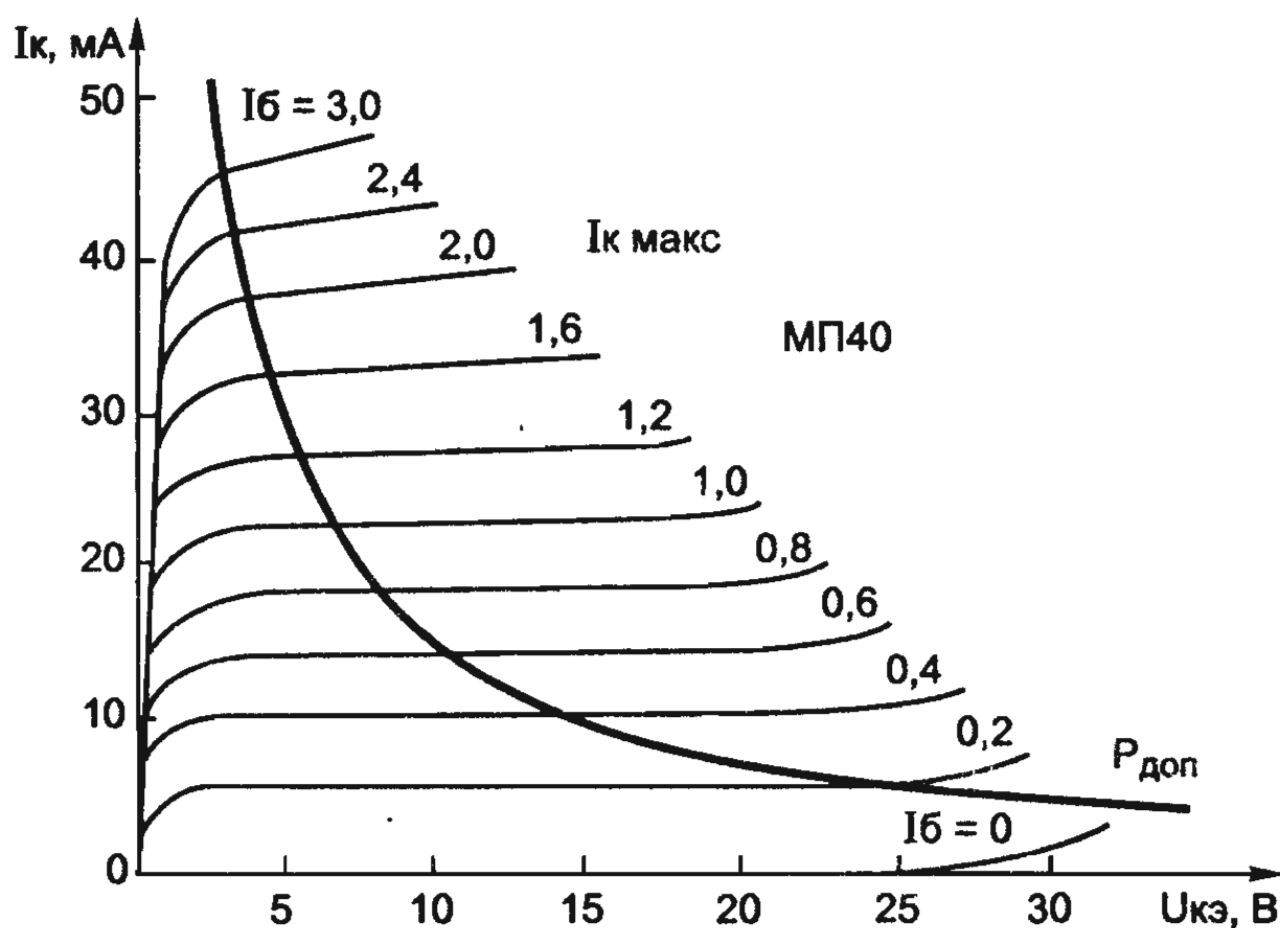


Рис. 4.18. Выходные характеристики транзистора МП40

(в схеме с ОЭ). На рис. 4.18 приведена выходная характеристика транзистора МП40. Если нанести на эту характеристику предельно допустимые значения тока коллектора, напряжений на коллекторе и рассеиваемую мощность, то получим область допустимой работы транзистора. Достаточно теперь в конкретном каскаде проанализировать режим транзистора (ток коллектора, напряжение на коллекторе, ток базы) и перенести измеренные параметры на характеристику, чтобы узнать, насколько близок режим работы транзистора к критическому режиму.

При изменении температуры входные и выходные характеристики смещаются. На рис. 4.19 в качестве примера показаны выходные характеристики транзистора при различных температурах. Из рисунка видно, что с повышением температуры не только увеличивается коллекторный ток I_k , но и увеличивается наклон (крутизна) выходных характеристик. Для температурной

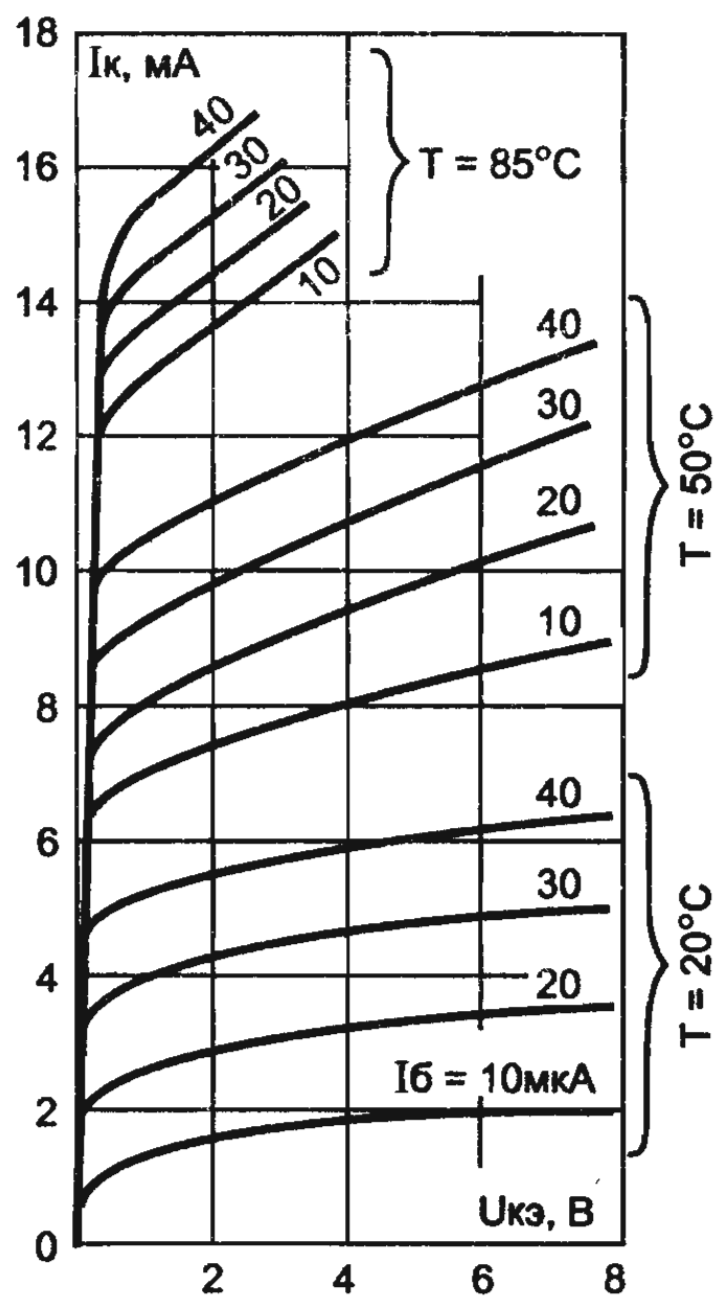


Рис. 4.19. Выходные характеристики транзистора при различных температурах

стабилизации режима работы транзисторов вводят цепи обратной связи, а также применяют алюминиевые или медные радиаторы с большой поверхностью охлаждения.

4.3.5. Анализ усилительных каскадов

По схеме усилителя к электронной сирене (рис. 3.31) проанализируем основные параметры первого каскада — простейшего усилителя, собранного по схеме с общим эмиттером. Так, в цепи эмиттера у него отсутствует резистор для стабилизации режима работы, такой каскад вносил бы большие искажения. Здесь задача стабилизации режима работы каскада решена путем использования обратной отрицательной связи (ООС) по постоянному и переменному току.

В усилительных каскадах без стабилизирующего резистора в цепи эмиттера параметры усилителя можно определить по формулам:

1. Коэффициент усиления по напряжению:

$$K = I_K \cdot R_K / U_T,$$

где U_T — термический потенциал. При комнатной температуре $U_T = 25,5$ мВ.

2. Входное сопротивление:

$$R_{вх} = R_{бэ} = h_{21э} \cdot U_T / I_K,$$

где $R_{бэ}$ — сопротивление участка база-эмиттер транзистора; $h_{21э}$ — статический коэффициент передачи тока транзистора.

3. Выходное сопротивление:

$$R_{вых} = R_K \cdot R_{кэ} / (R_K + R_{кэ}),$$

где $R_{кэ}$ — сопротивление участка коллектор-эмиттер транзистора.

Обычно $R_{кэ} \gg R_K$. Так, при токе коллектора в 1 мА типовое значение $R_{кэ}$ примерно равно 100 кОм, а при токе 200 мкА оно равно примерно 500 кОм.

Необходимо помнить, что внутреннее сопротивление источника сигнала r и входное сопротивление транзистора $R_{вх}$ образуют делитель напряжения и напряжение источника сигнала будет распределяться между этими сопротивлениями. Надо учитывать и то, что сопротивление нагрузки усилителя (например, входное сопро-

тивление следующего каскада) подключено по переменному току (сигналу) параллельно с R_k и $R_{кэ}$.

Значительно чаще находит применение схема с общим эмиттером и ООС по току (в цепи эмиттера имеется резистор $R_э$). Так, второй и третий каскады усилителя «электронного уха» выполнены именно по этой схеме.

1. Коэффициент усиления такого каскада:

$$K = \frac{S \cdot R_k}{1 + S \cdot R_э + \frac{R_k}{R_{кэ}}},$$

где $S = I_k / U_T$ — крутизна передаточной характеристики.

При увеличении сопротивления резистора $R_э$ увеличивается глубина ООС и $K \rightarrow R_k / R_э$, а при уменьшении $K \rightarrow I_k \cdot R_k / U_T$.

Если вычислить коэффициент усиления второго каскада усилителя по приближенной формуле, то получим 4,7 и 3,3 соответственно.

2. Входное сопротивление

$$R_{вх} = R_{бэ} + h_{21э} \cdot R_э = h_{21э}(1/S + R_э).$$

Из этого выражения видно, что входное сопротивление легко определить, зная сопротивление резистора $R_э$ и коэффициент передачи транзистора по току $h_{21э}$.

3. Выходное сопротивление:

$$R_{вых} \approx R_k.$$

Следует остановиться на выборе рабочей точки на характеристике транзистора. В усилителе «электронного уха» установка рабочей точки осуществляется с помощью гасящего резистора. Если требуется стабильный режим работы, то обязательно надо использовать ООС по току, т. е. в цепь эмиттера включить резистор $R_э$, что и сделано в этом усилителе.

Теперь рассмотрим интересный пример. Транзистор имеет параметр — обратный ток коллектора $I_{к60}$, который зависит от температуры: при повышении температуры на каждые 10°C ток $I_{к60}$ кремниевых транзисторов изменяется в 2,5 раза. Сам по себе ток незначителен: у маломощных транзисторов он составляет микроамперы, но от него зависит ток коллектора: $I_k = I_{к60} (h_{21э} + 1)$. Например, если $I_{к60} = 5$ мкА при 20°C , то при 40°C , а это обычная

температура внутри работающего транзистора, он возрастает до 20 мкА, что приводит к увеличению тока коллектора на $\Delta I_k = \Delta I_{k60} (h_{21Э} + 1) = 15 \cdot (25 + 1) = 390$ мкА, т. е. почти на 0,4 мА, а это уже заметно, т. к. рабочий ток коллектора составляет 1 мА. А если $h_{21Э}$ составляет сотни единиц, то ток коллектора увеличится в несколько раз.

Увеличение тока коллектора приводит к уменьшению тока базы, поскольку ток базы $I_b = I_c - I_k$. Изменение же тока базы приводит к изменению напряжения на базе, а даже незначительное изменение напряжения $U_{бэ}$ приводит к значительному изменению тока коллектора транзистора. Поэтому очень важно обеспечить температурную стабилизацию режима работы транзистора.

Следует также отметить, что схема с ОЭ при больших токах базы и больших сопротивлениях резистора R_6 чувствительна к пробою, поэтому, чтобы исключить работу транзисторного каскада с обрывом базы (т. е. при $R_6 = \infty$), первым следует подключать (подпаивать) к схеме вывод базы, а отключать (отпаивать) последним.

Применение индуктивности в цепи базы транзистора при работе с короткими импульсами или импульсами с крутыми фронтами так же недопустимо, как и использование больших сопротивлений в цепи базы.

Схема с общим коллектором (эмиттерный повторитель) тоже часто находит применение, т. к. имеет большое входное и малое выходное сопротивления. Его коэффициент усиления $K \approx 1$ ($K < 1$), входное сопротивление $R_{вх} \approx h_{21Э} \cdot R_э$ и почти не отличается от входного сопротивления схемы с общим эмиттером и ООС по току.

Выходное сопротивление:

$$R_{\text{вых}} = \frac{\left(\frac{1}{S} + \frac{R_{\text{вн}}}{h_{21Э}} \right) \cdot R_э}{\frac{1}{S} + \frac{R_{\text{вн}}}{h_{21Э}} + R_э},$$

где $R_{\text{вн}}$ — внутреннее сопротивление входного источника сигнала.

Схема с общей базой редко используется, поэтому мы не будем приводить ее параметры.

Предельные параметры учитываются и при замене одного типа транзистора другим. Не рекомендуется, например, использовать высокочастотный транзистор там, где может работать низкочастотный. Высокочастотные транзисторы, как правило, очень чувст-

вительны к перегрузкам, усилительные схемы на них подвержены самовозбуждению.

Для маломощных схем, работающих при малых коллекторных токах, необходимо выбирать маломощные транзисторы. Применение мощного транзистора в этом случае приведет к неустойчивой работе схемы. Кроме того, в первом каскаде высокочувствительных усилителей рекомендуется применять транзисторы с малым уровнем шумов.

При замене одного типа транзистора другим в УЗЧ целесообразно применять транзисторы со значением $h_{21э}$, не ниже, чем у заменяемого. При недостаточных методах стабилизации рабочей точки может потребоваться индивидуальный подбор сопротивления резистора в цепи базы для установки необходимого тока коллектора. При этом может оказаться, что заменяемый транзистор уже давно снят с производства или отсутствует в вашей «кладовке». В этом случае можно подобрать транзистор другого типа той же структуры с аналогичными или близкими параметрами. Для подбора таких транзисторов следует использовать справочник по транзисторам. Кроме того, в этом случае можно воспользоваться табл. 4.7, в которой транзисторы размещены по своему основному назначению, а последовательность размещения в группах такова, что все последующие транзисторы заменяют предыдущие. Возможна и обратная замена, когда предыдущий транзистор заменяет последующий из той же группы, но в этом случае качество работы каскада может ухудшиться. В скобках указаны транзисторы, снятые с производства.

Таблица 4.7.
Взаимозаменяемость транзисторов

Группы	Транзисторы
Низкочастотные германиевые, структура р-п-р, малой мощности	(П13), МП39Б, (П13А), (П13Б), МП39Б, (П14), МП40, (П15), ГТ108А, ГТ108Б, ГТ109АГТ109В, ГТ115АГТ115В, МП41, (П16), МП42А, МП42Б, (П16А), (П16Б), МП25А, МП26А, МП25Б, МП26Б
Низкочастотные германиевые, структуры п-р-п, малой мощности	(П8), МП35, (П9), МП36, (П10), МП37, МП37А, (П11), МП38, (П11А), МП38А
Низкочастотные кремниевые, структуры р-п-р, малой мощности	(П104), МП114, (П105), МП115, (П106), МП116, КТ104АКТ104Г

Группы	Транзисторы
Низкочастотные кремниевые, структуры п-р-п, малой мощности	(П101), МП111, (П102), МП112, (П103), МП113
Низкочастотные германиевые, структуры р-п-р, средней мощности	ГТ402АГТ402Г, ГТ403АГТ403Ж
Низкочастотные германиевые, структуры п-р-п, средней мощности	ГТ404АГТ404Г
Среднечастотные кремниевые, структуры п-р-п, малой мощности	КТ201АКТ201Д, КТ209АКТ209И, КТ503КТ503Е
Среднечастотные кремниевые, структуры р-п-р, малой мощности	КТ203АКТ203В, КТ502АКТ502Г
Высокочастотные германиевые, структуры р-п-р, малой мощности	(П420), (П401), (П421), (П402), П422, П416, (П403А), (П403), ГТ310АГТ310Е, П416Б, ГТ322ВГТ322Е, ГТ309А, ГТ322А, ГТ322Б, ГТ308АГТ308В, ГТ313А, ГТ313Б
Высокочастотные германиевые, структуры п-р-п, малой мощности	ГТ311АГТ311Е
Высокочастотные кремниевые, структуры р-п-р, малой мощности	КТ361АКТ361Г, КТ326А, КТ326Б, КТ3107АКТ3107Ж
♦ Высокочастотные кремниевые, структуры п-р-п, малой мощности	КТ301, КТ301АКТ301В, КТ301ГКТ301Е, (П501), (П502), (П503), КТ312АКТ312Е, КТ358АКТ358В, КТ315АКТ315Г, КТ3102АКТ3102Е

Низкочастотные транзисторы в группах расположены с учетом возрастания гарантированного значения коэффициента $h_{21э}$. Высокочастотные транзисторы расположены в группах в порядке возрастания предельной частоты. Это связано с тем, что на высоких частотах усиление транзистора тем больше, чем выше его предельная частота.

Может оказаться, что транзисторов, пригодных к замене, у вас не оказалось. Тогда можно взять транзистор той же структуры и из того же полупроводникового материала, но более высокой частоты или мощности. Возможны и другие замены, например, германиевого транзистора кремниевым, и, наоборот. Но при этом почти всегда возникает необходимость скорректировать режим работы ступени усиления.

В тех случаях, когда необходимо произвести замену транзисторов, работающих в портативных радиовещательных приемниках, можно воспользоваться табл. 4.8. В ней обобщены сведения о транзисторах, применяемых в каскадах приемников различной степени сложности с учетом их возможной взаимозаменяемости.

Таблица 4.8.

Взаимозаменяемость транзисторов, применяемых в портативных радиовещательных приемниках.

Каскад	Наиболее приемлемые транзисторы
Усилитель ВЧ и преобразователь частоты диапазона УКВ ЧМ	ГТ313А, КТ313Б, КТ322А
Усилитель ВЧ АМ диапазонов ДВ, СВ, КВ	ГТ313А, ГТ313Б, ГТ322А, ГТ322Б
Преобразователь частоты диапазонов ДВ, СВ, КВ АМ (смеситель и гетеродин)	ГТ322Б, ГТ322В, ГТ309А, ГТ309Б, П422, П423
Усилитель ПЧ ЧМ и АМ	ГТ322Б, ГТ322В
Входной малошумящий каскад усиления звуковой частоты	П27А, П28, П29, П30, МП39Б, МП41А
Предоконечный каскад усиления звуковой частоты	МП40, МП41А, МП42А, МП42Б
Выходной двухтактный каскад усиления звуковой частоты малой мощности	р-п-р: МП40, МП41А, МП42Б п-р-п: МП35, МП36, МП37, МП38, МП38А
Выходной двухтактный каскад усиления звуковой частоты средней мощности	р-п-р: ГТ402А, ГТ403Б, П213А, П213Б, П214В, ГТ701, ГТ703 п-р-п: ГТ404А, ГТ404Б

В табл. 4.9 и 4.10 даны рекомендации по замене транзисторов малой и большой мощности соответственно. Использование приведенных аналогов потребует, как правило, подбора деталей.

Таблица 4.9.

Взаимозаменяемость транзисторов малой мощности

Транзисторы	Аналоги
МП13, МП14, МП15, МП39, МП40, МП41	КТ209, КТ3107, КТ361, КТ501, КТ502
МП25	МП209ИМП209М, КТ501ЖКТ501М, КТ402ВКТ502Е
МП26	КТ502Е, КТ601А
МП27, МП28	КТ3107Е, КТ3107Ж, КТ3107Л, ГТ310

Транзисторы	Аналоги
МП35, МП36, МП37, МП38	КТ503АКТ503Е, КТ201АКТ201Г, КТ315АКТ315И, КТ3102АКТ3102Е
МП37А, МП37Б	КТ503АКТ503Е, КТ315ВКТ315И, КТ3102АКТ3102Е (кроме КТ3102Е)
МП42	КТ501
МП101, МП102, МП103	КТ201, КТ312, КТ315АКТ315И
МП104	КТ204А, КТ203Б, КТ203Г
МП105	КТ203А, КТ203Б, КТ203Г, КТ361ВКТ361Е
МП106	КТ203АКТ203Д, КТ361АКТ361Е, КТ3107АКТ3107Г
МП111	КТ203АКТ203Д, КТ361ВКТ361Е, КТ3107АКТ3107Г
МП114	КТ203А, КТ209Л, КТ209М, КТ501Л, КТ501М
МП115	КТ203А, КТ203Б, КТ203Г, КТ209ГКТ209М, КТ501ГКТ501М
МП116	КТ203АКТ203Д, КТ209АКТ209М, КТ501АКТ501М, КТ361АКТ361Е
ГТ108АГТ108Г	КТ361АКТ361Е, КТ502АКТ502Е, ГТ308АГТ308В, КТ3108АКТ3107Л
ГТ308АГТ308В	КТ343АКТ343В, КТ361АКТ361Е, КТ3107АКТ3107Е
ГТ309АГТ309Е	КТ3107АКТ3107Л, КТ361АКТ361Е, КТ347А, КТ347Б, КТ316
ГТ310АГТ310Е	КТ3107АКТ3107Л, КТ343, КТ347А
ГТ313АГТ313В	КТ316АКТ316Д, КТ326А, КТ326Б, КТ349А, КТ349В
ГТ328АГТ328В	ГТ346АГТ346В, КТ349АКТ349В, КТ363
ГТ402АГТ402Г	КТ814АКТ814Г, КТ816АКТ816Г
ГТ403АГТ403Е	КТ814АКТ814Г, КТ816АКТ816Г
ГТ403, ГТ403И	КТ814Г, КТ816В, КТ816Г
ГТ404	КТ815А
ГТ404АГТ404Г	КТ815АКТ815Г, КТ817АКТ817Г
КТ201	П307, МП37А, МП37Б, КТ502АКТ502Е, КТ312АКТ312И, КТ315АКТ315И
КТ203А, КТ203Г	КТ501Л, КТ501М, КТ502Д, КТ502Е, КТ209Л, КТ209М
КТ203Б	КТ209ГКТ209М, КТ501ГКТ501М, КТ502ВКТ502Е, КТ361ВКТ361Е
КТ203В, КТ203Д	КТ361А, КТ361Е, КТ209АКТ209М, КТ502АКТ502Е
КТ209АКТ209В	КТ501АКТ501М, КТ350А

Транзисторы	Аналоги
КТ209ГКТ209Е	КТ501ГКТ501М, КТ350А
КТ209ЖКТ209К	КТ501ЖКТ501М
КТ209ЛКТ209М	КТ501ЛКТ501М
КТ312АКТ312В	КТ315АКТ315И, КТ3102АКТ3102Е, 2Т603А, 2Т608А, 2Т608Б
КТ312Б	КТ315ВКТ315И, КТ3102АКТ3102В, КТ3102Д, КТ3102Е, КТ3117А, 2Т608А, 2Т608Б
КТ315А, КТ315Б	КТ3102АКТ3102В, КТ3102ДКТ3102Е, КТ608А, КТ603А, КТ603Б
КТ315ВКТ315Е	КТ3102А, КТ3102Б, КТ3102Д, КТ3102Е, КТ608А, КТ608Б
КТ361АКТ361Е	КТ3107АКТ3107Л
КТ501АКТ501В	КТ209АКТ209В, КТ350А
КТ501ГКТ501Е	КТ209ГКТ209Е
КТ501ЖКТ501К	КТ209ЖКТ209К
КТ501Л, 501М	КТ209Л, КТ209М
КТ502А, КТ502Б	КТ501Г, КТ501Д, КТ209ГКТ209Е
КТ502В, КТ502Г	КТ501ЖКТ501К, КТ209ЖКТ209К
КТ502Д	КТ501л, КТ501М
КТ503АКТ503Г	КТ608А
КТ603АКТ603Г	КТ608А, КТ608Б, КТ3117А
П307, П308, П309	КТ605
П401, П402	КТ361АКТ361Е, КТ3107АКТ3107Л, ГТ309АГТ309Е, КТ343АКТ343В
П403	КТ361АКТ361Е, КТ3107АКТ3107Л, ГТ309АГТ309Е, КТ343А, КТ343В
П414, П415, П416	КТ361АКТ361Е, КТ3107АКТ3107Л, КТ343АКТ343В
2Т326А, 2Т326Б	КТ349А, КТ349В, КТ363

Таблица 4.10.
Взаимозаменяемость транзисторов большой мощности

Транзисторы	Аналоги
П201	П202, П213А, П213Б, П214АП214Г, КТ814БКТ814Г, КТ816БКТ816Г

Транзисторы	Аналоги
П202, П203	КТ816В, КТ816Г, П217АП217Г, П215
П210А	ГТ806АГТ806Д, КТ813А, КТ818В, КТ818Г
П213А, П213Б	КТ816КТ816Г
П214АП214Г	КТ818В, КТ818Г
П217АП217Г	КТ818В, КТ818Г
П302	П213, П214АП214Г, КТ814АКТ814Г, КТ815БКТ816Г
П303, П306	КТ214АКТ214Г, КТ814, КТ814Г, КТ816В, КТ816Г
П306А	П215, КТ814Г, КТ816Г
ГТ701А	ГТ806АГТ806Д, КТ818В, КТ818Г
ГТ703	КТ816БКТ816Г, КТ818БКТ818Г
КТ814А	КТ816А
КТ814Б	КТ816Б
КТ814В	КТ816В
КТ814Г	КТ816Г
П701, П701Б	КТ801А, КТ801Б, КТ807А, КТ807Б, КТ815АКТ815Г
П701А	КТ815АКТ815Г, КТ817Б, КТ817В
П702	КТ801А, КТ801Б, КТ817В, КТ817Г, КТ819В, КТ819Г
ГТ704АГТ704В	КТ814А, КТ826, КТ828А, КТ828Б
КТ801А	КТ817Г, КТ819Г, КТ829А, КТ829Б
КТ801Б	КТ817В, КТ817Г, КТ819В, КТ819Г, КТ829АКТ829В
КТ803А	КТ808А, КТ802А, КТ819В, КТ819Г, КТ908А, КТ908Б
КТ808А	КТ802А
КТ809	2Т824А, КТ228А
КТ812АКТ812В	КТ824АКТ824В
КТ815А	КТ817А
КТ815Б	КТ817Б
КТ815В	КТ817В
КТ815Г	КТ817Г
КТ903А, КТ903Б	КТ902А
КТ604А, КТ604Б	КТ904А, КТ904Б
П605	ГТ905
П607, П608, П609	КТ626АКТ626Д

В некоторых случаях, особенно при использовании эмиттерных повторителей, усиление по току одного транзистора оказывается недостаточным. В этом случае можно применять составные транзисторы. Они применяются в случаях, когда требуется большой коэффициент усиления по току, т. е. применяются в схемах, работающих с большими токами (например, в стабилизаторах напряжения или выходных каскадах усилителей мощности, если необходимо обеспечить большое входное сопротивление).

Полученную схему составного транзистора можно представить как некоторый транзистор с выводами Э, Б, К (рис. 4.20). Его параметры можно определить по формулам:

1. Коэффициент усиления по току $K = K_1 K_2$.

2. Входное сопротивление $R_{вх} = 2K \frac{U_T}{I_{К1}}$.

3. Крутизна $S = I_{К} / 2U_T$.

4. Выходное сопротивление $R_{вых} = \frac{2}{3} \cdot R_{КЭ2}$.

Чтобы транзистор VT2 (рис.4.20,а) быстрее закрывался, часто параллельно его переходу эмиттер-база включают резистор R1. Для получения составного транзистора можно также соединить параллельно два комплементарных транзистора (рис.4.20,б). При этом функции схемы определяются транзистором VT1, тогда как транзистор VT2 служит лишь для усиления тока. Его параметры можно определить по формулам:

1. Коэффициент усиления по току $K = K_1 K_2$.

2. Входное сопротивление $R_{вх} = K \frac{U_T}{I_{К1}}$.

3. Крутизна $S = I_{К} / U_T$.

4. Выходное сопротивление $R_{вых} = \frac{1}{2} \cdot R_{КЭ2}$.

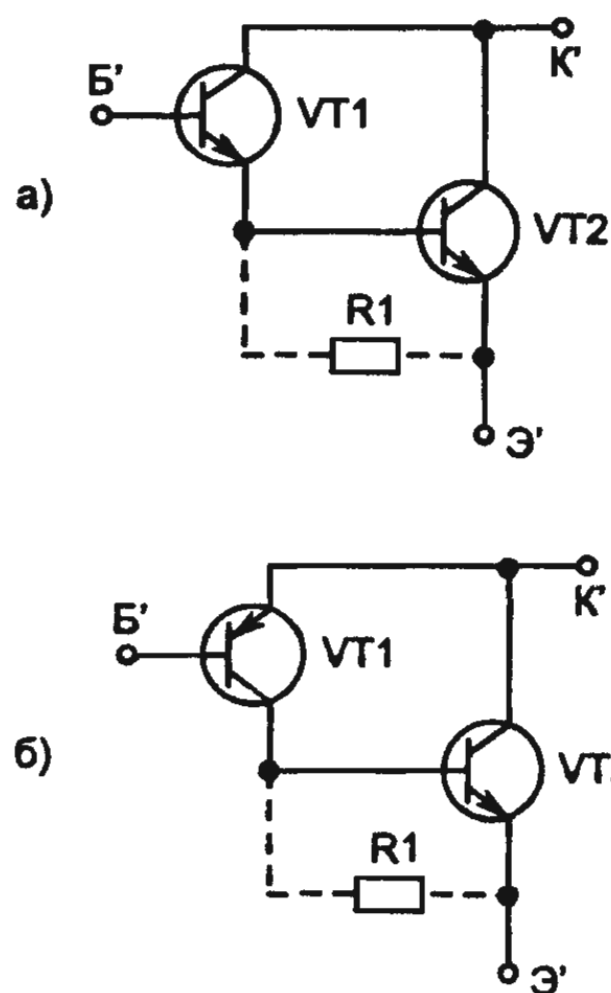


Рис. 4.20. Схема составного транзистора

Между базой и эмиттером транзистора VT2 также рекомендуется включать резистор R1. Обычно сопротивление R1 составляет несколько сотен ом в мощном составном транзисторе и несколько тысяч ом в маломощном составном транзисторе.

4.4. ПОЛЕВЫЕ ТРАНЗИСТОРЫ

Полевой транзистор (ПТ) — это полупроводниковый прибор, усилительные свойства которого обусловлены потоком основных носителей (электронов или дырок, протекающим через проводящий канал). В отличие от биполярных транзисторов работа ПТ основана на использовании основных носителей заряда в полупроводнике. На рис. 4.21 показаны УГО полевых транзисторов. По конструктивному исполнению и технологии изготовления ПТ можно разделить на две группы: ПТ с управляющим р-п-переходом и ПТ с изолированным затвором.

Электрод, из которого в канал входят основные носители заряда, называют истоком; электрод, через который в канал уходят носители заряда, — стоком; электрод, служащий для регулирования поперечного сечения канала, — затвором. При подключении к истоку отрицательного (для n-канала), а к стоку положительного напряжения в канале возникает электрический ток, создаваемый движением электронов от истока к стоку, т. е. основными носителями заряда. В этом заключается существенное отличие ПТ от биполярного транзистора. Движение носителей заряда вдоль электронно-дырочного перехода (а не через переходы, как в би-

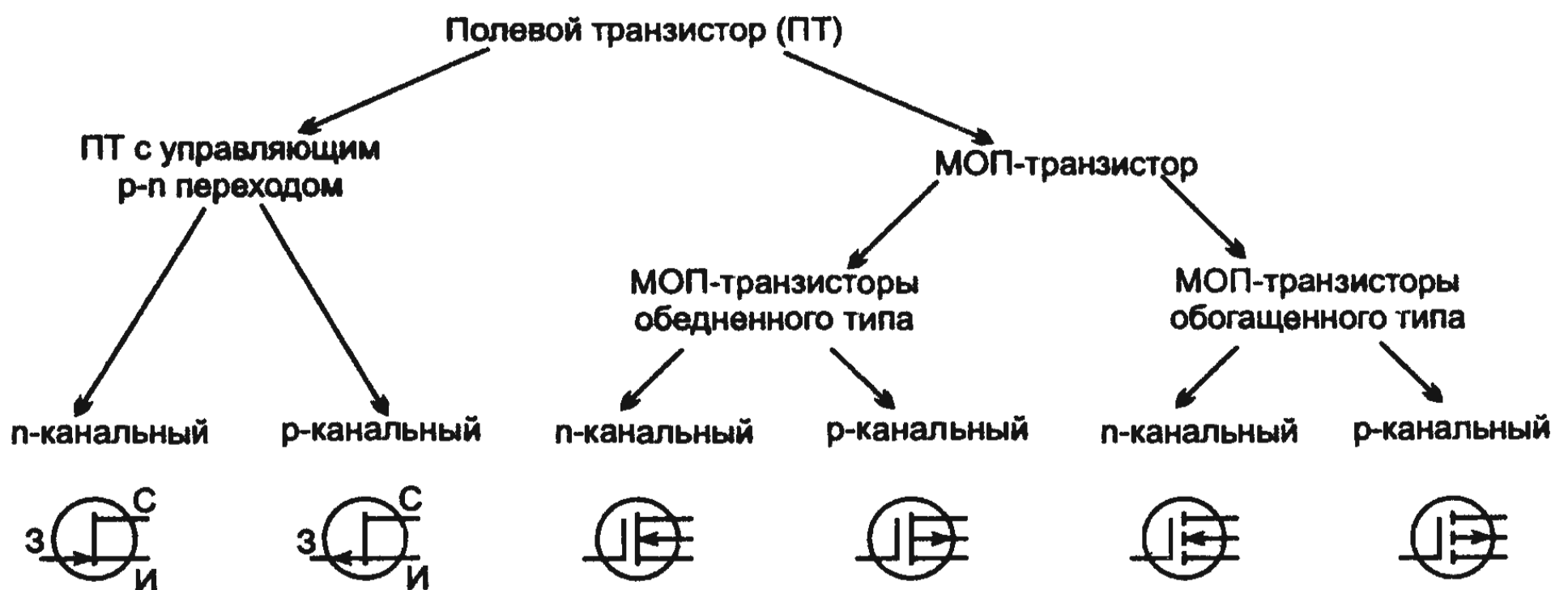


Рис. 4.21. УГО полевых транзисторов

полярном транзисторе) является второй характерной особенностью ПТ.

ПТ с изолированным затвором имеют структуру, состоящую из металла, диэлектрика и полупроводника, поэтому их часто называют МДП-транзисторами, или МОП-транзисторами (металл — оксид — полупроводник). Существуют две разновидности МДП-транзисторов: с индуцированным и со встроенным каналами.

В МДП-транзисторах с индуцированным каналом заметный ток стока появляется только при определенной полярности и при определенном значении напряжения на затворе относительно истока — отрицательного при р-канале и положительного при п-канале. Это напряжение называют пороговым ($U_{\text{пор}}$).

В МДП — транзисторах со встроенным каналом проводящий канал образуется при напряжении на затворе, равном нулю. Ток стока можно управлять, изменяя значение и полярность напряжения между затвором и истоком. При некотором положительном напряжении затвор-исток транзистора с р-каналом или отрицательном напряжении транзистора с п-каналом ток в цепи стока прекращается. Это напряжение называют напряжением отсечки ($U_{\text{ЗИ.отс}}$).

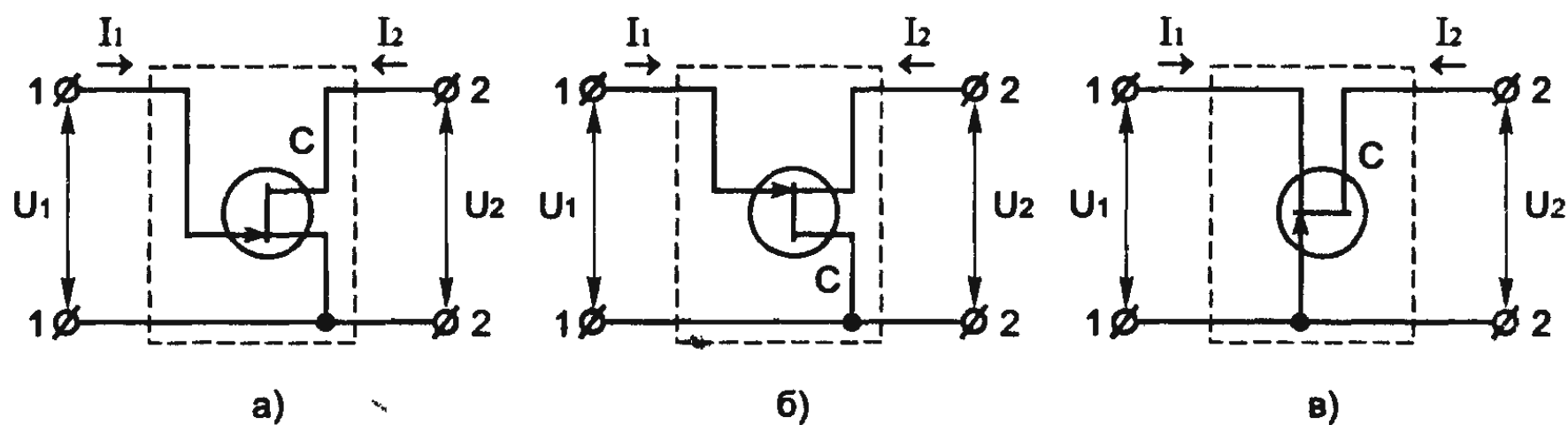


Рис. 4.22. Схемы включения ПТ

ПТ в качестве элемента схемы представляет собой активный несимметричный четырехполюсник, у которого один из зажимов является общим для цепей входа и выхода. В зависимости от того, какой из электродов ПТ подключен к общему выводу, различают схемы: с общим истоком и входом на затвор (рис. 4.22,а); с общим стоком и входом на затвор (рис. 4.22,б); с общим затвором и входом на исток (рис. 4.22,в). По аналогии с ламповой электроникой, где за типовую принята схема с общим катодом, для ПТ типовой является схема с общим истоком.

4.4.1. Основные параметры полевых транзисторов

1. **Начальный ток стока** $I_{C.нач}$ — ток стока при напряжении между затвором и истоком, равном нулю, и напряжении на стоке, равном или превышающем напряжение насыщения.

2. **Остаточный ток стока** $I_{C.ост}$ — ток стока при напряжении между затвором и истоком, превышающем напряжение отсечки.

3. **Ток утечки затвора** $I_{з.ут}$ — ток затвора при заданном напряжении между затвором и остальными выводами, замкнутыми между собой.

4. **Напряжение отсечки** $U_{зи.отс}$ — напряжение между затвором и истоком транзистора с р-п-переходом или изолированным затвором, работающего в режиме обеднения, при котором ток стока достигает заданного низкого значения (обычно 10 мкА).

5. **Пороговое напряжение** $U_{зи.пор}$ — напряжение между затвором и истоком транзистора с изолированным затвором, работающего в режиме обогащения, при котором ток стока достигает заданного низкого значения (обычно 10 мкА).

6. **Крутизна характеристик** S — отношение изменения тока стока к изменению напряжения на затворе при коротком замыкании по переменному току на выходе транзистора в схеме с общим истоком. Значение S зависит от рабочей точки транзистора. Измеряют S на низкой частоте (обычно 50...1500 Гц).

В таблице 4.11 приведены основные параметры некоторых наиболее распространенных ПТ.

Таблица 4.11.
Основные параметры полевых транзисторов

Полевой транзистор	Максим. допустимое $U_{сток — исток}$, $U_{си макс}$, В	Крутизна характеристики, S , мА/В	Начальный ток стока, $I_{с0}$, мА	Напряжение отсечки, $U_{зи отс}$, В, не более
КП102Е	20	0,250,7	0,180,55	2,8
КП102Ж	20	0,30,9	0,41,0	4,0
КП102И	20	0,351,0	0,71,8	5,5
КП102К	20	0,451,2	1,33,0	7,5
КП102Л	20	0,651,3	2,46,0	10,0
КП103Е	15	0,41,8	0,30,7	1,5
КП103Ж	15	0,72,1	0,551,2	2,2

Полевой транзистор	Максим. допустимое $U_{\text{сток — исток}}$, $U_{\text{сн макс}}$, В	Крутизна характеристики, S , мА/В	Начальный ток стока, $I_{\text{с0}}$, мА	Напряжение отсечки, $U_{\text{зи отс}}$, В, не более
КП103И	15	0,82,6	1,02,1	3,0
КП103К	15	1,43,5	1,73,8	4,0
КП103Л	15	1,83,8	3,06,6	6,0
КП103М	15	2,04,4	5,412	7,0
КП302А	20	5	24	5,0
КП302Б	20	7	43	7,0
КП302В	20	—	43	10,0
КП303А	25	14	20	0,53,0
КП303Б	25	14	20	0,53,0
КП303В	25	25	20	1,04,0
КП303Г	25	37	20	8,0
КП303Д	25	2,6	20	8,0
КП303Е	25	4	20	8,0
КП303Ж	25	14	20	0,33,0
КП303И	25	26	20	0,52,0

Частотные свойства ПТ определяются постоянной времени RC-цепи затвора. Поскольку входная емкость у транзистора с р-п-переходом велика (десятки пикофарад), их применение в усилительных каскадах с большим входным сопротивлением возможно в диапазоне частот, не превышающих сотен килогерц — единиц мегагерц. У ПТ с изолированным затвором входная емкость значительно меньше, поэтому их частотные свойства намного лучше, чем у ПТ с р-п-переходом.

Тепловые параметры ПТ характеризуют его устойчивость при работе в диапазоне температур. В отличие от биполярных транзисторов, у которых при повышении температуры ток коллектора возрастает, ток стока ПТ

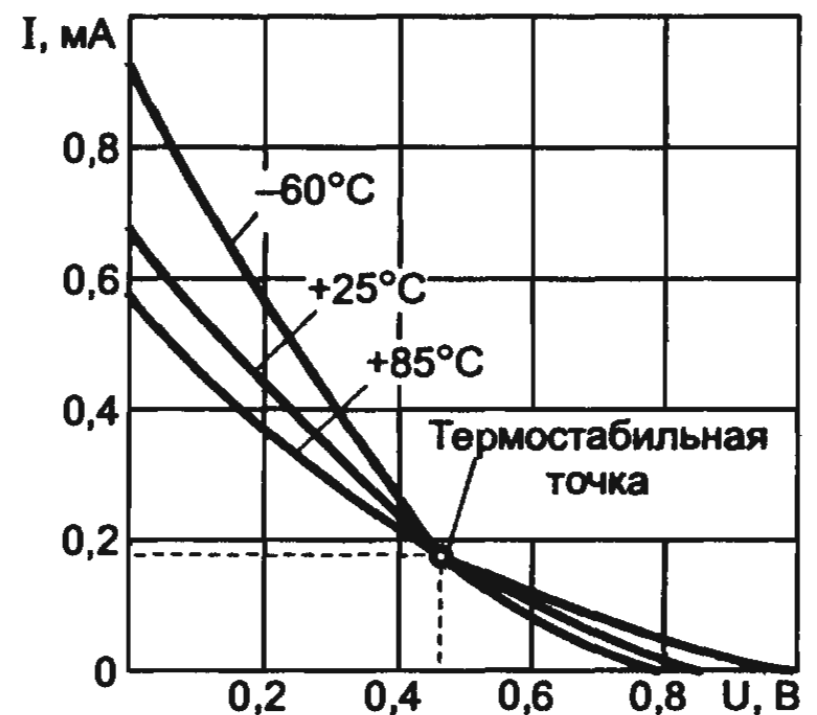


Рис. 4.23. Стоко-затворные характеристики ПТ при температурах: 1) +85°C; 2) +25°C; 3) -60°C

в зависимости от выбранного режима может увеличиваться, уменьшаться или оставаться постоянным. На рис. 4.23 приведены стоко-затворные характеристики при различных температурах окружающей среды и указано положение термостабильной точки. Зависимость крутизны характеристики от температуры у полевых транзисторов такая же, как и у тока стока. С ростом температуры ток утечки затвора увеличивается. Хотя абсолютное изменение тока незначительно, его надо учитывать при больших сопротивлениях в цепи затвора. В этом случае изменение тока утечки затвора может вызвать существенное изменение напряжения на затворе ПТ и режима его работы.

В ПТ с изолированным затвором ток затвора практически не зависит от температуры.

При конструировании устройств на ПТ следует учитывать, что с увеличением напряжения отсечки термостабильная точка смещается в область малых токов стока, где относительная крутизна характеристики невелика. Поэтому в устройствах, которые должны иметь минимальную температурную нестабильность, необходимо применять транзисторы с индексом Е (Ж), у которых напряжение отсечки мало, а термостабильная точка находится в средней части стоко-затворной характеристики с относительно большой крутизной. У транзисторов же последних групп (КП102К, КП102Л) термостабильная точка находится в самом начале характеристики, где ее крутизна и ток стока относительно невелики, хотя и больше, чем у транзисторов КП102Е.

4.4.2. Максимально допустимые параметры

Они определяют значения конкретных режимов ПТ, которые не должны превышать при любых условиях эксплуатации, при которых обеспечивается заданная надежность. К максимально допустимым параметрам относятся: максимально допустимое напряжение затвор — исток $U_{ЗИ.мах}$, затвор — сток $U_{ЗС.мах}$, сток — исток $U_{СИ.мах}$, максимально допустимое напряжение сток — подложка $U_{СП.мах}$, исток — подложка $U_{ИП.мах}$, затвор — подложка $U_{ЗП.мах}$. Максимально допустимый постоянный ток стока $I_{С.мах}$, максимально допустимый прямой ток затвора $I_{З(пр)мах}$, максимально допустимая постоянная рассеиваемая мощность $P_{мах}$.

Все основные и максимально допустимые параметры ПТ можно найти в справочниках по транзисторам.

4.4.3. Вольт-амперные характеристики ПТ

Они устанавливают зависимость тока стока I_C от одного из напряжений $U_{СИ}$ или $U_{ЗИ}$ при фиксированной величине второго.

Статические стоковые характеристики ПТ с управляющим р-п-переходом представляют собой выраженную графически зависимость $I_C = \varphi(U_{СИ})$ при $U_{ЗИ} = \text{const}$. При $U_{ЗИ} = 0$ и малых значениях $U_{СИ}$ ток стока изменяется прямо пропорционально напряжению (начало участка АБ, рис. 4.24,а). В точке Б из-за заметного сужения стокового участка канала и уменьшения его общей проводимости намечается некоторое отклонение характеристики от прямой линии. На участке БВ существенное сужение стокового участка канала и значительное уменьшение его общей проводимости замедляют рост тока I_C с увеличением $U_{СИ}$. В точке В при $U_{СИ.нас} = |U_{ЗИ.отс}|$ ток стока достигает значения насыщения и при дальнейшем увеличении $U_{СИ}$ остается почти неизменным. Этот ток называется начальным током стока $I_{C.нач}$. При $U_{СИ.проб}$ возникает электрический пробой стокового участка управляющего р-п-перехода и ток стока резко возрастает. При подаче некоторого отрицательного напряжения на затвор ($U_{ЗИ} < 0$) управляющий р-п-переход расширяется, сужая токопроводящий канал, что приводит к уменьшению исходной проводимости канала и более пологому ходу начального участка данной статической стоковой характеристики. При этом значения $U_{СИ.нас}$ и $I_{C.нас}$ уменьшаются. Несколько меньшим оказывается и напряжение электрического пробоя, так как обратное напряжение на стоковом участке управляющего р-п-перехода представляет собой сумму $U_{СИ} + |U_{ЗИ}|$. Аналогичный вид имеют и все остальные харак-

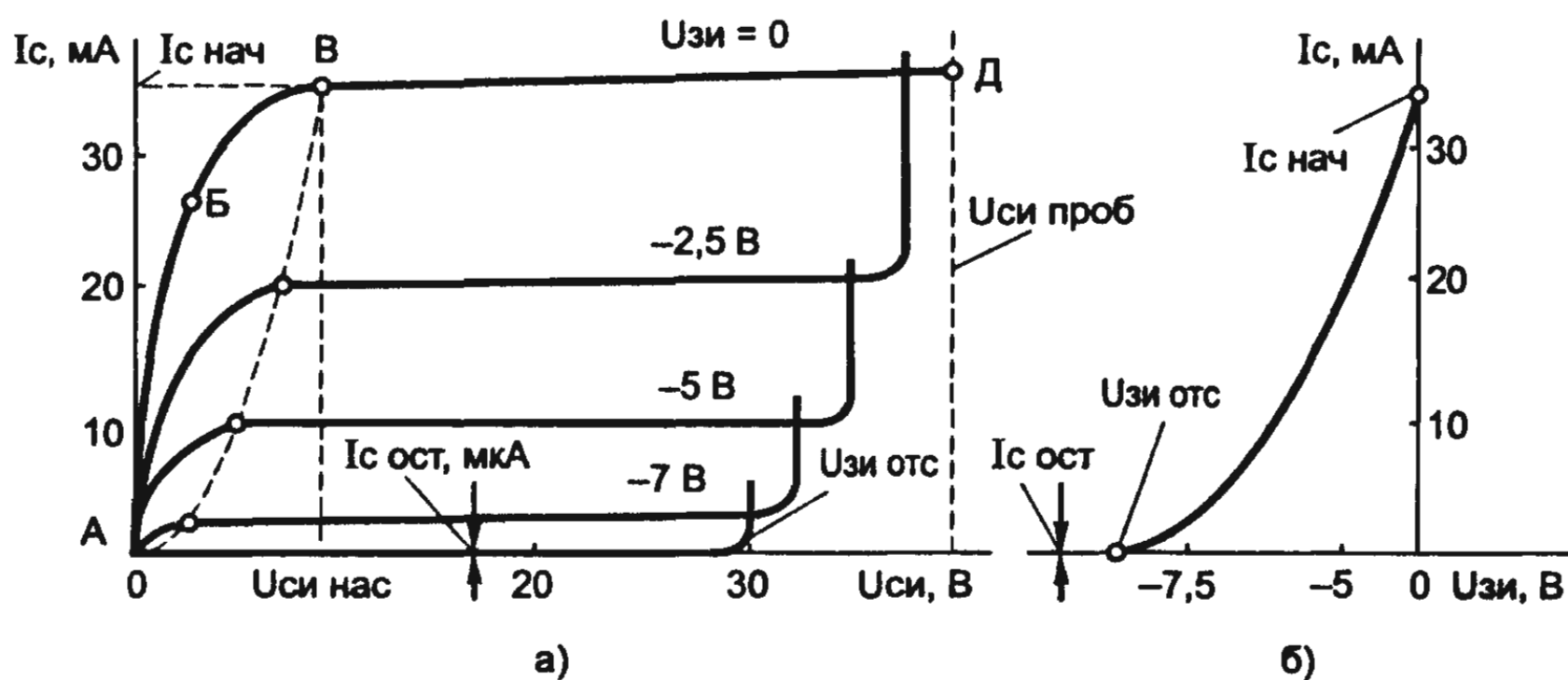


Рис. 4.24. ВАХ ПТ с р-п — переходом и п — каналом: а) стоковые; б) стоко-затворные

теристики семейства. Геометрическое место точек, соответствующих перекрытию токопроводящего канала и наступлению режима насыщения на графике (рис. 4.24, а), показано штриховой линией.

Статическая стоко-затворная характеристика (характеристика управления) $I_C = \varphi(U_{ЗИ})$ приведена на рис. 4.24,б. Так как ПТ обычно работает в режиме насыщения, то, как правило, рассматривают стоко-затворную характеристику для этого режима работы. Начальный участок при $U_{ЗИ.отс}$ соответствует установлению в транзисторе остаточного тока $I_{C.ост}$, имеющего значение несколько микроампер. При $U_{ЗИ} = 0$ значение тока стока достигает максимальной величины $I_{C.мах}$.

Статические стоковые характеристики МДП-транзисторов с индуцированным каналом имеют аналогичный характер (рис. 4.25). При определенном напряжении $|U_{ЗИ}| < |U_{ЗИ.пор}|$ канал находится практически в закрытом состоянии ($I_C = I_{C.ост}$). При увеличении напряжения $U_{ЗИ} > U_{ЗИ.пор}$ происходит смещение тока насыщения в сторону увеличения. Начальный участок стоко-затворной характеристики при $U_{ЗИ.пор}$ соответствует $I_C = I_{C.ост}$, аналогично ПТ с р-п-переходом.

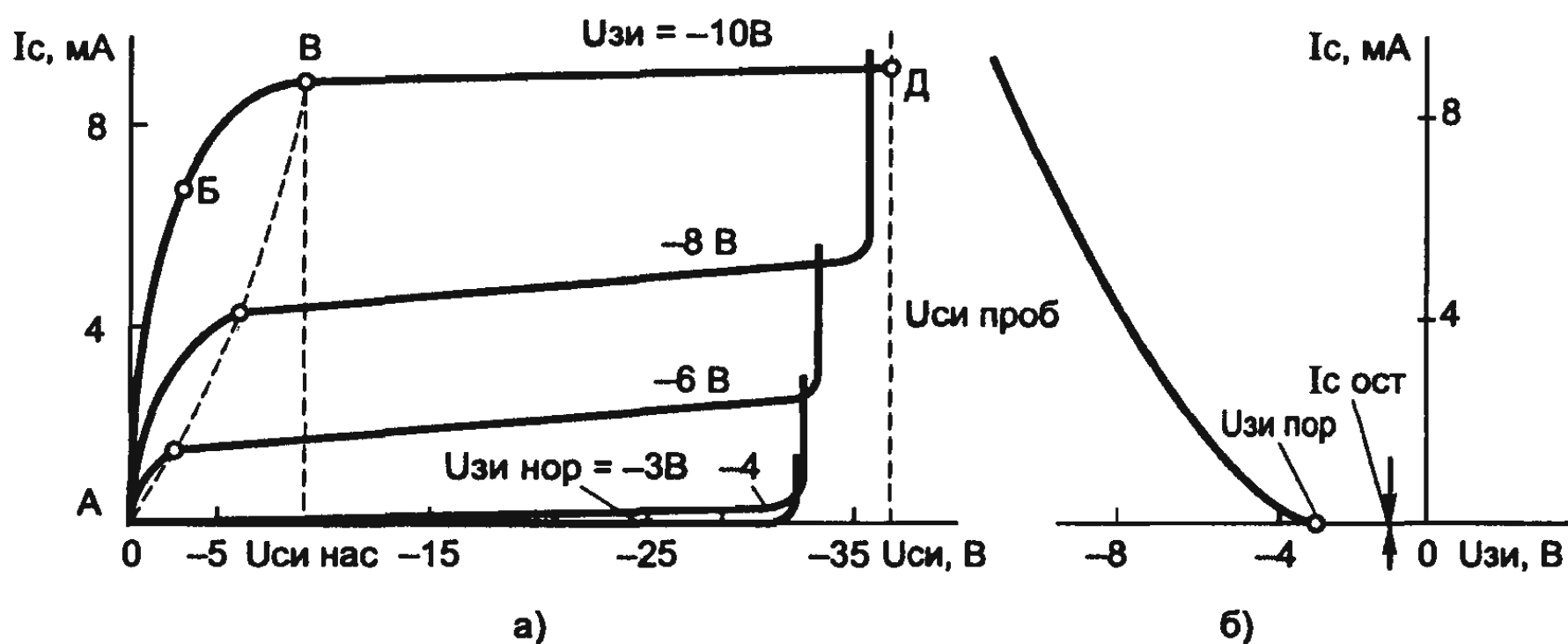


Рис. 4.25. ВАХ ПТ с индуцированным каналом р — типа: а) стоковые; б) стоко-затворные

В МДП-транзисторе с индуцированным каналом с подложкой р-типа при $U_{ЗИ} = 0$ канал п — типа может находиться в проводящем состоянии. При некотором пороговом напряжении $U_{ЗИ.пор} < 0$ проводимость канала значительно уменьшается. Статические стоковые характеристики в этом случае будут иметь вид, изображенный на рис. 4.26,а, а стоко-затворная характеристика пересекает ось ординат в точке со значением тока $I_{C.нач}$ (рис. 4.26,б).

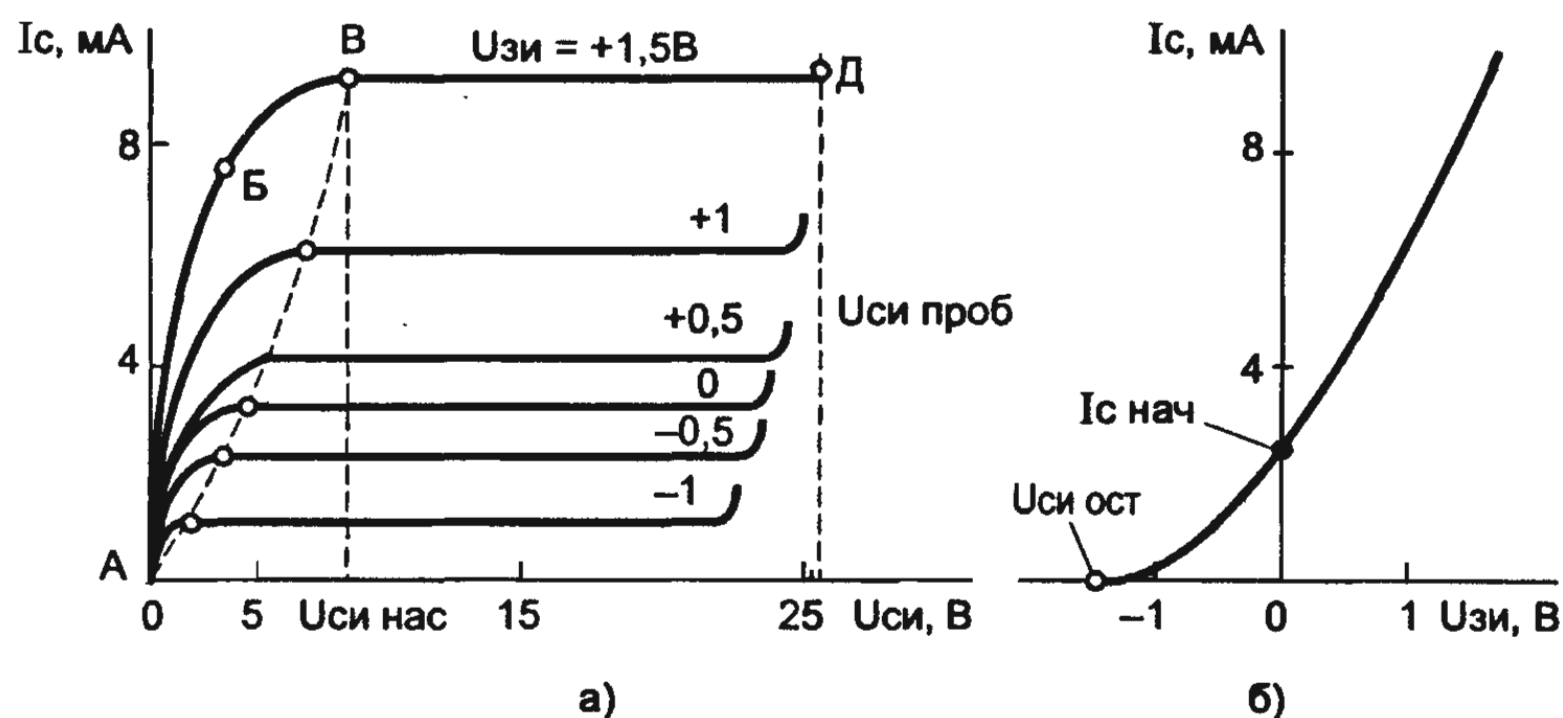


Рис. 4.26. ВАХ ПТ со встроенным каналом n -типа: а) стоковые; б) стоко-затворные

Особенностью МДП-транзистора с индуцированным каналом n -типа является возможность работы без постоянного напряжения смещения ($U_{зи} = 0$) в режиме как обеднения, так и обогащения канала основными носителями заряда. МДП-транзистор со встроенным каналом имеет вольт-амперные характеристики, аналогичные изображенным на рис. 4.26.

Токи утечки затвора ПТ очень малы, но они резко возрастают при загрязнении изолятора вывода затвора и при увеличении влажности. Поэтому для обеспечения малых токов затвора рекомендуется перед монтажом промыть изолирующую часть корпуса ПТ в спирте, затем высушить и покрыть влагостойким лаком (например, УР-231 или Э-4100).

ПТ чувствительны к перегрузкам на затворе, даже если напряжение вызвано маломощным источником.

Некоторые трудности взаимной замены ПТ заключаются в разнообразии технологии их изготовления, в результате чего наблюдается несовместимость свойств транзисторов разных групп. В таблице 4.12 приведены группы замены, причем при замене транзистором внутри группы может потребоваться лишь коррекция режима работы. Замена транзисторов между различными группами уже обуславливает либо изменение полярности напряжения питания, либо пересчета (подбора) деталей цепей смещения и изменение полярности напряжения питания.

При замене ПТ необходимо в первую очередь исходить из того, что заменяющий транзистор должен иметь возможно близкие значения двух параметров: тока стока при напряжении смещения между затвором и истоком, равном нулю, и напряжения отсечки — напряжения между затвором и истоком, при котором ПТ закрыва-

ется и ток не превышает 10 мкА. Это позволяет практически исключить необходимость коррекции режима работы по постоянному току. Усилительные свойства каскада будут зависеть уже только от крутизны характеристики и предельной частоты ПТ.

Таблица 4.12.
Группы замены ПТ

Группы ПТ	Последовательность замены
Кремниевые планарные низкой частоты с р-п переходом и каналом р-типа	КП101Г101Е, КП102ЕКП102Л, КП103ЕКП103М, КП202ЕКП202Л
Кремниевые планарные высокой частоты с р-п переходом и каналом п-типа	КП302АКП302В, КП303АКП303И, КП307АКП307Ж
МОП — транзисторы высокой частоты с изолированным затвором и встроенным каналом п -типа	КП305ДКП305И
МОП — транзисторы высокой частоты с изолированным затвором и индуцированным каналом р-типа	КП301Б; КП304А
МОП — транзисторы высокой частоты с двумя изолированными затворами и встроенным каналом п-типа	КП306АКП306В, КП350АКП350В

4.4.4. Рекомендации по применению ПТ

ПТ имеют ВАХ, подобные ламповым, и обладают всеми преимуществами транзисторов. Это позволяет применять их в схемах, где в большинстве случаев использовались электронные лампы, например, в усилителях постоянного тока с высокоомным входом, в истоковых повторителях с особо высокоомным входом, в электрометрических усилителях, различных реле времени, РС-генераторах синусоидальных колебаний низких и инфранизких частот, в генераторах пилообразных колебаний, УНЧ, работающих от источников с большим внутренним сопротивлением, в активных РС-фильтрах низких частот. ПТ с изолированным затвором используют в высокочастотных усилителях, смесителях, ключевых устройствах.

Кроме того, следует учитывать, что:

1. На затвор ПТ с р-п-переходом не рекомендуется подавать напряжение, смещающее переход в прямом направлении (отрицательное для транзисторов с р — каналом и положительное для транзисторов с п-каналом).

2. ПТ с изолированным затвором следует хранить с закороченными выводами. При включении транзисторов в схему должны быть приняты все меры для снятия зарядов статического электричества. Необходимо пайку производить на заземленном металлическом листе, заземлить жало паяльника, а также руки монтажника при помощи специального металлического браслета. Не следует применять одежду из синтетических тканей. Целесообразно подсоединять ПТ к схеме, предварительно закоротив его выводы.

4.5. ТИРИСТОРЫ

Тиристоры — это полупроводниковые приборы с четырехслойной p-n-p-n структурой, которые могут находиться в одном из двух состояний: «закрото» или «открито». Эта особенность приборов отражена в их названии: «тира» — по-гречески означает «дверь».

Их используют для включения и выключения тока через реле, электродвигатели, лампы накаливания, для создания мощных импульсов тока вследствие разряда конденсаторов, а также для управления током через другие силовые нагрузки. Тиристор является ключевым элементом. Через тиристор, находящийся в выключенном состоянии, проходит незначительный ток утечки. Если тиристор включен и находится в проводящем состоянии, то при протекании значительного тока (достигающего иногда десятков и сотен ампер) остаточное напряжение на нем мало и не превышает десятых долей единиц вольт.

Тиристор, имеющий выводы только от крайних слоев, называется диодным тиристором или динистором; при дополнительном выводе от одного из средних слоев он называется триодным тиристором или тринистором. Тиристоры также бывают запираемые и симметричные (семисторы).

Условное графическое изображение тиристоров приведено на рис. 4.27; на анод подается положительное напряжение источника питания, а на катод. — отрицательное.

Вольт-амперная характеристика динистора представлена на рис. 4.28. Участок OA соответствует выключенному (закрото) состоянию динистора. На этом участке через динистор протекает

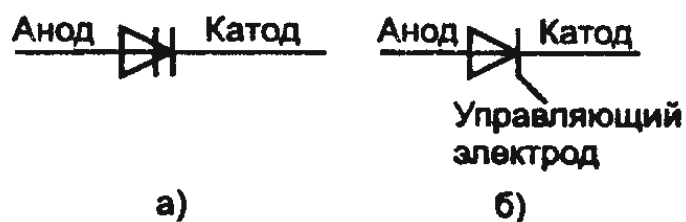


Рис. 4.27. УГО динистора и тринистора

ток утечки $I_{зс}$ и его сопротивление очень велико (порядка нескольких мегаом). При повышении напряжения до определенного значения $U_{прк}$ (точка А характеристики) ток через динистор резко возрастает. Дифференциальное сопротивление динистора (т. е. сопротивление переменному току) в точке А равно нулю. На участке АБ дифференциальное сопротивление динистора отрицательное, этот участок соответствует неустойчивому состоянию динистора. При включении

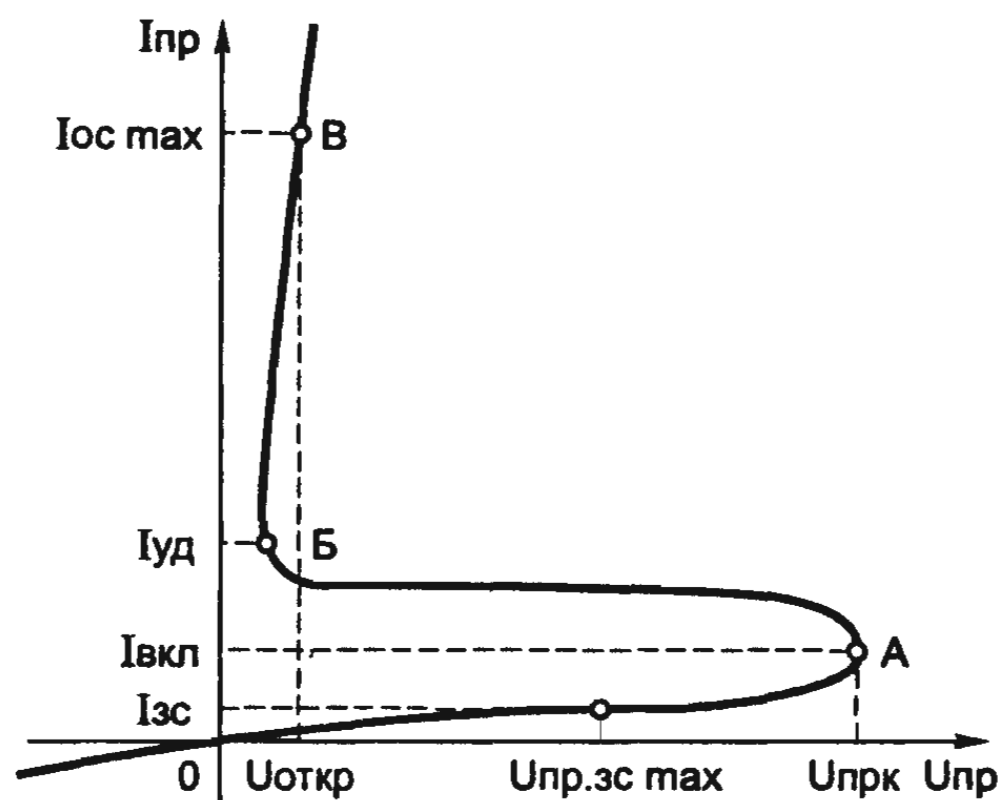


Рис. 4.28. ВАХ динистора

последовательно с динистором небольшого сопротивления нагрузки рабочая точка перемещается на участок БВ, соответствующий включенному состоянию динистора. На этом участке дифференциальное сопротивление динистора положительное. Для поддержания динистора в открытом состоянии через него должен протекать ток не менее $I_{уд}$. Снижая напряжение на динисторе, можно уменьшить ток до значения меньшего, чем $I_{уд}$, и перевести динистор в выключенное состояние.

Вольт-амперная характеристика тиристора (рис. 4.29), снятая при нулевом токе управляющего электрода, подобна характери-

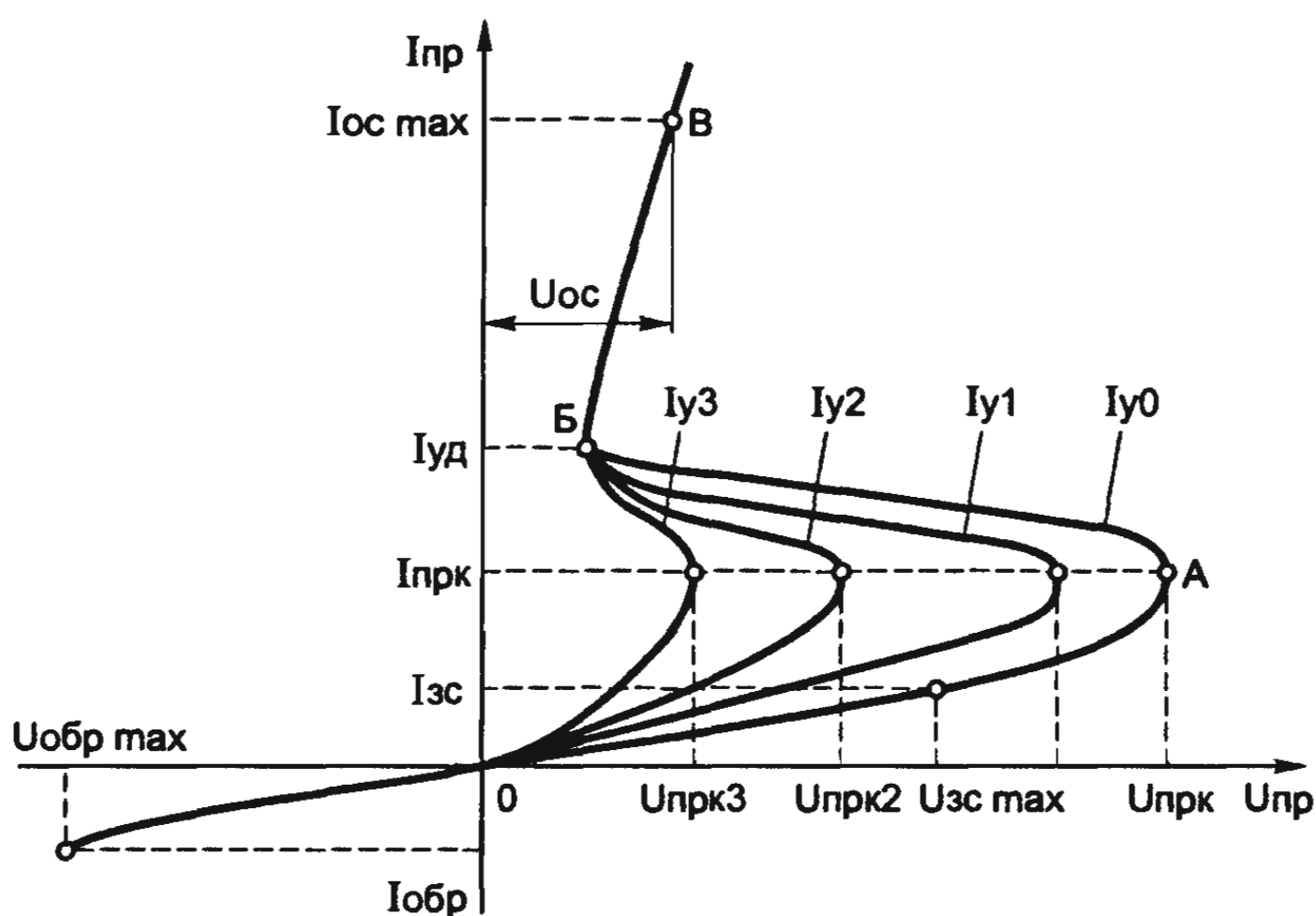


Рис. 4.29. ВАХ тринистора

стике динистора. Рост тока управляющего электрода (от $I_y = 0$ до I_{y3}) приводит к смещению ВАХ в сторону меньшего напряжения включения (от $U_{\text{ПРК0}}$ до $U_{\text{ПРК3}}$). При достаточно большом токе управляющего электрода, называемом током спрямления, ВАХ тринистора вырождается в характеристику обычного диода, теряя участок отрицательного сопротивления. Для выключения тринистора необходимо, снижая напряжение на нем, уменьшить ток через тринистор до значения, меньшего, чем $I_{\text{уд}}$.

Запираемые триодные тиристоры в отличие от обычных триодных тиристоров способны переключаться из отпертого состояния в запертое не только при уменьшении анодного тока, но и при подаче сигнала отрицательной полярности на управляющий электрод. Структура запираемого тринистора аналогична структуре обычного тринистора.

Симметричные тиристоры (семисторы) имеют пятислойную структуру и обладают отрицательным сопротивлением на прямой и обратной ветвях ВАХ. Обратная ветвь ВАХ симметричного тиристора расположена в третьем квадранте и аналогична прямой ветви. Они включаются при подаче управляющего импульса не только при прямом, но и обратном напряжении на аноде, поэтому такие тиристоры могут работать в цепях управления переменным током. Отпирание семисторов производится посредством сигналов управления, запираение — снятием разности потенциалов между силовыми электродами (анодом и катодом).

4.5.1. ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ТИРИСТОРОВ

1. **Максимально допустимое постоянное обратное напряжение $U_{\text{ОБР.max}}$** — предельно допустимое обратное напряжение на тиристоре (на аноде отрицательное напряжение). Для тиристоров некоторых типов это значение не оговорено и подача обратного напряжения на эти тиристоры не допускается.

2. **Максимально допустимое постоянное прямое напряжение в закрытом состоянии $U_{\text{З.С.max}}$** — максимальное постоянное прямое напряжение, при котором тиристор находится в закрытом состоянии.

3. **Постоянный отпирающий ток управляющего электрода $I_{y.min}$** — минимальный постоянный ток управляющего электрода, который обеспечивает переключение тиристора из закрытого состояния в открытое.

4. **Напряжение в открытом состоянии** $U_{\text{откр}}$ — основное напряжение на тиристоре при определенном токе в открытом состоянии.

5. **Постоянный прямой ток управляющего электрода** $I_{y,\text{max}}$ — максимальное значение силы тока управляющего электрода.

6. **Удерживающий ток** $I_{\text{уд}}$ — минимальный основной ток, который необходим для поддержания тиристора в открытом состоянии.

7. **Ток выключения** $I_{\text{выкл}}$ — ток анода, при котором тиристор выключается.

8. **Время включения** $T_{\text{вкл}}$ и **время выключения** $T_{\text{выкл}}$ — характеризуют быстродействие тиристора.

Основные параметры тиристорov приведены в табл. 4.13 и 4.14.

Таблица 4.13.
Основные электрические параметры динисторов

Параметры	Значения параметров динисторов						
	КН102А	КН102Б	Н102В	Н102Г	Н102Д	КН102Ж	КН102И
Наибольшее прямое напряжение, В	5	7	10	14	20	30	50
Наибольшее обратное напряжение, В	10	10	10	10	10	10	10
Наибольший ток в открытом состоянии, мА	200	200	200	200	200	200	200

Таблица 4.14.
Основные электрические параметры тринисторов

Тиристоры	Постоянное прямое напряжение, В	Постоянное обратное напряжение, В	Постоянный ток в открытом состоянии, А	Рассеиваемая средняя мощность не более, Вт
КУ101А	50	10	0,075	0,15
КУ101Б	50	50	0,075	0,15
КУ101Г	80	80	0,075	0,15
КУ101Е	150	150	0,075	0,15

Тиристоры	Постоянное прямое напряжение, В	Постоянное обратное напряжение, В	Постоянный ток в открытом состоянии, А	Рассеиваемая средняя мощность не более, Вт
КУ201А	25	—	2	4
КУ201Б	25	25	2	4
КУ201В	50	—	2	4
КУ201Г	50	50	2	4
ight КУ201Д	100	—	2	4
КУ201Е	100	100	2	4
КУ201Ж	200	—	2	4
КУ201И	200	200	2	4
КУ201К	300	—	2	4
КУ201Л	300	300	2	4
КУ202А	25	—	10	20
КУ202Б	25	25	10	20
КУ202В	50	—	10	20
КУ202Г	50	50	10	20
КУ202Д	100	—	10	20
КУ202Е	100	100	10	20
КУ202Ж	200	—	10	20
КУ202И	200	200	10	20
КУ202К	300	—	10	20
КУ202Л	300	300	10	20
КУ202М	400	—	10	20
КУ202Н	400	400	10	20

Важной особенностью тиристоров является их способность работать в импульсных режимах с токами, значительно превышающими допустимые постоянные токи в открытом состоянии. На-

пример, динисторы КН102 при постоянном токе не более 0,2 А допускают импульсный ток до 10 А (при длительности импульса не более 10 мкс).

В ряде устройств, в которых напряжение источника питания превышает наибольшее постоянное прямое напряжение в закрытом состоянии одного динистора, используется последовательное соединение нескольких (обычно однотипных) динисторов (рис. 4.30).

Для выравнивания напряжения на динисторах применяют резисторы $R_{ш}$. Сопротивление шунтируемых резисторов рассчитывают по формуле:

$$R_{ш} \leq \frac{m \cdot U_{з.с.маx} - U_{пит}}{(m - 1) \cdot I_{з.с.}}$$

где $U_{з.с.маx}$ — наибольшее постоянное прямое напряжение динистора в закрытом состоянии;

$U_{пит}$ — напряжение источника питания;

$I_{з.с.}$ — ток в закрытом состоянии;

m — число последовательно соединенных динисторов.

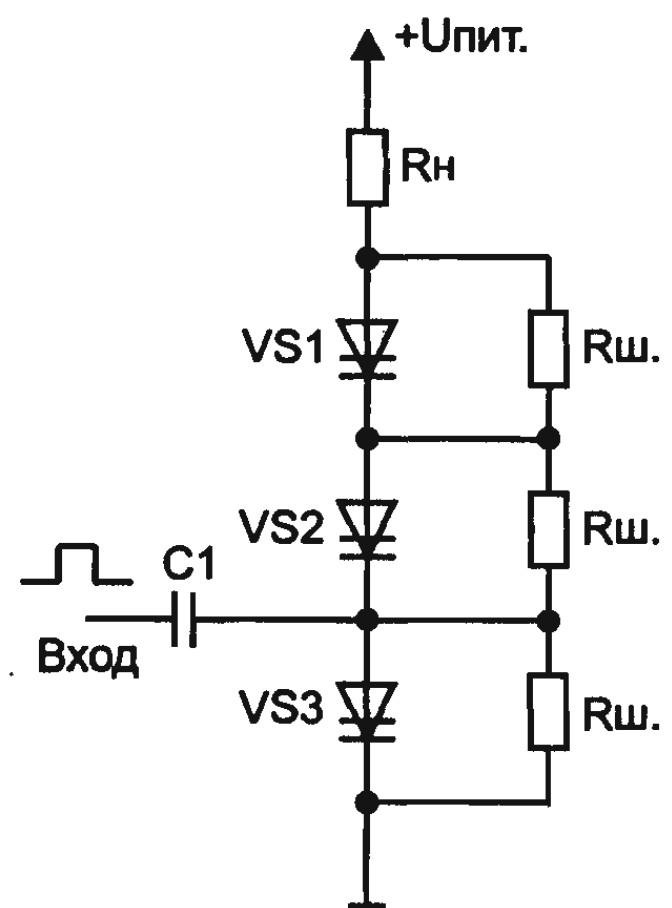
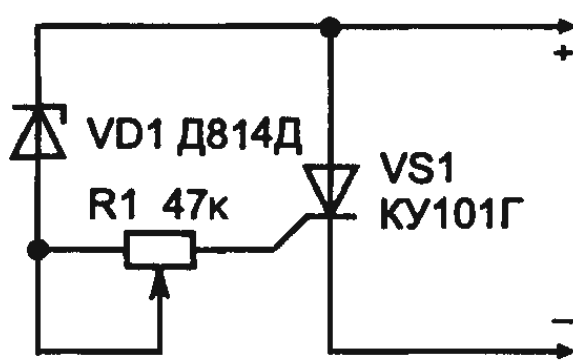
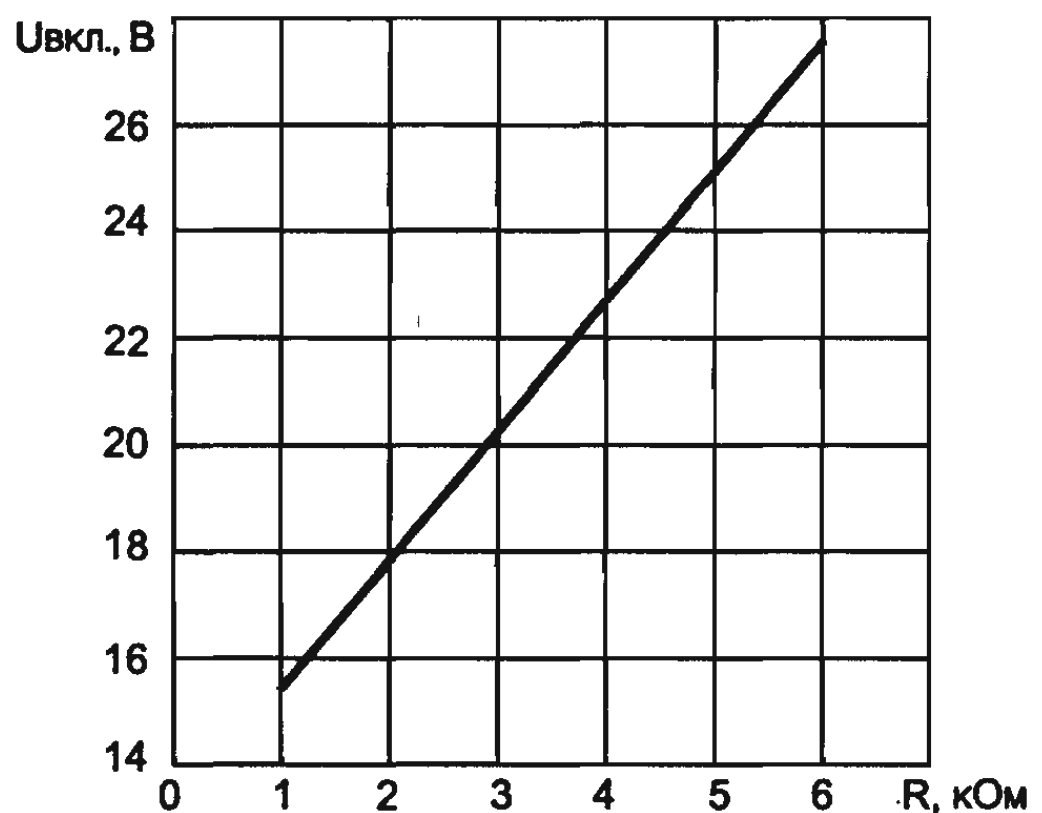


Рис. 4.30. Последовательное включение динисторов



а)



б)

Рис. 4.31. Регулируемый аналог динистора

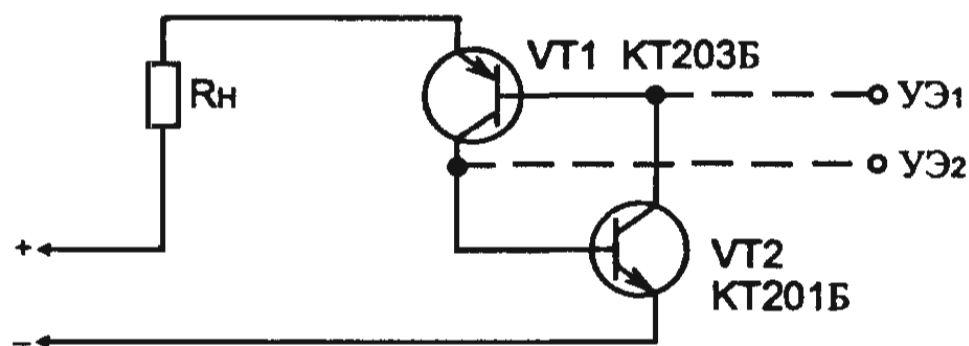


Рис. 4.32. Аналог тиристора КУ101

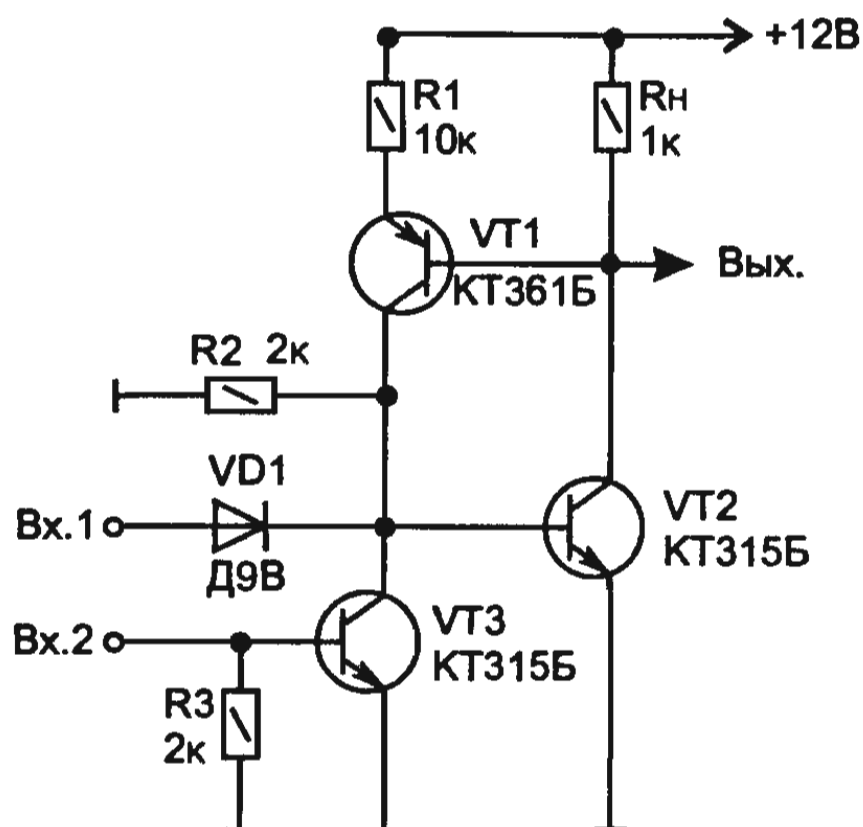


Рис. 4.33. Аналог запираемого тиристора

В крайнем случае нужный динистор можно заменить регулируемым аналогом (рис. 4.31,а). Он позволяет регулировать напряжение включения в больших пределах. Зависимость напряжения включения от сопротивления резистора R_1 показана на рис. 4.31,б.

Аналог тринистора КУ101 показан на рис. 4.32, а аналог запираемого тринистора показан на рис. 4.33.

4.6. ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

4.6.1. Испытатель тиристорov

Прибор позволяет проверить тиристор на работоспособность. Он состоит (рис. 4.34) из понижающего трансформатора Т1 с напряжением на вторичной обмотке 6,3 В, рассчитанный на ток примерно 0,5 А, однополупериодного выпрямителя на диоде VD1

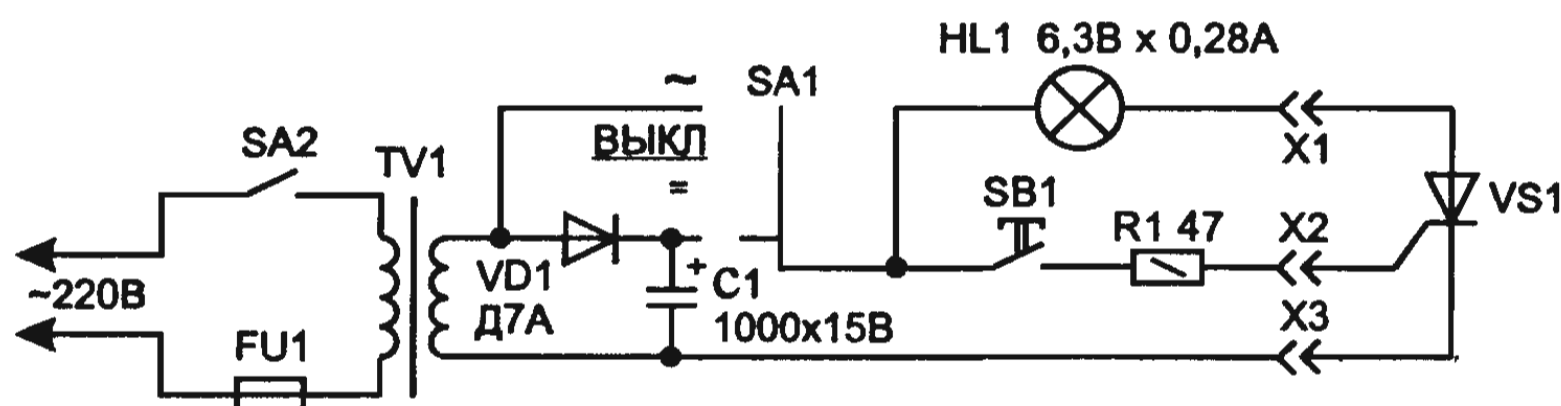


Рис. 4.34. Схема испытателя тиристорov

и фильтра на конденсаторе С1. Электроды тринистора подключаются к прибору с помощью зажимов, например типа «крокодил». Индикатором исправности тринистора служит лампа накаливания HL1 6,3 В × 0,28 А.

Вначале тринистор проверяют на постоянном токе. Для этого переключатель рода испытаний SA1 устанавливают в нижнее по схеме положение. Если кнопка SB1 не нажата, то при исправном тринисторе лампа HL1 гореть не должна. При нажатии на кнопку SB1 на управляющий электрод тринистора через резистор R1 поступает управляющее напряжение и он переходит в открытое состояние. По цепи потечет ток, загорится индикаторная лампа HL1. После отпускания кнопки лампа продолжает гореть. Чтобы ее выключить, надо разомкнуть цепь питания тринистора, т. е. перевести переключатель SA1 в среднее положение «Выкл».

Для проведения испытаний тринистора на переменном токе переключатель SA1 ставят в верхнее по схеме положение. Теперь индикаторная лампа HL1 будет гореть только при нажатой кнопке SB1, так как при разомкнутых контактах кнопки первая же отрицательная полуволна переменного тока отключит тринистор.

Если тринистор пробит, то индикаторная лампа будет гореть при не нажатой кнопке как на постоянном, так и на переменном токе. Если же в тринисторе обрыв, то лампа не загорится при нажатой кнопке.

Выпрямительный диод VD1 может быть любым на ток 300...500 мА, например, Д202, Д205, Д226, Д229. Резистор R1 выбирают из расчета, чтобы ток управляющего электрода не превышал максимально допустимое значение для данного типа тринистора.

4.6.2. Универсальный вольтметр

Прибор позволяет измерять напряжение постоянного тока от 0 до 1000 В, напряжение звуковой частоты от 0,1 В до 25 В и высокой частоты до 100 кГц. Входное сопротивление его составляет 2 МОм на пределе измерения напряжения постоянного тока 1 В и 4,5 МОм на остальных пределах (10, 100, 1000 В).

Принципиальная схема вольтметра приведена на рис. 4.35. Транзисторы VT1 и VT2 образуют парафазный истоковый повторитель. Затворы полевых транзисторов VT1 и VT2 соединены с де-

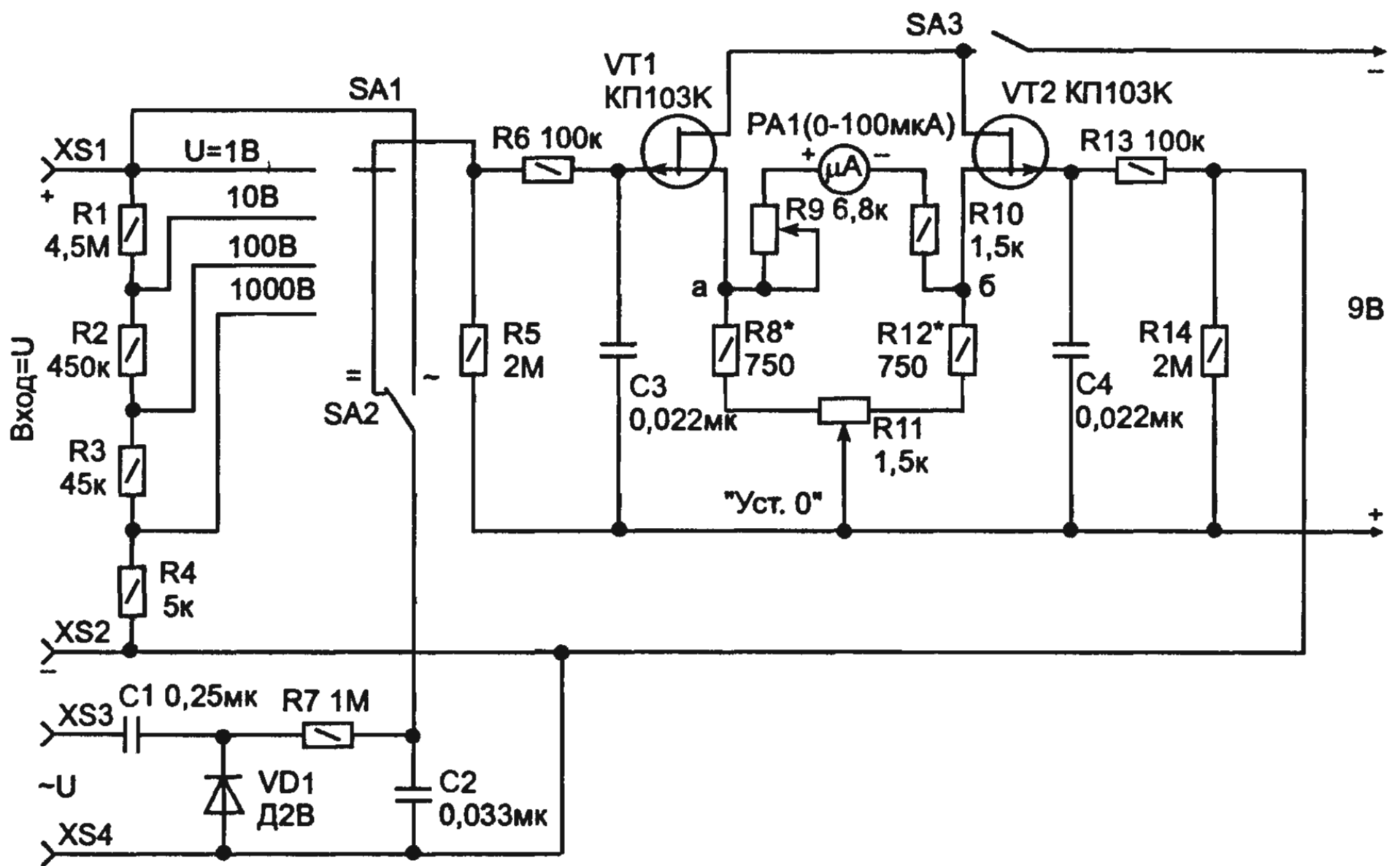


Рис. 4.35. Схема универсального вольтметра

лителем напряжения $R5$, $R14$, средняя точка которого подключена к истокам транзисторов.

Таким образом, между затвором и истоком каждого транзистора действует половина измеряемого напряжения, но с разной полярностью. Это приводит к тому, что в одном плече ток стока уменьшается, в другом — увеличивается, и между точками a и b появляется разность потенциалов, отклоняющая стрелку амперметра $PA1$ пропорционально приложенному напряжению.

Элементы $C1$, $VD1$, $R7$, $C7$, образующие выпрямитель переменного напряжения звуковой частоты с ФНЧ, обеспечивают измерение звуковой частоты.

Напряжение высокой частоты измеряют с помощью выносной головки, схема которой показана на рис. 4.36.

Питают прибор от батареи с напряжением 9 В. Транзисторы для вольтметра должны быть подобраны близкими по параметрам, т. е. могут быть использованы подобранные в пары транзисторы

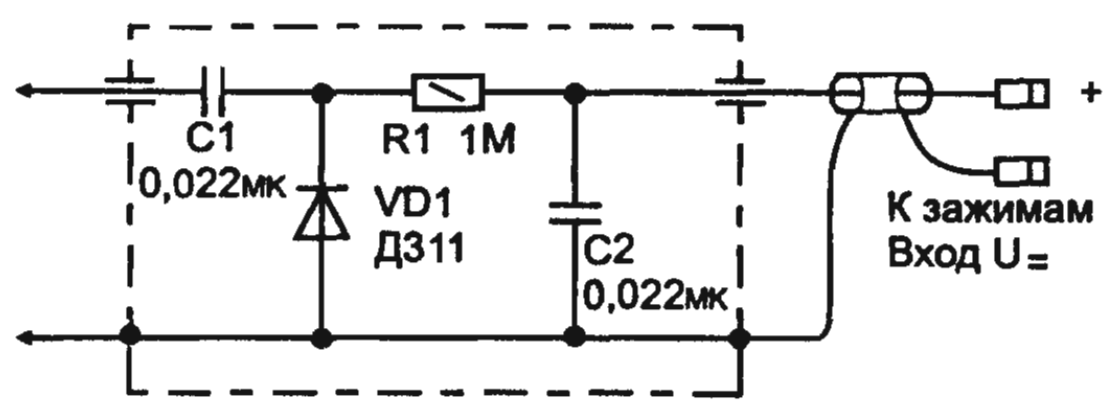


Рис. 4.36. Схема выносной головки для измерения высокой частоты

КП103КР, КП103ЛР или же КП302А, КП303В, КП303Д, но в последнем случае следует изменить полярность включения батареи. Можно также использовать сборки сильноточных согласованных пар полевых транзисторов типа КР504НТ3, КР504НТ4.

При налаживании прибора на пределе 1 В подбирают сопротивления резисторов R8, R12, R11 так, чтобы при подаче на вход напряжения 1 В отклонение стрелки микроамперметра соответствовало 100 мкА. Если необходимо, производят регулировку резистором R9. Затем проверяют линейность шкалы, для чего напряжение на входе изменяют ступенями через 0,1 В в пределах от 0 до 1 В. Если линейность нарушена, восстанавливают ее регулировкой резисторов R8, R12, R9. Заменять шкалу микроамперметра не нужно.

4.6.3. Индикатор радиоактивности

Схема индикатора очень простая, имеет минимум деталей и не сложна в наладке (рис. 4.37). При всей простоте прибор имеет звуковую и оптическую индикацию — из телефонного капсюля типа ТМ-2 слышны щелчки, их интенсивность указывает на относительный уровень радиоактивного фона; одновременно со щелчками видны вспышки неоновой лампы типа МН-3. Настройка прибора сводится к правильному подключению выводов трансформатора к другим элементам схемы. Трансформатор преобразователя напряжения намотан на ферритовом кольце типоразмера К18 с магнитной проницаемостью М2000. Первая обмотка содержит 4 витка провода ПЭЛ 0,1 мм, вторая 4 витка

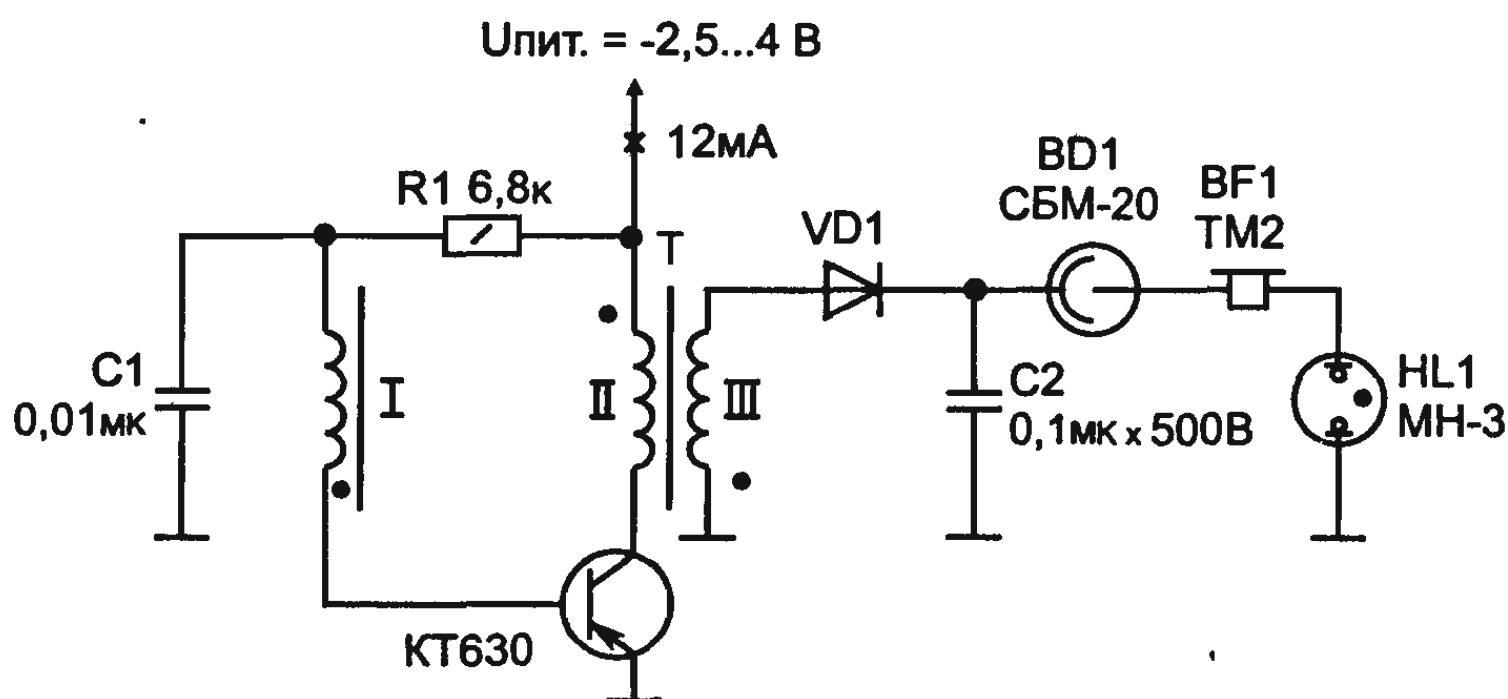


Рис. 4.37. Схема индикатора радиоактивности

провода ПЭЛ 0,5 мм, третья — 900 витков провода ПЭЛШО 0,1 мм. В качестве высоковольтного диода можно применить диод МД218М или кремниевый диодный столб 2Ц102А.

4.6.4. Пробник для проверки однопереходных транзисторов

Многие радиолюбители, не имея специального прибора для измерения параметров однопереходных транзисторов, сравнивают измеренные авометром сопротивления р-п-перехода транзистора с паспортными значениями. Однако этот метод не всегда дает объективные результаты. Более полное представление о работоспособности однопереходного транзистора может дать пробник (рис. 4.38).

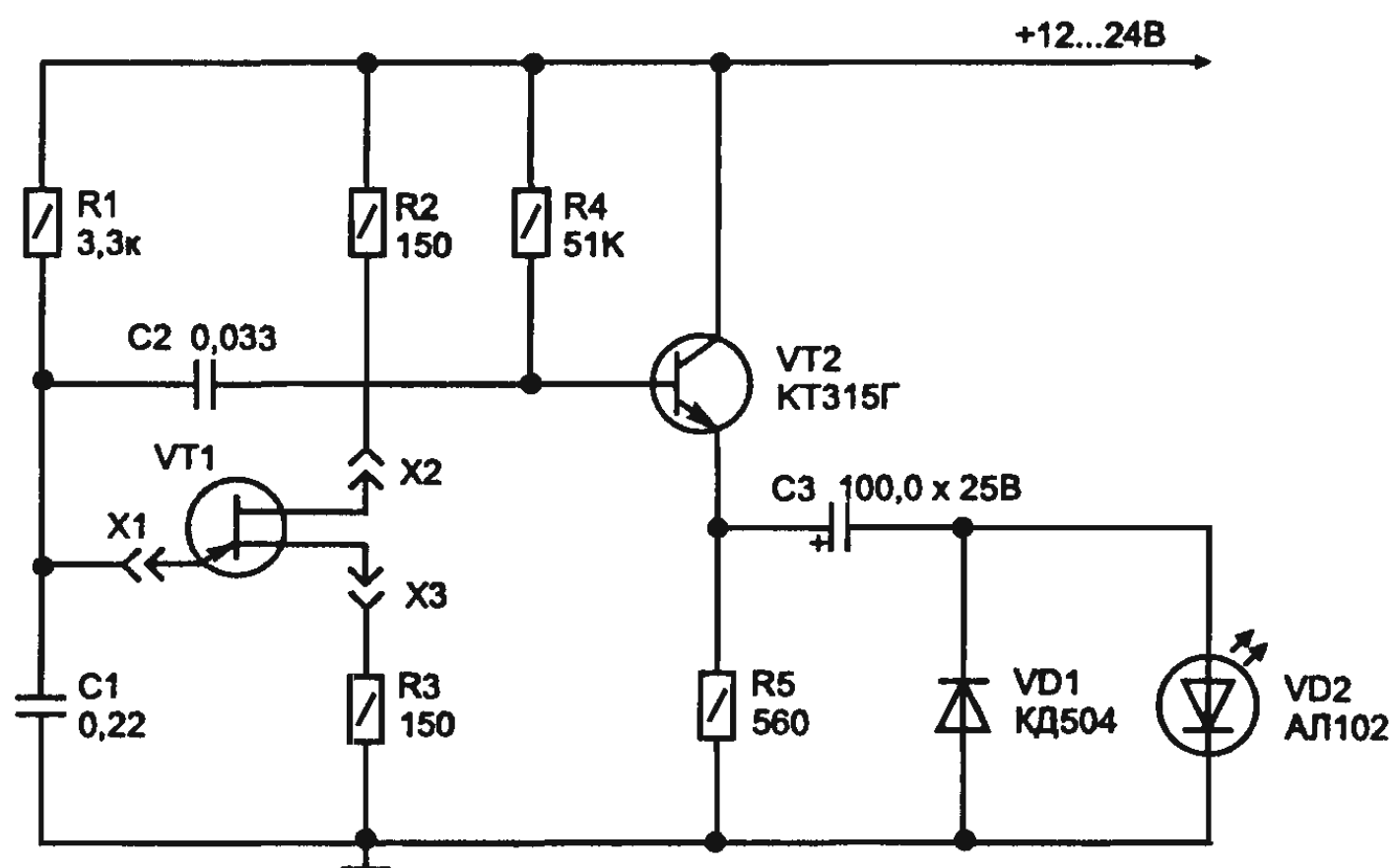


Рис. 4.38. Схема пробника для проверки однопереходных транзисторов

Испытуемый транзистор после подключения его к пробнику совместно с элементами схемы R1, R2, R3, C1 образует релаксационный генератор, настроенный на частоту около 830 Гц. Если транзистор VT1 исправен, то переменное напряжение, усиленное по мощности эмиттерным повторителем на транзисторе VT2, поступает на диод VD1 и светодиод VD2 и после выпрямления вызовет свечение светодиода.

Если после подключения испытуемого транзистора светодиод VD2 не излучает, то это укажет на неисправность однопереходного транзистора.

4.7. ПОЛЕЗНЫЕ СОВЕТЫ. ПРОСТЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ С ДИОДАМИ И СТАБИЛИТРОНАМИ

4.7.1. Как снять ВАХ диода? (рис. 4.39)

Основная характеристика диода — вольт-амперная, показывает зависимость прямого тока через диод от прямого напряжения на нем. Поэтому для снятия этой характеристики нужно собрать установку по приведенной схеме, используя в ней гальванический элемент на напряжение 1,5 В, вольтметр и миллиамперметр.

Изменяя переменным резистором напряжение на диоде и измеряя его вольтметром, определяют для каждого значения напряжения соответствующий ему ток. В итоге получится набор координат точек, которые нужно перенести на график и вычертить по ней линию — характеристику данного диода. Чтобы характеристика была более точной, нужно учитывать падение напряжения на миллиамперметре, вычитая его из показаний вольтметра.

Для примера на рисунке приведены сравнительные характеристики германиевого диода Д9Б и кремниевого КД103А.

На графике не приведена обратная ветвь характеристики, т. е. зависимость тока через диод, включённый в обратном направлении (катодом к плюсовому выводу вольтметра) от напряжения на нем. При желании ее не трудно построить, поменяв местами выводы диода и включив вместо миллиамперметра РА микроамперметр. Убедитесь сами, что обратный ток для кремниевого диода ничтожно мал по сравнению с германиевым.

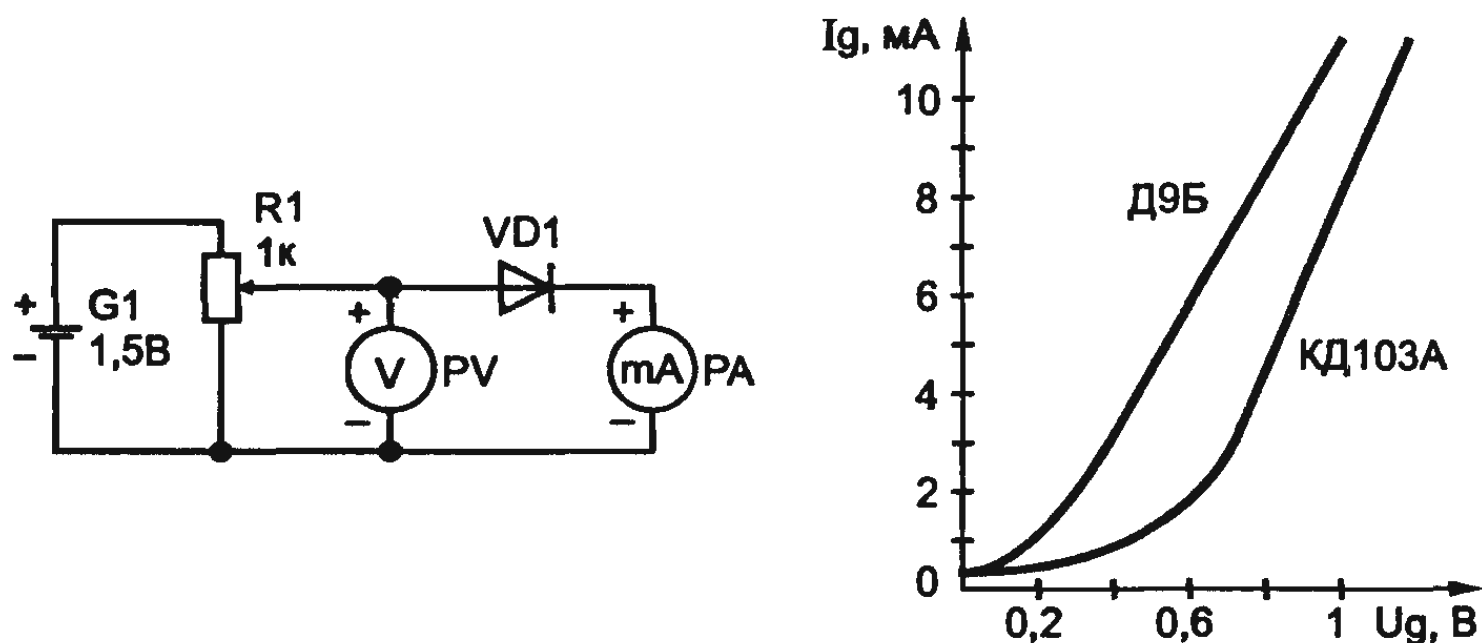


Рис. 4.39. Как снять ВАХ диода

4.7.2. Регулятор мощности на одном диоде (рис. 4.40)

Если выключатель SA1 замкнут, лампа накаливания светится на полную яркость. Если выключатель разомкнут, то яркость свечения лампы уменьшится. Вместо лампы накаливания можно подключить паяльник, для чего диод с выключателем следует вмонтировать в подставку для паяльника. Когда паяльником не пользуются, выключатель SA1 размыкают и паяльник работает в режиме «недокала». Во время пайки выключатель замыкают и паяльник нагревается до заданной температуры. Такой режим позволяет продлить срок службы жала паяльника. На практике обычно паяльник выключают из сети, когда есть перерыв в пайке (чтобы жало паяльника не покрылось окалиной при перегревании паяльника), а при необходимости пайки его снова включают в сеть. Преимущества предложенного способа в том, что время разогрева паяльника значительно уменьшается.

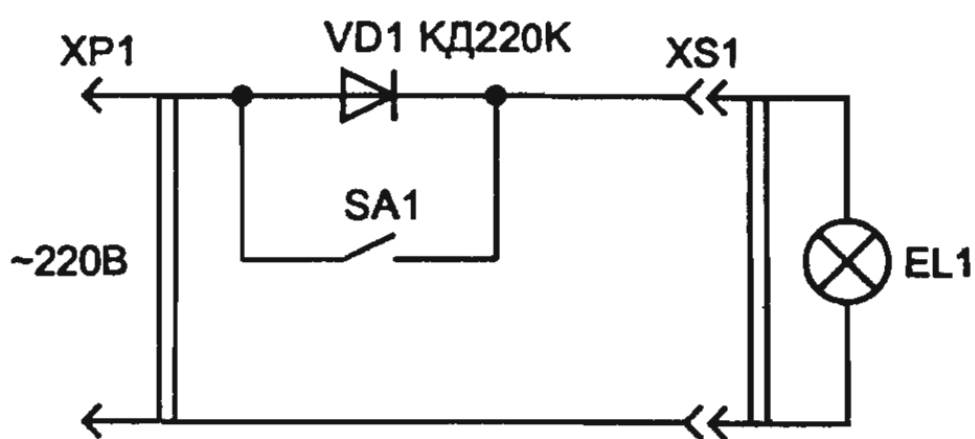


Рис. 4.40. Регулятор мощности на одном диоде

4.7.3. Управление люстрой по двум проводам (рис. 4.41)

Люстра может работать в трех режимах:

- а) горит лампа EL1 (включен выключатель SA2);
- б) горит лампа EL2 (включен выключатель SA1);
- в) горят обе лампы (включены оба выключателя).

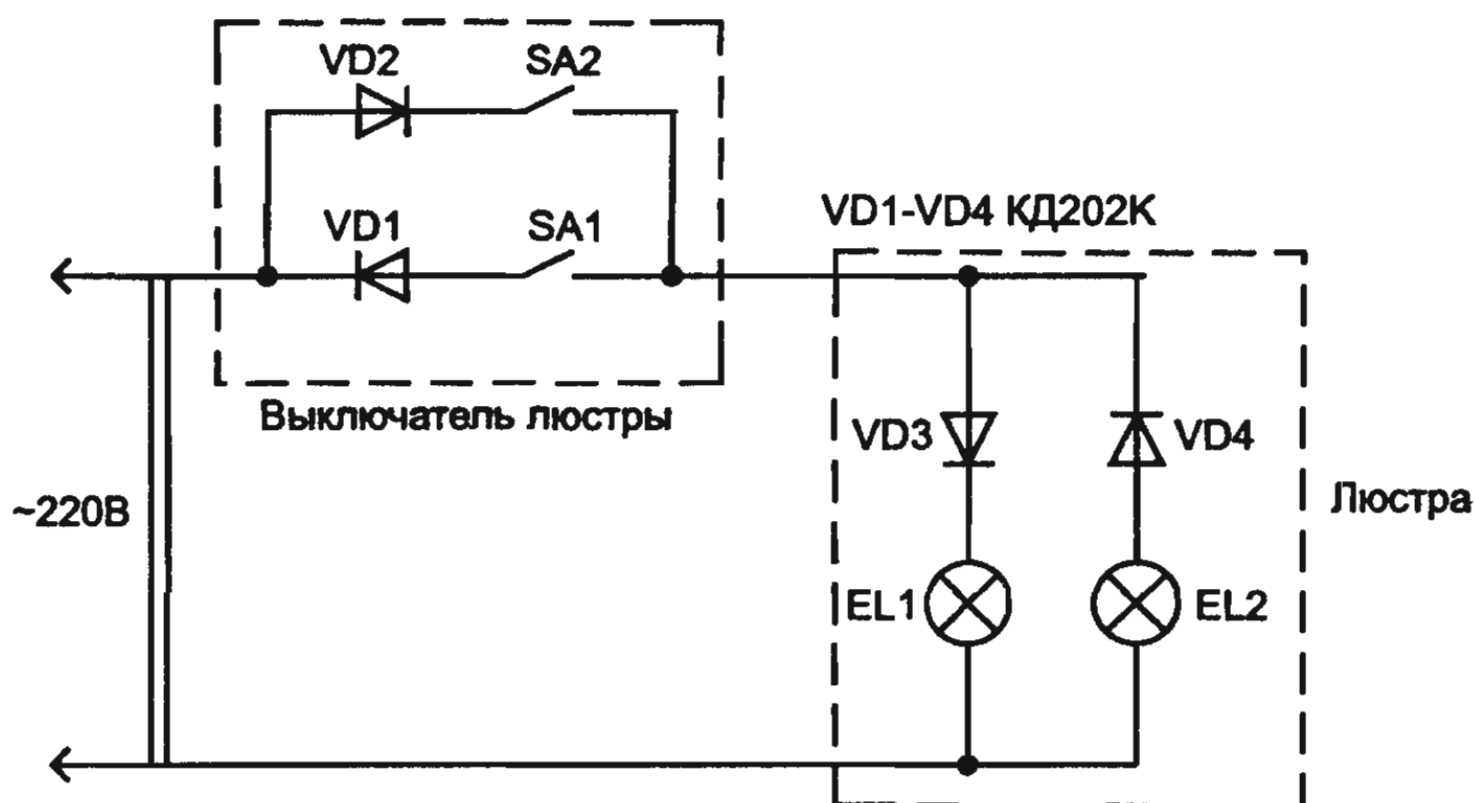


Рис. 4.41. Управление люстрой по двум проводам

Лампы EL1 и EL2 разной мощности, либо вместо EL2 можно включить две лампы одинаковой мощности. Следует учитывать, что лампы в люстре работают в режиме «недокала», поэтому для увеличения яркости свечения необходимо брать лампы большей мощности. Но режим «недокала» имеет и положительную сторону — значительно повышается срок службы ламп.

4.7.4. Простейший генератор шума (рис. 4.42)

Помимо генераторов сигналов синусоидальной, импульсной, треугольной и других форм, в измерительной технике пользуются и генераторами шума. Особенность сигнала генератора шума в его хаотической форме и сравнительно широкой полосе частот — от сотен герц до десятков мегагерц.

Чтобы собрать его, понадобятся три батареи 3336, соединенные последовательно, переменный резистор R1 сопротивлением 10, 15 или 22 кОм, стабилитрон VD1 типа Д808 или Д809, резистор нагрузки R2 сопротивлением от 120 до 180 Ом и фильтрующий конденсатор C1 емкостью 4700...10000 пФ — он предотвращает попадание высокочастотных шумовых сигналов в цепь источника питания (рис. 4.42,а).

Установив сначала движок переменного резистора в крайнее правое по схеме положение, подсоедините к генератору источник питания и подключите к резистору нагрузки R2 входные щупы осциллографа. Входным аттенюатором или регулятором усиления осциллографа подберите наибольшую чувствительность осциллографа. На экране должна появиться несколько размытая (утолщенная) линия развертки. Плавно перемещая движок переменного резистора в сторону левого по схеме вывода, наблюдайте за увеличением «размытости» — она может стать наибольшей при-

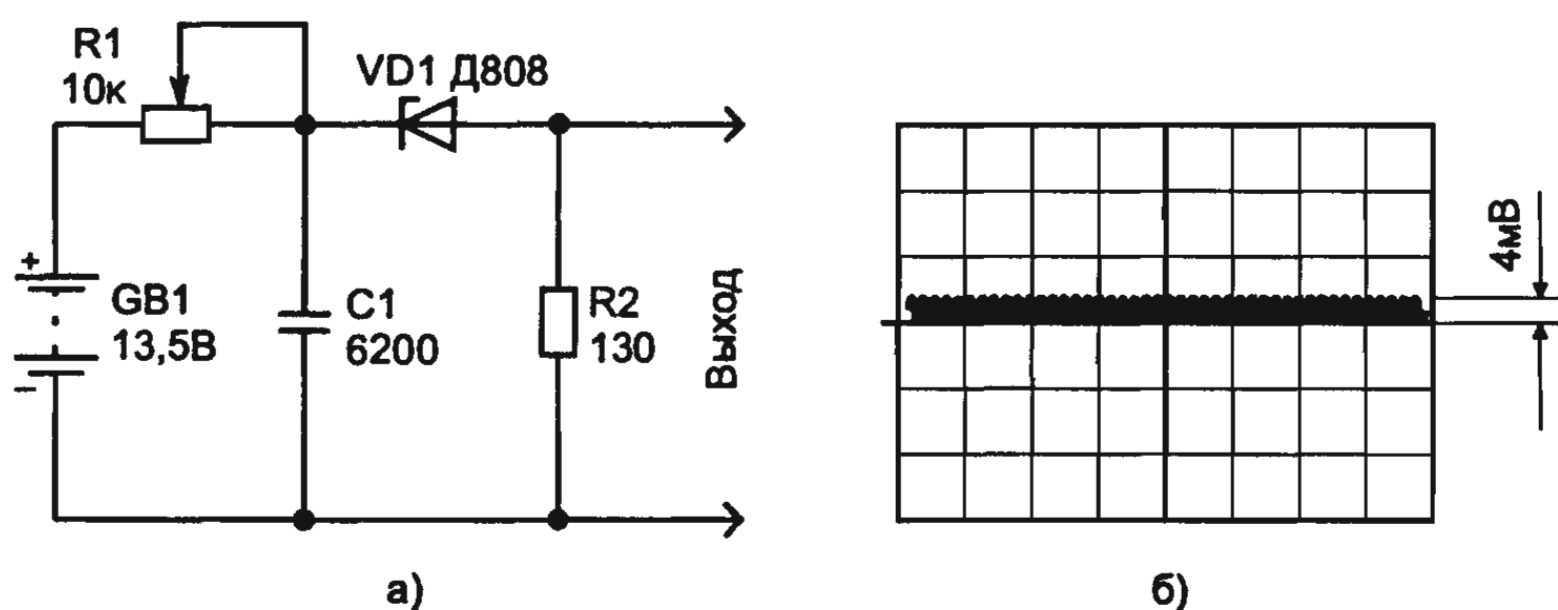


Рис. 4.42. Простейший генератор шума

мерно в среднем положении движка. Это и есть максимальный сигнал шума на выходе генератора, его амплитуда может составлять от десятков микровольт до единиц милливольт (рис. 4.42,б).

Попробуйте включить вместо VD1 другой экземпляр стабилитрона Д808 или Д809 и заметьте амплитуду шумового сигнала. Уверенно найдется стабилитрон, «генерирующий» наибольший сигнал. Вообще, «шумят» практически все стабилитроны серий Д808-Д813, Д814А-Д814В. А вот стабилитроны КС133А, КС147А и многие другие непригодны для работы в схеме генератора шума. Следует также помнить, что напряжение батареи GB1 зависит от используемого стабилитрона, оно должно превышать напряжение стабилизации хотя бы на 2 В.

Если вы теперь соедините нижний по схеме вывод резистора R2 с общим проводом («заземлением») лампового или транзисторного радиоприемника, а верхний вывод резистора подключите к антенному гнезду, то на всех диапазонах (ДВ, СВ, КВ, УКВ) услышите в динамической головке приемника шум.

Если установить в генераторе вместо резистора R2 переменный и подавать сигнал на антенный вход приемника с его движка, то громкость шума удастся изменять перемещением движка резистора. А если бы удалось измерить амплитуду выходного шумового сигнала в разных положениях движка, можно было бы либо сравнивать приемники по чувствительности, либо просто определять чувствительность того или иного приемника. Кроме того, с помощью генератора шума нетрудно отыскивать неисправность во входных цепях приемника и даже телевизора.

4.7.5. Получение прямоугольных импульсов из синусоидального напряжения (рис. 4.43)

Схема представляет собой ограничитель синусоидального сигнала, выполненный на базе стабилитрона.

В качестве понижающего трансформатора можно использовать унифицированный трансформатор кадровой развертки телевизоров ТВК-110ЛМ. На его обмотке имеется напряжение амплитудой около 20 В. Во время положительного полупериода напряжения на вторичной обмотке трансформатора стабилитрон выполняет свою основную функцию, в результате чего на его выводах можно наблюдать с помощью осциллографа ограниченную сверху полуволну синусоиды.

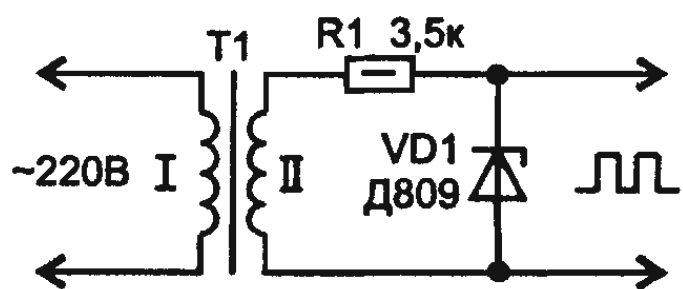


Рис. 4.43. Получение прямоугольных импульсов из синусоидального напряжения

Амплитуда прямоугольного импульса зависит от напряжения стабилизации стабилитрона. Во время отрицательного полупериода синусоидального напряжения на вторичной обмотке трансформатора стабилитрон работает как обычный диод, падение напряжения на нем

будет составлять доли вольта. В итоге на выходе схемы будет сигнал прямоугольной формы, «основание» которого немного (доли вольта) смещено вниз относительно линии развертки (осциллограф работает в режиме открытого входа).

Балластный резистор $R1$ выбирается из условия, чтобы максимальный ток через стабилитрон был больше $I_{\text{мин}}$ и меньше $I_{\text{макс}}$.

4.7.6. Стабилитрон — ограничитель постоянного напряжения (рис. 4.44)

Представьте ситуацию, когда вашему транзисторному приемнику требуется питание, скажем, 9 В, а в распоряжении есть блок питания с фиксированным напряжением 15 В. Как быть?

Конечно, первая мысль — включить в цепь питания постоянный резистор, гасящий излишек напряжения. Но такой способ неприемлем из-за того, что в зависимости от громкости звука будет изменяться потребляемый приемником ток, а значит, и напряжение на нем.

Если же вместо гасящего резистора включить в цепь питания стабилитрон (см. рисунок), проблема будет решена. Теперь напряжение на нагрузке (приемнике) станет равным разности напряжений блока питания и стабилизации стабилитрона. В этом легко убедиться с помощью вольтметра постоянного тока.

Поскольку у разных экземпляров стабилитронов может отличаться напряжение стабилизации, более точно (если это нужно)

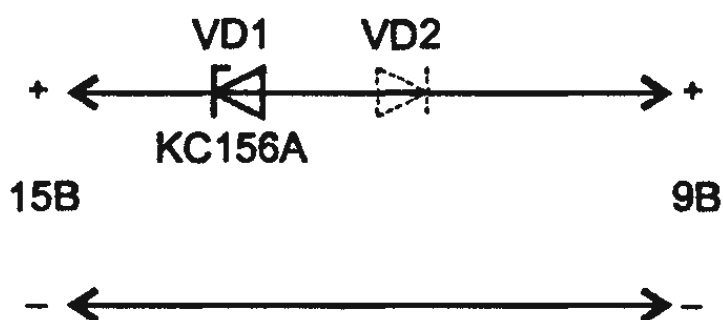


Рис. 4.44. Стабилитрон — ограничитель постоянного напряжения

выходное напряжение можно подобрать включением диода $VD2$ последовательно со стабилитроном. Тогда общее «гасящее» напряжение составит сумму напряжений стабилизации и прямого для данного диода. В свою очередь диод ставят

либо германиевый (у него прямое напряжение может быть около 0,5 В), либо кремниевый (до 1,2 В), либо два-три последовательно соединенных диода.

Можно также соединять последовательно несколько стабилитронов (даже с разными напряжениями стабилизации) для получения нужного «гасящего» напряжения.

При выборе диодов и стабилитронов следует учитывать, чтобы ток нагрузки не превышал максимального значения выпрямленного тока для каждого диода и максимальный ток стабилизации для каждого стабилитрона. И еще следует помнить, что стабилитрон следует включать в обратном направлении, а диод — в прямом.

4.7.7. Как «растянуть» шкалу вольтметра (рис. 4.45)

Контролируя какое-то напряжение, иногда бывает нужно либо следить за его колебаниями, либо более точно измерять.

Скажем, при эксплуатации автомобильной аккумуляторной батареи важно следить за изменениями ее напряжения в диапазоне 12...15 В. Именно этот диапазон желательно было бы разместить на всей шкале стрелочного индикатора вольтметра. Но, как вы знаете, отсчет на любом из диапазонов практически всех измерительных приборов идет от нулевого значения и добиться более высокой точности отсчета на интересующем участке невозможно.

И тем не менее существует способ «растяжки» практически любого участка шкалы (начало, середина, конец) вольтметра постоянного тока. Для этого нужно воспользоваться свойством стабилитрона открываться при определенном напряжении, равном напряжению стабилизации. К примеру, для растяжки конца шкалы диапазона 0...15 В достаточно использовать стабилитрон в такой же роли, что и в предыдущем эксперименте.

Стабилитрон VD1 включен последовательно с однопредельным вольтметром, составленным из стрелочного индикатора PA1 и добавочного резистора R2. Как и в предыдущем эксперименте, на стабилитроне падает часть измеряемого напряжения, равного напряжению стабилизации стабили-

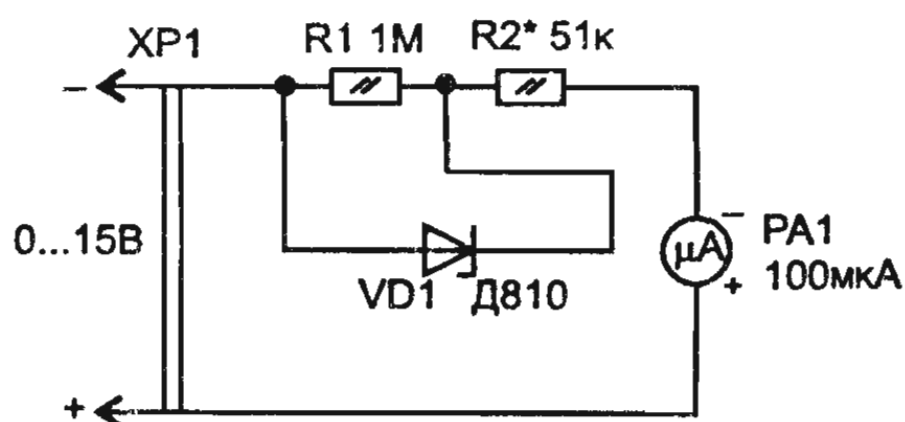


Рис. 4.45. Как «растянуть» шкалу вольтметра

трона. В результате на вольтметр будет поступать напряжение, превышающее напряжение стабилизации. Это напряжение и станет своеобразным нулем отсчета, а значит, на шкале «растянется» лишь разница между наибольшим измеряемым напряжением и напряжением стабилизации стабилитрона.

Показанное на рисунке устройство рассчитано на контроль напряжения аккумуляторной батареи в диапазоне от 10 до 15 В, но этот диапазон можно изменять по желанию соответствующим подбором стабилитрона и резистора R2.

Резистор R2 в принципе не обязателен. Но без него, пока стабилитрон закрыт, стрелка индикатора остается на нулевой отметке. Введение резистора позволяет наблюдать напряжение до 10 В на начальном участке шкалы, но этот участок будет сильно «сжат».

Собрав показанные на схеме детали и соединив их со стрелочным индикатором PA1 (микроамперметр М2003 с током полного отклонения стрелки 100 мкА и внутренним сопротивлением 450 Ом), подключите щупы ХР1 и ХР2 к блоку питания с регулируемым выходным напряжением. Плавно увеличивая напряжение до 9...9,5 В, вы заметите небольшое отклонение стрелки индикатора — всего на несколько делений в начале шкалы. Как только при дальнейшем увеличении напряжения оно превысит напряжение стабилизации, угол отклонения стрелки будет резко возрастать. Примерно с напряжения 10,5 до 15 В стрелка пройдет почти всю шкалу.

Чтобы убедиться в роли резистора R1, отключите его и повторите эксперимент. До определенного входного напряжения стрелка индикатора останется на нулевой отметке.

4.7.8. Подключение кассетного магнитофона или приемника к автомобильной сети (рис. 4.46)

Отправляясь в автомобильное путешествие, вы наверняка возьмете с собой транзисторный приемник или кассетный магнитофон. Чтобы можно было питать в пути приемник от аккумуляторной батареи, изготовьте простейшую приставку-стабилизатор. Ее можно включать с помощью специальной вилки ХР1 в гнездо «прикуривателя» или подключать проводами с зажимами «крокодил» на конце непосредственно к выводам аккумуляторной батареи. Проводники же питания приемника соединяют (с соблюдением полярности) с гнездами (или розеткой) XS1.

Мощность такого стабилизатора небольшая, поэтому подключать к нему можно лишь нагрузку с максимально потребляемым током до 12 мА.

В случае же питания магнитофона, потребляющего ток до 150 мА, придется установить вместо Д814Б более мощный стабилитрон Д815В и дополнительно включить между его катодом и выводом резистора любой кремниевый выпрямительный диод (анодом к резистору), рассчитанный на ток более 150 мА. Кроме того, придется заменить и балластный резистор — теперь он должен быть сопротивлением около 12 Ом и мощностью не менее 4 Вт (резистор ПЭВ-7,5 либо два резистора МЛТ-2 сопротивлением по 24 Ома, соединенные параллельно).

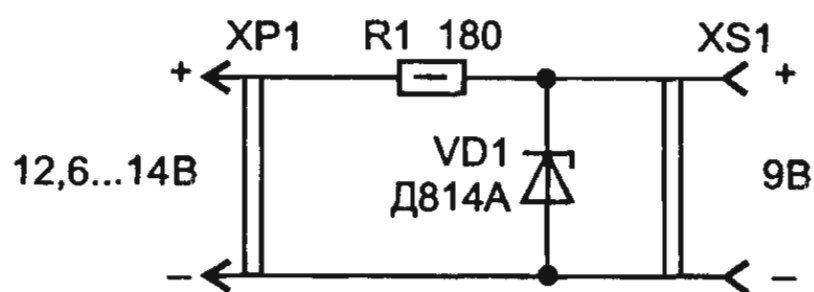


Рис. 4.46. Подключение кассетного магнитофона или приемника к автомобильной сети

4.7.9. Транзистор — переменный резистор (рис. 4.47)

Для проведения этого эксперимента понадобятся маломощный транзистор, например, любой из серии МП39, постоянный и переменный резисторы, гальванический элемент и омметр. Соединив детали по схеме рисунка, установите движок переменного резистора R2 в нижнее по схеме положение. Поскольку транзистор закрыт, омметр P1 зафиксирует сравнительно большое сопротивление между выводом коллектора и эмиттера — оно зависит от того, какой транзистор использован — кремниевый или германиевый.

Начинайте медленно перемещать движок переменного резистора вверх по схеме. Почти сразу стрелка омметра начнет отклоняться в сторону меньших сопротивлений. Когда движок резистора окажется вблизи верхнего вывода или соединится с ним, сопротивление между выводами коллектора и эмиттера может упасть до единиц ом. Происходит так потому, что при изменении напряжения между базой и эмиттером транзистора изменяется и его внутреннее сопротивление. Таким образом, с помощью транзистора и резистора сопротивлением 1,5 кОм удалось получить переменный резистор с

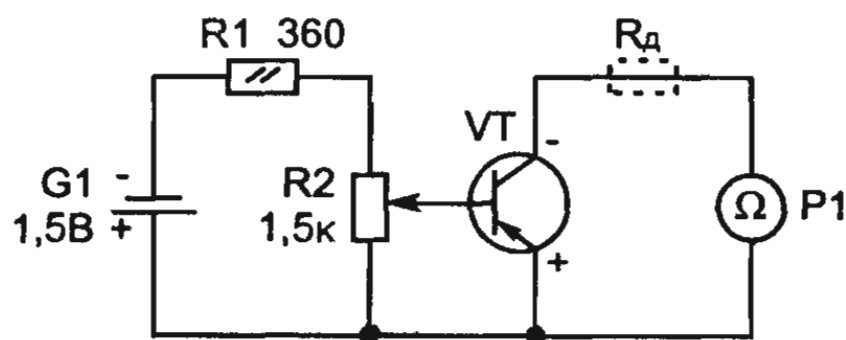


Рис. 4.47. Транзистор — переменный резистор

пределами изменения сопротивления от нескольких ом до сотен килоом. Иначе говоря, из резистора малого сопротивления (1,5 кОм) удалось получить такой же переменный резистор большого сопротивления (к тому же мощный).

Такой вариант может быть использован в тех случаях, когда требуется переменный резистор мощностью, скажем, 5 или 10 Вт, найти который не так-то просто. Вот тут-то и придет на помощь способность транзистора быть и мощным переменным резистором. Правда, транзистор придется применить тоже мощный, например, серий ГТ402, ГТ404, П213—П216.

В любом варианте включать транзистор в цепь регулирования, например, последовательно с электродвигателем постоянного тока для детских игрушек, нужно в соответствии с полярностью, показанной у выводов коллектора и эмиттера на рисунке.

Если используется транзистор структуры *n-p-n*, то следует изменить не только полярность его подключения, но и полярность источника, питающего базовую цепь.

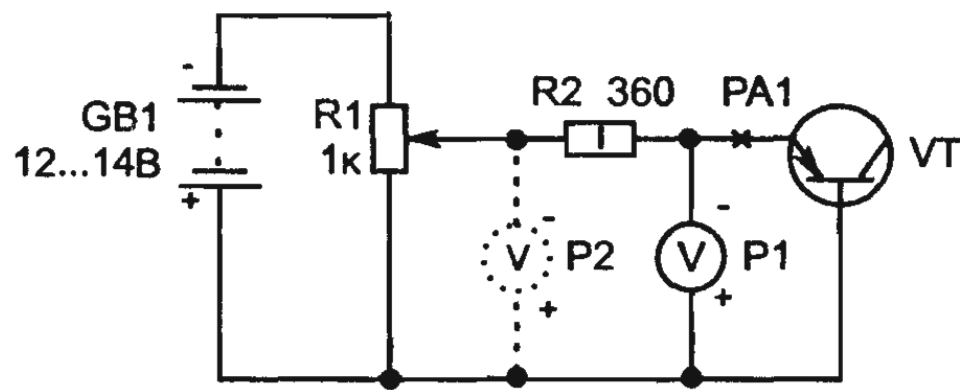
Для ограничения допустимой мощности, выделяющейся на «транзисторном» переменном резисторе, в цепь коллектора включают резистор R_d соответствующего сопротивления. Кроме того, при режимах транзистора, близких к предельно допустимым, желательно установить транзистор на теплоотвод. А если вы задались целью обеспечить вполне определенные пределы изменения сопротивления транзистора, придется точнее подобрать резисторы R_1 и R_2 .

4.7.10. Транзистор в качестве стабилитрона (рис. 4.48)

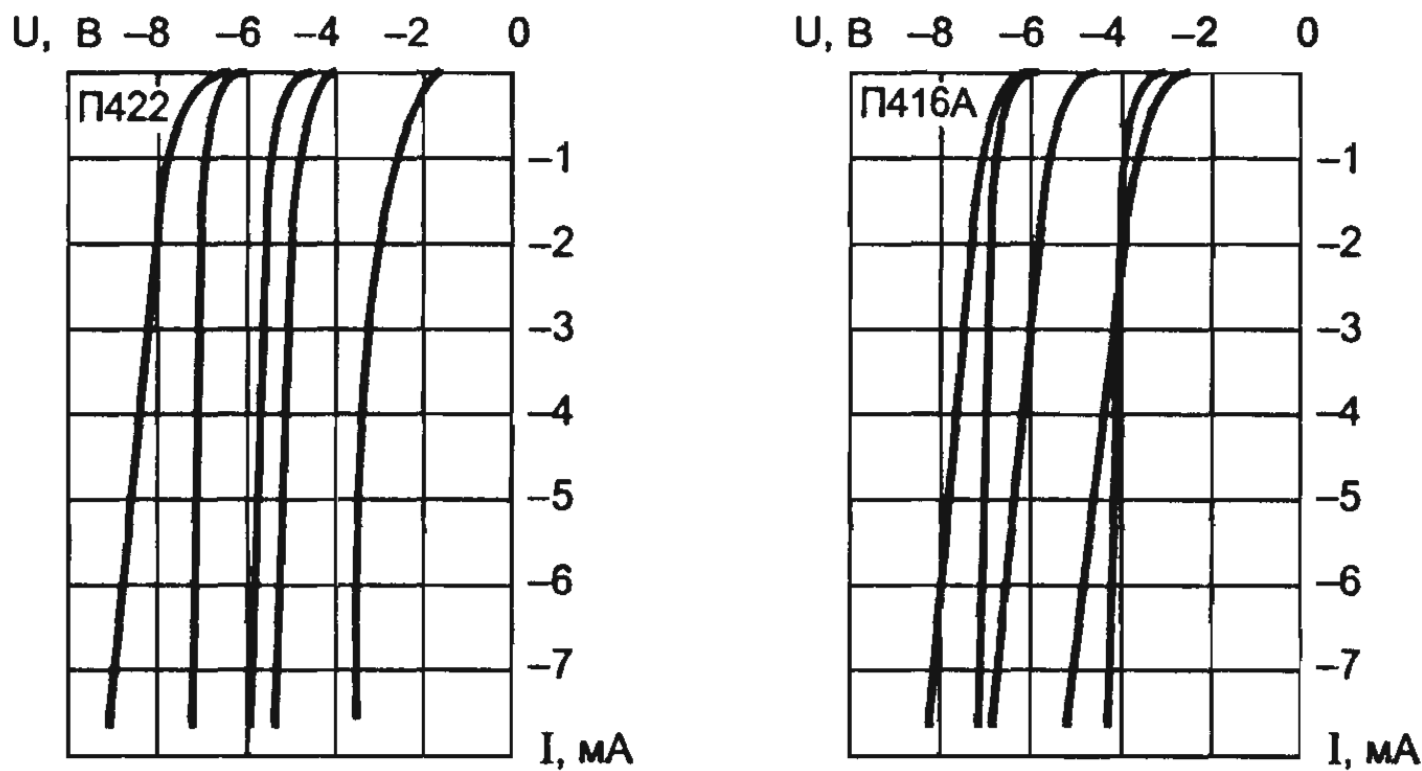
Эмиттерный переход транзистора подобен диоду, пропуская постоянный ток в одном направлении — от эмиттера к базе, если транзистор структуры *p-n-p*, либо от базы к эмиттеру в случае транзистора структуры *n-p-n*. Если же этот переход включить в цепь постоянного тока «наоборот», он начнет выполнять функции уже известного вам стабилитрона (рис. 4.48, а).

Чтобы убедиться в сказанном, подберите маломощный низкочастотный транзистор, например, любой из серий МП39—МП42, либо высокочастотный, скажем, П416А, и соедините его выводы эмиттера и базы с другими деталями, показанными на рисунке.

Вольтметр PV1, контролирующий напряжение на эмиттерном переходе, — со шкалой на 5 или на 10 В.



а)



б)

Рис. 4.48. Транзистор в качестве стабилитрона

Движок переменного резистора должен находиться в исходном положении — нижнем по схеме. Начав перемещать движок резистора вверх по схеме, наблюдайте за показаниями вольтметра. Вначале напряжение будет расти пропорционально перемещению движка, а затем отклонение стрелки вольтметра резко замедлится, что укажет на вхождение эмиттерного перехода в режим стабилизации. Даже когда движок окажется в крайнем верхнем по схеме положении, т. е. когда на цепь из резистора R2 (его можно считать балластным) и эмиттерного перехода транзистора будет подано полное напряжение батареи GB1 (12...14 В), измеряемое вольтметром напряжение не превысит нескольких вольт.

Чтобы еще более убедиться в стабилизирующем действии эмиттерного перехода, нужно контролировать одновременно напряжение до резистора R2 и после него. Если второго вольтметра нет, можно при каждом фиксированном положении движка резистора подключать вольтметр PV1 попеременно то к эмиттерному переходу, то к переменному резистору.

А если в цепь эмиттерного перехода включить еще и миллиамперметр (на схеме показано крестиком), то можно следить не только за изменениями напряжения, но и за током, протекающим через стабилитрон, и в итоге снять вольт-амперную характеристику «стабилитрона». Ее вид может соответствовать одной из показанных на рис. 4.48,б для транзистора П416А или П422. Вообще же семейство ВАХ свидетельствует о том, что эмиттерный переход каждого экземпляра даже одного типа транзистора обладает своим напряжением стабилизации. Поэтому из набора транзисторов всегда можно выбрать то, что удовлетворяет заданному напряжению стабилизации.

И еще. Если у обычного стабилитрона минимальный ток стабилизации составляет 3 мА, то у нашего стабилитрона он равен 1 мА. Номинальный ток стабилизации составляет примерно 5 мА.

Кроме указанных германиевых транзисторов в подобном режиме способны работать и кремниевые — серий КТ301, КТ306, КТ312, КТ315, КТ316. Напряжение стабилизации их лежит в пределах 7...12 В.

4.7.11. Транзистор как выпрямительный диод (рис.4.49)

Возьмите любой мощный транзистор, скажем, серии П213, оксидный конденсатор емкостью 50...100 мкФ на напряжение не ниже 25 В и понижающий трансформатор с напряжением на вторичной обмотке 8...12 В. Соедините эти детали в соответствии со схемой и включите трансформатор в сеть, а к выводам конденсатора прикоснитесь щупами вольтметра постоянного тока. Стрелка вольтметра зафиксирует значение постоянного напряжения, которое, конечно, будет превышать значение переменного напряжения на вторичной обмотке трансформатора.

Как видите, в данном случае в качестве выпрямительного диода работает коллекторный переход транзистора. Подключая к выходу выпрямителя различную нагрузку,

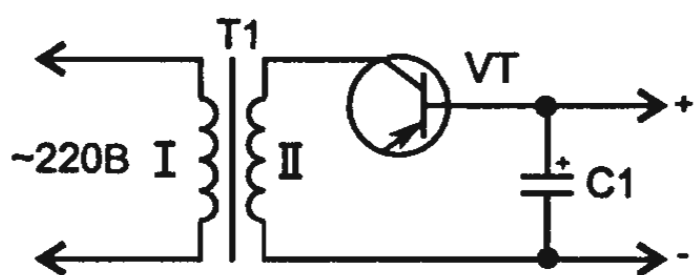


Рис. 4.49. Транзистор как выпрямительный диод

нетрудно убедиться, что «транзисторный» диод способен выдерживать токи в сотни миллиампер без ощутимого нагрева корпуса транзистора.

Конечно, роль диода может выполнять и эмиттерный переход, но допустимый ток через него значительно ниже.

Хотя на практике в подобных выпрямителях используются мощные диоды, «транзисторный» вариант все же следует взять на вооружение. Ведь нередко в радиоаппаратуре, в том числе и самодельной, мощные транзисторы выходят из строя вследствие пробоя — короткого замыкания между коллектором и эмиттером. Не выбрасывайте такой транзистор, приберегите его на случай использования в выпрямителе. Для германиевых транзисторов коллектор будет выполнять роль анода диода, а база — катода, для кремниевых — наоборот. Предельно допустимое обратное напряжение транзисторов-диодов может достигать 30...40 В, а ток — 1...6 А.

Транзисторы старых выпусков П201—П203 допускают ток 1 А, транзисторы серий П213—П217 — 3 А, П210 — 6 А. Конечно, эти цифры справедливы при использовании транзистора с теплоотводом.

Интересно, что площадь теплоотвода может быть меньше, чем в случае использования транзистора по своему прямому назначению при таких же токах. Объясняется это тем, что в «диодном» режиме на транзисторе рассеивается меньшая мощность: при прямом токе мало падение напряжения на открытом переходе коллектор-база, при обратной полярности мал ток через закрытый переход. Так, для транзистора П210 теплоотвод можно составить из пяти сложенных вместе свинцовых шайб диаметром 45...50 мм.

4.7.12. Устройство для термоиспытаний транзисторов (рис. 4.50)

Для проверки влияния температуры на параметры транзисторов (например, при подборе идентичных транзисторов) в любительских условиях удобно использовать в качестве нагревателя постоянные проволочные эмалированные резисторы ПЭВ-20. Сопротивление резисторов выбирают в зависимости от напряжения источника питания и требуемой температуры нагрева. Испытываемый транзистор вставляют в отверстие в трубчатом каркасе резистора, как показано на рисунке. При необходимости диаметр этого отверстия можно несколько увеличить, обработав его наждачной бумагой, намотанной на круглую оправку.

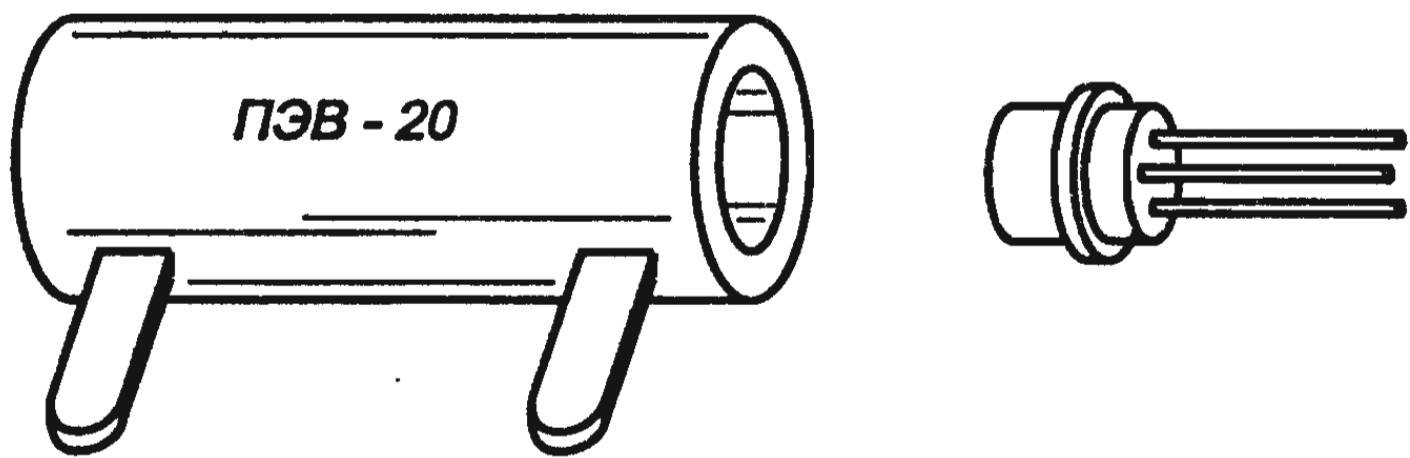


Рис. 4.50. Устройство для термоиспытаний транзисторов

Изменяя ток в цепи резистора-нагревателя (с помощью автотрансформатора, реостата или другим способом), температуру нагрева можно изменять в широких пределах. Градуируют устройство с помощью термометра, помещенного внутрь резистора.

4.7.13. Определение цоколевки транзистора (рис. 4.51)

Если обозначение транзистора, нанесенное на его корпусе, стерлось или нет под рукой справочника по полупроводниковым приборам, то для определения цоколевки транзистора и структуры его проводимости можно воспользоваться авометром (тестером).

Сначала определяют базовый вывод транзистора. Для этого плюсовой щуп прибора (в режиме измерения малых сопротивлений) подключают к одному из выводов транзистора, а минусовый — поочередно к двум остальным.

Внимание: минусовым щупом здесь и далее назван тот щуп, который подключен к так называемой общей клемме прибора, иногда маркируемой знаком «-» (применительно к режимам измерений токов и напряжений). В режиме измерения сопротивлений полярность напряжения на зажимах авометра обратная. Это следует иметь в виду.

Так как полярность напряжения между электродами транзистора может меняться, то таких пар, очевидно, будет шесть: $\mathcal{E}_+ - \mathcal{B}_-$, $\mathcal{E}_+ - \mathcal{K}_-$, $\mathcal{B}_+ - \mathcal{K}_-$, $\mathcal{E}_- - \mathcal{B}_+$, $\mathcal{E}_- - \mathcal{K}_+$, $\mathcal{B}_- - \mathcal{K}_+$, где знаки «+» и «-» (нижние индексы) указывают на подключение к выводу электрода транзистора положительного или отрицательного полюса омметра.

Если авометр в обоих случаях показывает высокое сопротивление или в одном

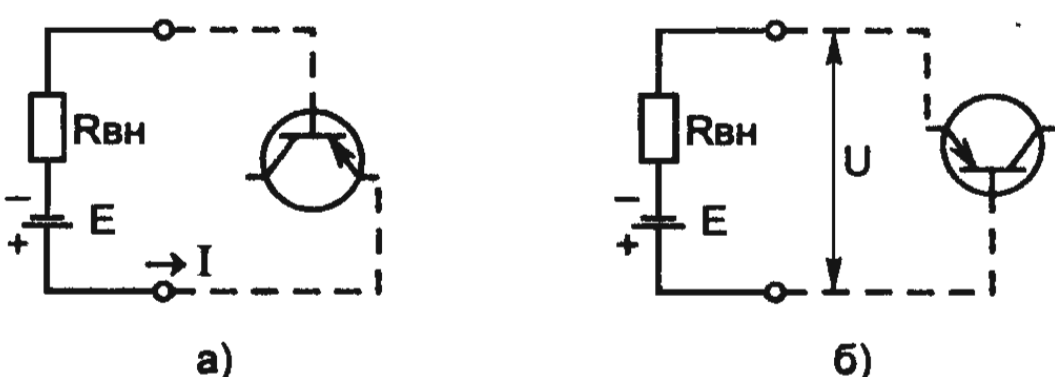


Рис. 4.51. Определение цоколевки транзистора

низкое, а в другом высокое, то его плюсовой щуп нужно подключить к другому выводу и снова измерить сопротивление между ним и остальными двумя выводами, пока не удастся найти вывод, имеющий малое сопротивление относительно двух других выводов. Найденный таким образом вывод является базовым, а транзистор имеет структуру *n-p-n*.

Если приведенным выше способом найти базовый вывод не удастся, необходимо изменить полярность подключения авометра, т. е. к одному из выводов подключить минусовый щуп авометра, а затем найти базовый вывод *p-n-p*-транзистора.

Определение базового вывода большинства широко распространенных низкочастотных транзисторов упрощается, если помнить, что они выполнены с выводом базы на корпус.

С помощью авометра можно определить и выводы эмиттера и коллектора маломощных транзисторов. Для этого между предполагаемым выводом коллектора и базовым выводом подключают резистор сопротивлением в 1 кОм. Затем плюсовой щуп авометра подключают к предполагаемому выводу коллектора, а минусовый — к предполагаемому выводу эмиттера *n-p-n*-транзистора и определяют сопротивление по прибору. После этого предполагаемое расположение выводов коллектора и эмиттера и снова измеряем сопротивление. Плюсовой щуп авометра будет соединен с коллектором в том случае, когда сопротивление между выводами окажется минимальным.

У *p-n-p*-транзисторов коллекторный и эмиттерный выводы можно определить таким же способом, но сопротивление между эмиттером и коллектором окажется меньшим, когда с коллектором будет соединен минусовый щуп авометра.

При этом нужно помнить, что у всех мощных транзисторов, предназначенных для крепления на радиаторах, коллектор выведен на корпус. Следует, однако, иметь в виду, что подвергать такому испытанию высокочастотные транзисторы нежелательно, чтобы не повредить эмиттерный переход.

Следует иметь в виду также, что любой из омметров можно представить в виде источника э.д.с. E с внутренним сопротивлением $R_{вн}$ (рис. 4.51,а). Если присоединить к такому источнику один из *p-n*- переходов транзистора, например, эмиттерный, то через переход потечет ток I , равный приблизительно $E/R_{вн}$. Очевидно, при малом значении внутреннего сопротивления омметра ток I может превысить максимальный прямой ток через переход и повредить испытываемый транзистор. Если же присоединить к

омметру эмиттерный переход так, как показано на рис. 4.51,б, то испытываемый транзистор можно повредить напряжением. Действительно, при $R_m \gg R_{пр}$ это напряжение, равное приблизительно E , может превысить максимальное обратное напряжение на эмиттерном переходе. Поэтому, прежде чем проверять транзистор омметром, необходимо выяснить, чему равны э.д.с. E и внутреннее сопротивление $R_{вн}$ омметра, сравнить ток I и напряжение U с предельными для данного типа транзистора значениями прямого тока и обратного напряжения. После такой проверки можно считать, что транзистор является исправным. Но этого недостаточно, чтобы сделать заключение о его пригодности для данной конструкции, — он еще должен иметь заданный статический коэффициент передачи тока базы. Значит, нужно измерить этот параметр, прежде чем впаивать этот транзистор в собираемое устройство.

4.7. ЗАДАЧИ

1. Определите крутизну S характеристики полупроводникового диода, если при увеличении прямого напряжения от 0,4 до 0,6 В ток через диод возрос на 5 мА.

2. На входе схемы, составленной из последовательно соединенных диода и резистора R , действует источник синусоидального напряжения с амплитудой $E_m = 2,4$ В. Определите максимальное и минимальное значения напряжения на резисторе, если прямое и обратное сопротивления диода по переменному току соответственно равны 20 Ом и 300 кОм. Влиянием емкости диода и внутренним сопротивлением источника сигнала можно пренебречь. Задачу решите для случаев: а) $R = 100$ Ом; б) $R = 300$ кОм. Сравните влияние сопротивления резистора R на величину выходного напряжения (U_R).

3. Определите ток базы, если ток эмиттера $I_э = 5$ мА, а ток коллектора $I_к = 4,7$ мА; током $I_{кб0}$ пренебречь.

4. Определите ток базы и коэффициент передачи тока базы у биполярного транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером, если приращение тока коллектора равно 17 мА, а тока эмиттера — 18 мА.

5. Определите коэффициент передачи биполярного транзистора по току в схеме с общим эмиттером, если коэффициент передачи по току в схеме с общей базой равен 0,95.

Глава 5

Питание радиоэлектронных устройств от сети переменного тока

5.1. ОДНОФАЗНЫЕ ВЫПРЯМИТЕЛИ

Структура однофазного выпрямительного устройства изображена на рис. 5.1. На вход выпрямителя подается переменное напряжение U_1 , которое с помощью трансформатора Tr изменяется до требуемого значения U_2 . Кроме того, трансформатор осуществляет электрическую развязку источника выпрямляемого напряжения и нагрузочного устройства, что позволяет получать с помощью нескольких вторичных обмоток различные значения напряжений U_2 , гальванически не связанных друг с другом. После трансформатора переменное напряжение U_2 вентильной группы $ВГ$ (или одним вентилем) преобразуется в пульсирующее напряжение U_{01} . Количество вентиляй зависит от схемы выпрямителя.

В выпрямленном напряжении U_{01} , помимо постоянной составляющей, присутствует переменная составляющая, которая с помощью сглаживающего фильтра $СФ$ снижается до требуемого уровня, так что напряжение U_{02} на выходе фильтра имеет очень малые пульсации. Установленный после фильтра стабилизатор постоянного напряжения $Ст$ поддерживает неизменным напряжение U_n на нагрузочном устройстве R_n при изменении значений выпрямленного напряжения или сопротивления R_n .

Для выпрямления однофазного переменного напряжения широко применяют три типа выпрямителей: *однополупериодный и два двухполупериодных*. Схема однополупериодного выпрямителя приведена на рис. 5.2,а. Выпрямитель состоит из трансформатора, к

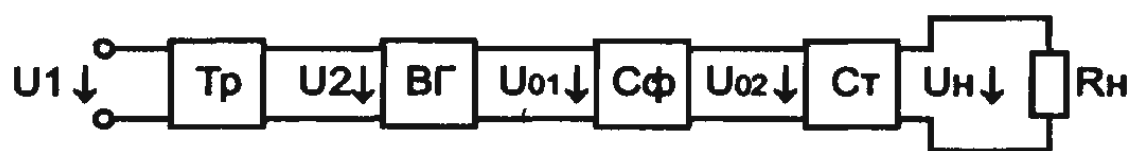


Рис. 5.1. Структурная схема однофазного выпрямительного устройства

вторичной обмотке которого последовательно подсоединены диод VD и нагрузочный резистор R_H .

Работу выпрямителя удобно рассматривать с помощью временных диаграмм рис. 5.2,б. В первый полупериод, т. е. в интервале времени $0—T/2$, диод открыт, так как потенциал точки a выше потенциала точки b , и под действием напряжения в цепи вторичной обмотки трансформатора возникает ток i_H . В интервале времени $T/2—T$ диод закрыт, ток в нагрузочном резисторе отсутствует, а к запертому диоду прикладывается обратное напряжение u_2 .

Основными электрическими параметрами однополупериодного выпрямителя и всех выпрямителей являются:

- средние значения выпрямленного тока и напряжения $I_{H. ср}$ и $U_{H. ср}$;
- мощность нагрузочного устройства $P_{H. ср} = U_{H. ср} \cdot I_{H. ср}$;
- амплитуда основной гармоники выпрямленного напряжения $U_{осн м}$;
- коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения $\rho = U_{осн м} / U_{H. ср}$;
- действующее значение тока и напряжения первичной и вторичной обмоток трансформатора I_1, U_1 и I_2, U_2 .

В однополупериодном выпрямителе (рис. 5.2):

$$U_{H. ср} = \frac{\sqrt{2} \cdot U_2}{\pi} \approx 0,45U_2, \quad (5.1)$$

$$U_2 \approx 2,22 U_{H. ср},$$

$$I_{H. ср} = 0,45 U_2/R_H.$$

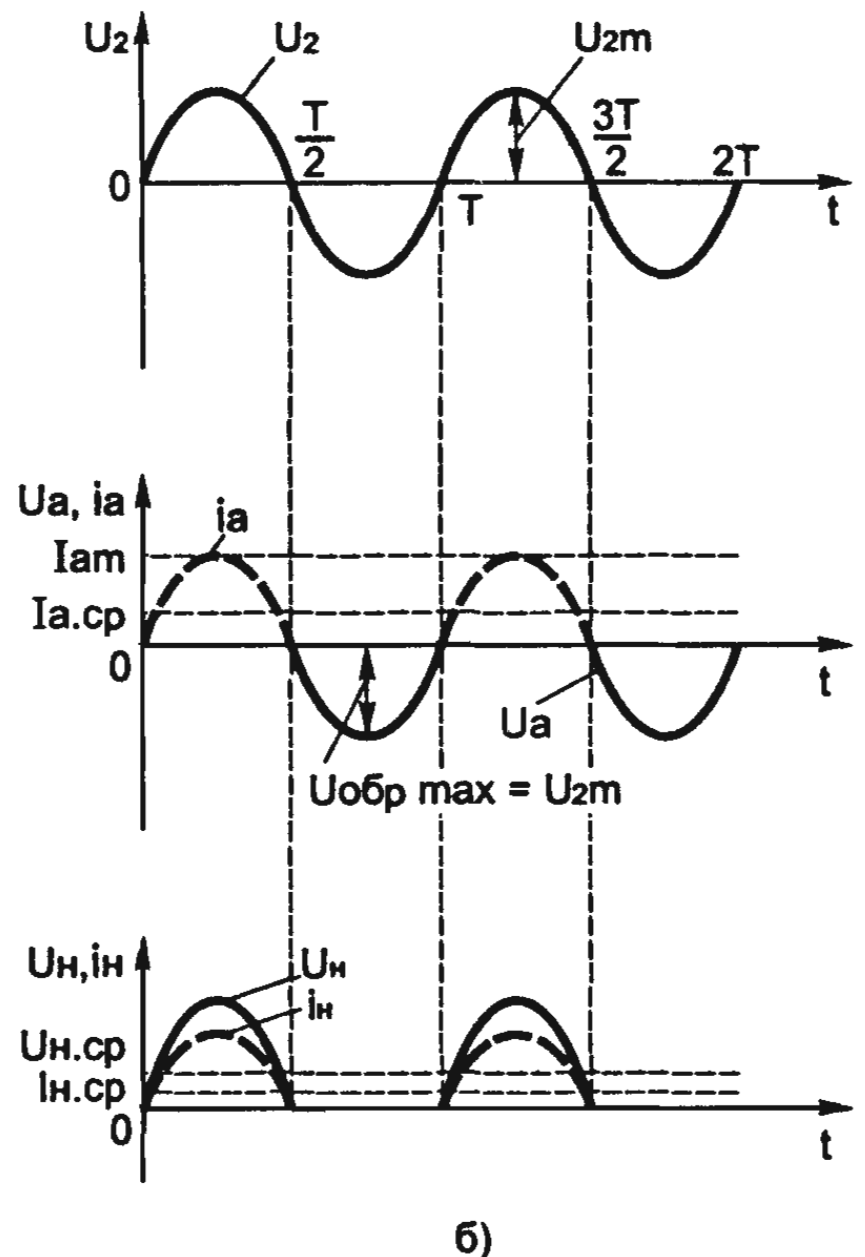
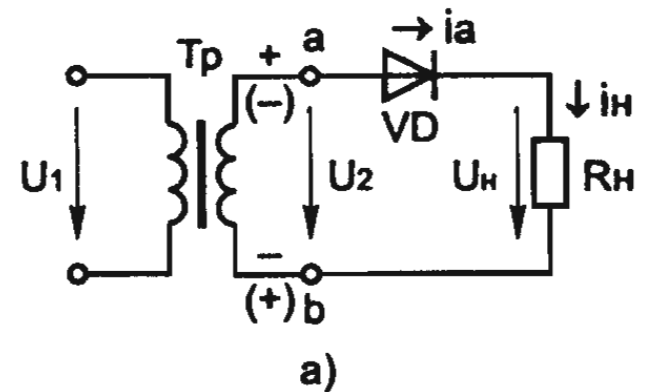


Рис. 5.2. Схема (а) и временные диаграммы напряжений и токов (б) однополупериодного выпрямителя

Ток $I_{н.ср}$ является прямым током диода, т. е.

$$I_{пр.ср} = I_{н.ср} = 0,45 U_2/R_n. \quad (5.1, а)$$

Ток I_n является током вторичной обмотки трансформатора: $I_n = I_2$. Тогда с учетом (5.1) действующее значение этого тока

$$I_2 = \frac{U_2}{R_n} = \frac{\pi \cdot U_{н.ср}}{\sqrt{2} \cdot R_n} \approx 1,57 I_{н.ср}. \quad (5.2)$$

Принимая во внимание, что коэффициент пульсаций r есть отношение амплитуды основной (первой) гармоники, частота которой в данном случае равна ω_1 , к выпрямленному напряжению $U_{н.ср}$, получим

$$r \approx 1,57.$$

Основное преимущество однополупериодного выпрямителя его простота; недостатки — большой коэффициент пульсаций, малые значения выпрямленного тока и напряжения. Однополупериодный выпрямитель применяют обычно для питания высокоомных нагрузочных устройств мощностью не более 10...15 Вт (например, электронно-лучевых трубок), допускающих повышенную пульсацию.

Диод в выпрямителях является основным элементом. Поэтому диоды должны соответствовать основным электрическим параметрам выпрямителей. Иначе говоря, диоды во многом определяют основные показатели выпрямителей. Для надежной работы диодов в выпрямителях требуется выполнение условий: $I_{пр.ср} > I_{н.ср}$ и $U_{обр.мах} > \sqrt{2}U_{2m}$ примерно с превышением в 30%.

Двухполупериодные выпрямители бывают двух типов: мостовые и с выводами средней точки вторичной обмотки трансформатора. Эти выпрямители являются более мощными, чем однополупериодные, так как с их помощью нагрузочные устройства используют для своего питания оба полупериода напряжения сети. Наибольшее распространение получил двухполупериодный мостовой выпрямитель (рис. 5.3, а). Он состоит из трансформатора и четырех диодов, подключенных к вторичной обмотке трансформатора по мостовой схеме. К одной из диагоналей моста присоединяется вторичная обмотка трансформатора, а к другой — нагрузочный резистор R_n . Каждая пара диодов (VD1, VD3 и VD2, VD4) работает поочередно.

Диоды VD1, VD3 открыты в первый полупериод напряжения вторичной обмотки трансформатора u_2 (интервал времени $0-T/2$), когда потенциал точки a выше потенциала точки b . При этом в нагрузочном резисторе R_H появляется ток i_H (рис. 5.3,б). В этом интервале диоды VD2, VD4 закрыты.

В следующий полупериод напряжения вторичной обмотки (интервал времени $T/2-T$) потенциал точки b выше потенциала точки a , диоды VD2, VD4 открыты, а диоды VD1, VD3 закрыты. В оба полупериода, как видно из рис. 5.3,а ток через нагрузочный резистор R_H имеет одно и то же направление.

Основные параметры мостового выпрямителя:

$$U_{H.c.p} \approx 0,9 U_2 \quad (5.3)$$

$$I_{H.c.p} \approx 0,9 U_2/R_H \quad (5.4)$$

$$U_2 \approx 1,11 U_{H.c.p} \quad (5.5)$$

$$I_{пр.ср} = 0,5 I_{H.c.p} \quad (5.6)$$

$$I_2 \approx 0,78 I_{H.c.p} \quad (5.7)$$

$$U_{обр.мах} \approx 1,57 U_{H.c.p} \quad (5.8)$$

$$I_{пр.м} \approx 1,57 I_{H.c.p} \quad (5.9)$$

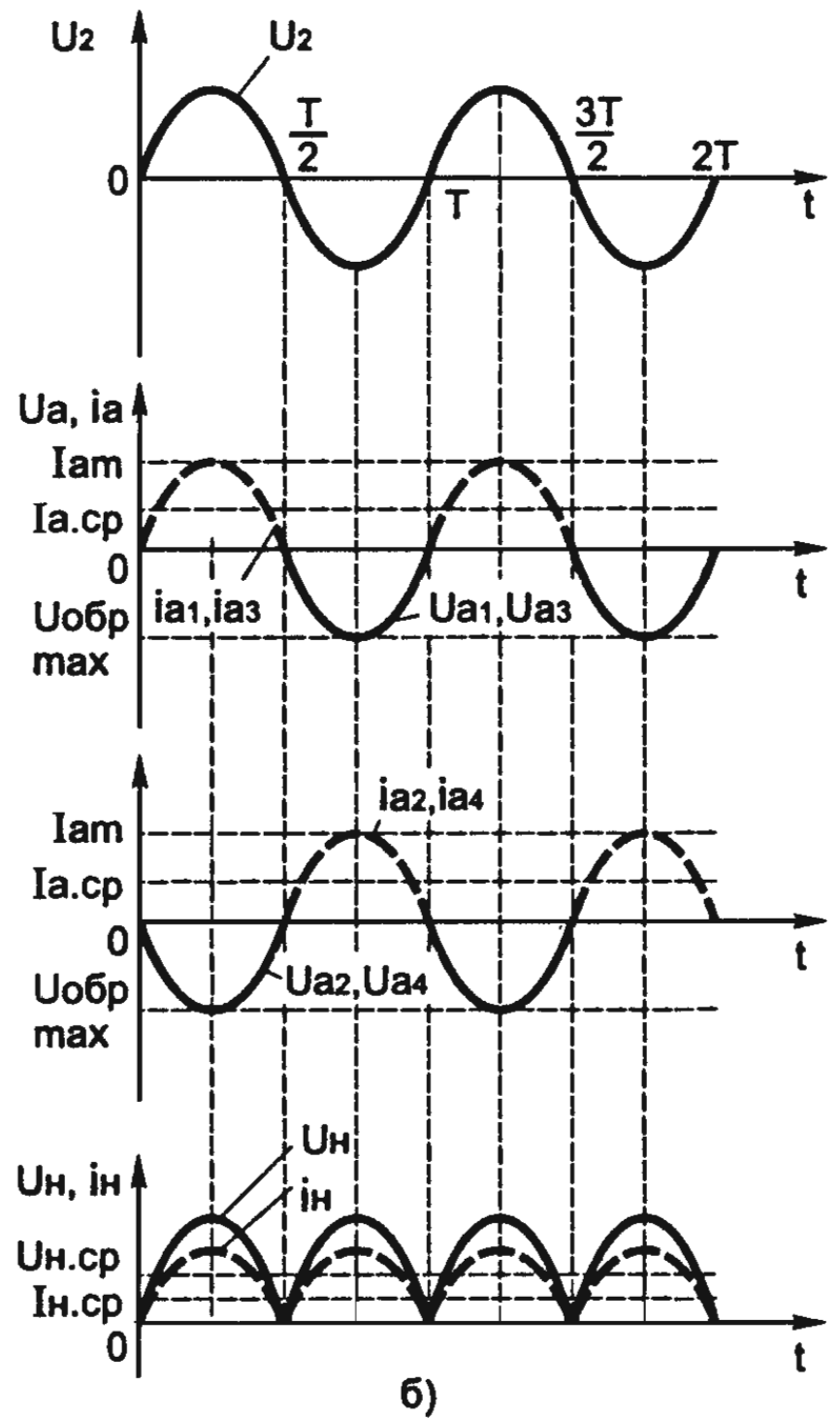
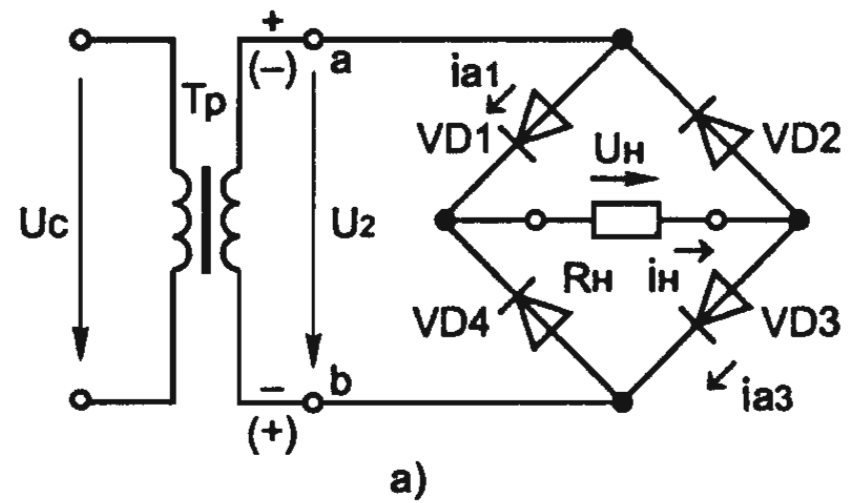


Рис. 5.3. Схема (а) и временные диаграммы напряжений и токов (б) мостового выпрямителя

Анализ приведённых соотношений показывает, что при одинаковых значениях параметров трансформаторов и сопротивления R_H мостовой выпрямитель по сравнению с однополупериодным имеет следующие преимущества: средние значения выпрямленного тока $I_{H.c.p}$ и напряжения $U_{H.c.p}$ в два раза больше, а пульсации значительно меньше. Амплитуда основной гармоники частотой 2ω равна $\frac{2}{3} U_{H.c.p}$. Следовательно, $\rho \approx 0,67$.

В то же время максимальное обратное напряжение на каждом из закрытых диодов, которые по отношению к зажимам вторичной обмотки включены параллельно, имеет такое же значение, что и в однополупериодном выпрямителе, т. е. $U_{2m} = \sqrt{2}U_2$. Все эти преимущества достигнуты за счет увеличения количества диодов в четыре раза, что является основным недостатком мостового выпрямителя.

Двухполупериодный выпрямитель с выводом средней точки вторичной обмотки трансформатора (рис. 5.4, а) можно рассматривать как сочетание двух однополупериодных выпрямителей, включённых на один и тот же нагрузочный резистор R_H .

Действительно, в каждый из полупериодов напряжения u_{ab} работает либо верхняя, либо нижняя часть выпрямителя. Когда потенциал точки a выше потенциала средней точки O (интервал времени $0—T/2$), диод $VD1$ открыт, диод $VD2$ закрыт, так как потенциал точки b ниже потенциала точки O . В этот период времени в нагрузочном резисторе R_H появляется ток i_H (рис. 5.4, б). В следующий полупериод напряжения u_{ab} (интервал времени $T/2—T$) потенциал точки b выше, а потенциал точки a ниже потенциала точки O . Диод $VD2$ открыт, а диод $VD1$ закрыт. При этом ток в нагрузочном резисторе R_H имеет то же направление, что и в предыдущий полупериод. При одинаковых значениях напряжений U_{2a} и U_{2b} эти токи будут равны.

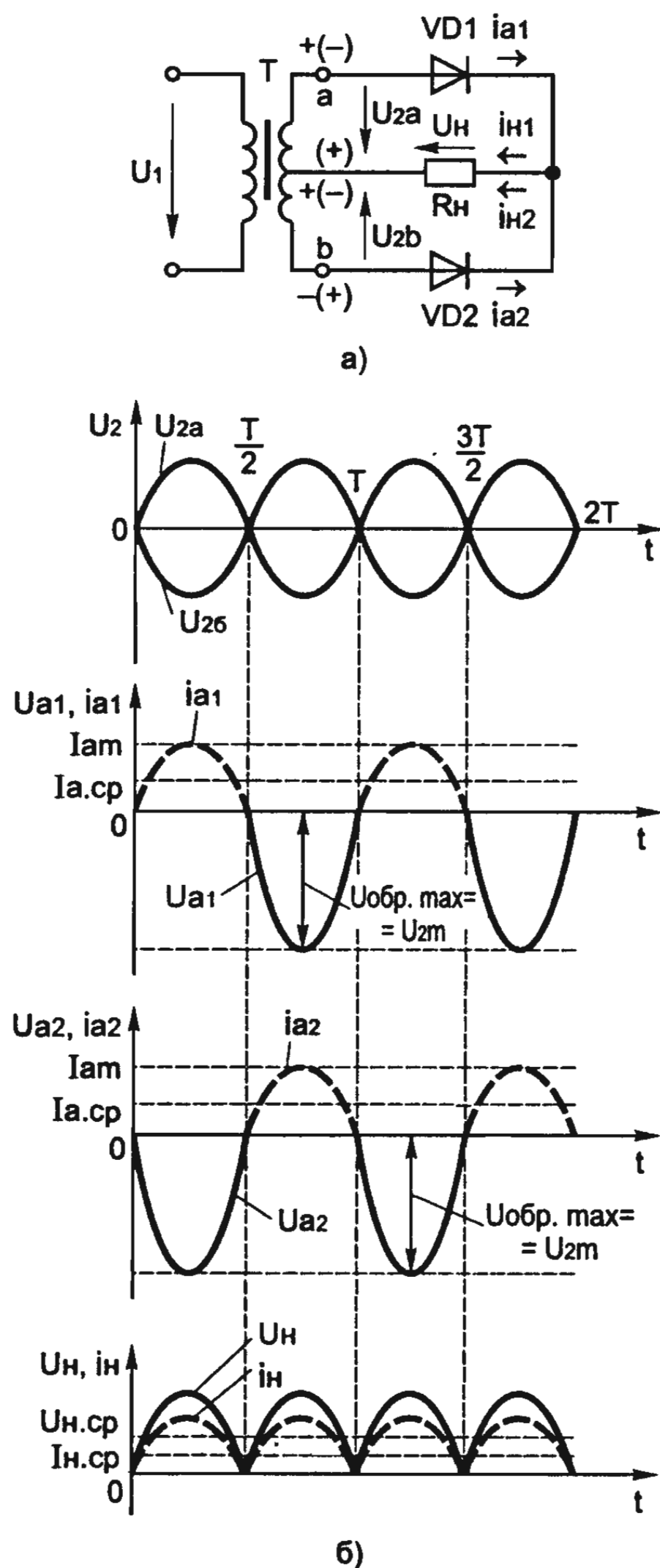


Рис. 5.4. Схема (а) и временные диаграммы напряжений и токов (б) выпрямителя с выводом средней точки вторичной обмотки трансформатора

Данный тип выпрямителя имеет те же преимущества перед однополупериодным выпрямителем, что и мостовой выпрямитель, за исключением напряжения $U_{\text{обр.мах}}$, которое определяется напряжением u_{ab} . При $U_{ab} = 2U_2$ и одинаковых значениях сопротивлений нагрузочных резисторов R_n

$$U_{\text{обр.мах}} \approx 3,14 U_{\text{н.ср.}}$$

Все остальные соотношения для токов и напряжений определяются по формулам (5.5—5.7, 5.9), полученным для мостового выпрямителя, а коэффициент пульсаций $p \approx 0,67$.

Помимо указанного недостатка, в рассматриваемом двухполупериодном выпрямителе габариты, масса и стоимость трансформатора больше, чем в однополупериодном и мостовом выпрямителе, поскольку вторичная обмотка имеет вдвое больше число витков и требуется вывод от средней точки обмотки.

Достоинства этого выпрямителя — вдвое меньше количество диодов.

Двухполупериодные выпрямители применяют для питания нагрузочных устройств малой и средней мощностей.

5.2. СГЛАЖИВАЮЩИЕ ФИЛЬТРЫ

Сглаживающим фильтром называют устройство, предназначенное для уменьшения пульсаций выпрямленного напряжения.

Как отмечалось выше, выпрямленное напряжение является пульсирующим, в котором можно выделить постоянную и переменную составляющие. Коэффициент пульсации для однополупериодного однофазного выпрямителя равен 1,57, а для двухполупериодного выпрямителя — 0,67.

С такими коэффициентами пульсаций выпрямленное напряжение в подавляющем большинстве случаев использовать нельзя, так как при этом работа электронных блоков и устройств резко ухудшается или вообще недопустима. В зависимости от назначения того или иного электронного блока (усилителя, генератора и т. д.), его места в электронном устройстве или системе (на входе, выходе и т. д.) коэффициент пульсаций напряжения питания не должен превышать определённых значений. Так, для основных каскадов автоматических систем он не должен превышать $10^{-2} \dots 10^{-3}$, для выходных усилительных каскадов — $10^{-4} \dots 10^{-5}$, для автогенераторов —

$10^{-5} \dots 10^{-6}$, а для входных каскадов электронных измерительных устройств — $10^{-6} \dots 10^{-7}$.

Основными элементами сглаживающих фильтров являются конденсаторы, катушки индуктивности и транзисторы, сопротивления которых различны для постоянного и переменного токов. Для постоянного тока сопротивление конденсатора равно бесконечности, а сопротивление катушки индуктивности очень мало. Сопротивление транзистора постоянному току (статическое сопротивление) на два-три порядка меньше сопротивления переменному току (динамическое сопротивление). Основным параметром, характеризующим эффективность действия сглаживающего фильтра является коэффициент сглаживания q , равный отношению коэффициентов пульсаций на входе и выходе фильтра:

$$q = p_{вх} / p_{вых}$$

Кроме выполнения требования к коэффициенту сглаживания фильтры должны иметь минимальное падение постоянного напряжения на элементах, минимальные габариты, массу и стоимость.

В зависимости от типа фильтрующего элемента различают емкостные, индуктивные и электронные фильтры. По количеству фильтрующих звеньев фильтры делятся на однозвенные и многозвенные. Здесь будем рассматривать самые простые фильтры.

5.2.1. Емкостные фильтры

Этот тип фильтров относится к однозвенным фильтрам. Его включают параллельно нагрузочному резистору R_n (рис. 5.5,а). Работу емкостного фильтра удобно рассматривать с помощью временных диаграмм, изображённых на рис. 5.5,б. В интервал времени $t_2 - t_3$ конденсатор через открытый диод VD заряжается до амплитудного значения напряжения u_2 , так как в этот период напряжение $u_2 > u_c$. В это время ток $i_a = i_c + i_n$. В интервале времени $t_1 - t_2$, когда напряжение u_2 становится меньше напряжения на конденсаторе u_c , конденсатор разряжается через нагрузочный резистор R_n , заполняя разрядным током паузу в нагрузочном токе i_n , которая имеется в однополупериодном выпрямителе в отсутствие фильтра. В этот интервал времени напряжение на резисторе R_n снижается до некоторого значения, соответствующего времени t_3 , при котором напряжение u_2 в положительный полупериод становится равным напряжению на конденсаторе u_c . После этого ди-

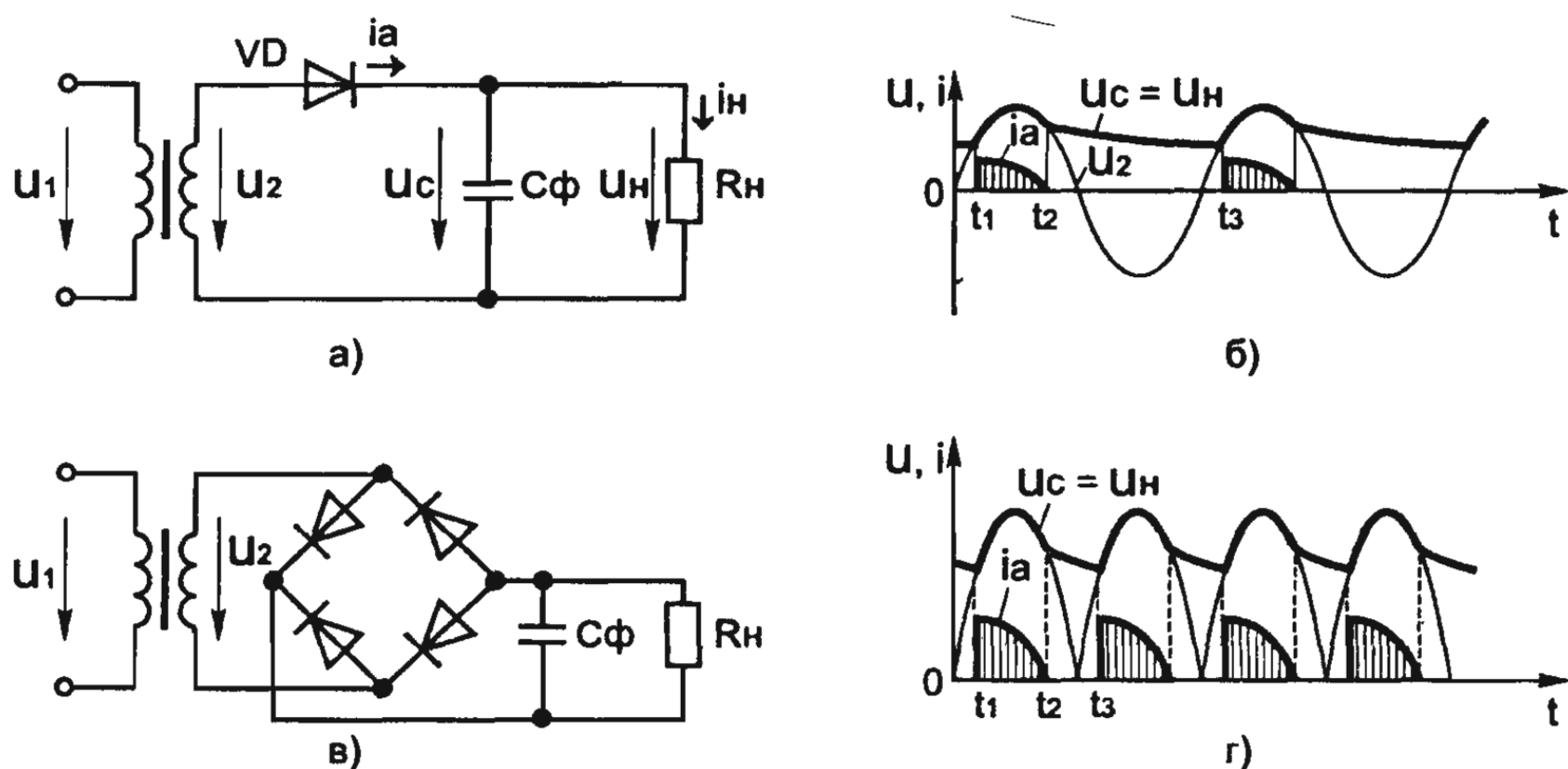


Рис. 5.5. Схемы ёмкостных фильтров с однополупериодным (а) и мостовым (в) выпрямителями, временные диаграммы напряжений и токов однополупериодного (б) и мостового (г) выпрямителей с ёмкостным фильтром

од вновь открывается, конденсатор C_ϕ начинает заряжаться и процессы зарядки и разрядки конденсатора повторяются.

Временные диаграммы тока и напряжений двухполупериодного мостового выпрямителя с емкостным фильтром (рис. 5.5, в) приведены на рис. 5.5, г. Анализ временных диаграмм показывает, что с изменением емкости конденсатора C_ϕ или сопротивления нагрузочного резистора R_H будет изменяться значение коэффициента пульсаций выпрямленного напряжения. При этом чем меньше разрядится конденсатор, тем меньше будут пульсации в выпрямленном токе i_H . Разряд конденсатора C_ϕ определяется постоянной времени разрядки $\tau_{\text{разр}} = C_\phi R_H$. При постоянной времени $\tau_{\text{разр}} \geq 10T$ коэффициент пульсаций определяется по формуле

$$p = \frac{1}{2\pi f_{\text{осн}} \tau_{\text{разр}}},$$

где $f_{\text{осн}}$ — частота основной гармоники, не превышает 10^{-2} .

Работа выпрямителя с емкостным фильтром существенно зависит от изменения нагрузочного тока. Действительно, при увеличении тока i_H , что происходит при уменьшении сопротивления R_H , постоянная времени $\tau_{\text{разр}}$ уменьшается, уменьшается и среднее значение выпрямленного напряжения $U_{H,\text{ср}}$, а пульсации возрастают.

При использовании емкостного фильтра следует учитывать, что максимальное значение тока диода i_a определяется лишь сопротивлениями диода $R_{\text{пр}}$ и вторичной обмотки трансформатора, по-

этому оно может достигать значений, больших $I_{пр.мах}$. Такой большой ток может вывести из строя диод. Для предотвращения этого последовательно с диодом необходимо включать добавочный резистор. Кроме того, следует учитывать, что напряжение $U_{обр.мах}$, прикладываемое к диоду, в два раза превышает $U_{2м}$, так как в момент времени, когда диод заперт, напряжения на конденсаторе и на вторичной обмотке трансформатора складываются.

Емкостный фильтр целесообразно применять с высокоомным нагрузочным резистором R_H при мощности P_H не более нескольких десятков ватт.

5.2.2. Г-образные фильтры

Г-образные фильтры являются простейшими многозвенными фильтрами. Этот фильтр может быть LC-типа (рис. 5.6,а) или RC-типа (рис. 5.6,б). Их применяют тогда, когда с помощью однозвенных фильтров не выполняется предъявляемое к ним требование с точки зрения получения необходимых коэффициентов сглаживания. Эти фильтры, являясь более сложными по сравнению с однозвенными, обеспечивают значительно большее уменьшение коэффициента пульсаций. Снижение пульсаций LC-фильтром объясняется совместными действиями катушки индуктивности и конденсатора. Снижение переменных составляющих выпрямленного напряжения обусловлено как сглаживающим действием конденсатора C_ϕ , так и значительным падением переменных составляющих напряжения на дросселе L_ϕ . В то же время постоянная составляющая напряжения на нагрузочном резисторе не уменьшается, так как отсутствует сколько-нибудь значительное падение напряжения этой составляющей на очень малом активном сопротивлении дросселя. С учетом рекомендаций по выбору значений C_ϕ и L_ϕ , выражение для коэффициента сглаживания LC-фильтра можно записать в виде:

$$q = \omega_{\text{сн}}^2 L_\phi C_\phi - 1. \quad (5.10)$$

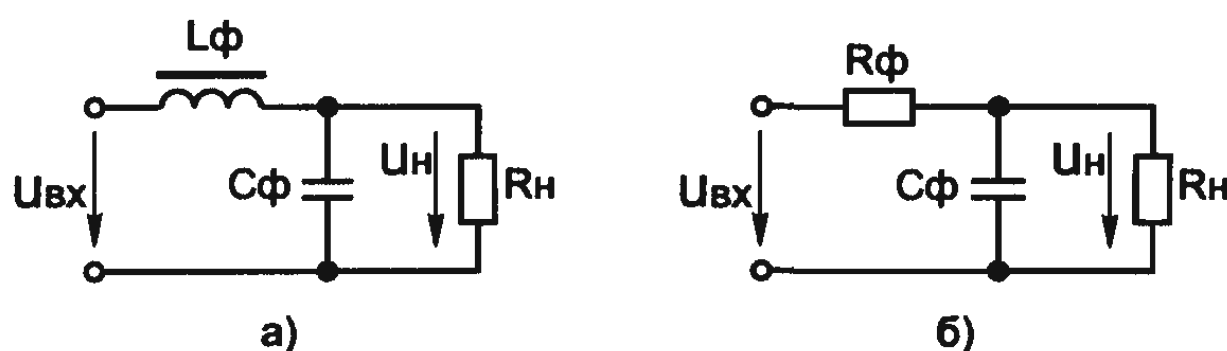


Рис. 5.6. Схема Г-образных LC-фильтра (а) и RC-фильтра (б)

Оно позволяет рассчитать параметры этого фильтра по заданному значению коэффициента сглаживания:

$$L_{\phi} C_{\phi} = \frac{q + 1}{\omega_{\text{осн}}^2}. \quad (5.10, \text{ а})$$

В расчетах по формуле (5.10,а) одним из параметров (индуктивностью или емкостью) элементов фильтра задаются исходя из габаритов, массы и стоимости элементов.

В маломощных выпрямителях, у которых сопротивление нагрузочного резистора составляет несколько килоом, вместо дросселя L_{ϕ} включают резистор R_{ϕ} (рис. 5.6, б), что существенно уменьшает массу, габариты и стоимость фильтра. При выборе $X_{C_{\phi}} \ll R_{\phi}$ на резисторе R_{ϕ} создается значительно большее падение напряжения от переменных составляющих выпрямленного тока, чем на резисторе $R_{\text{н}}$. Если выбрать значение R_{ϕ} из соотношения $R_{\text{н}}/(R_{\text{н}} + R_{\phi}) = 0,5 \dots 0,9$, то падение постоянной составляющей напряжения на резисторе R_{ϕ} будет минимальным. В итоге доля переменной составляющей в выпрямленном напряжении по отношению к постоянной составляющей на нагрузочном резисторе $R_{\text{н}}$ значительно уменьшается. Коэффициент сглаживания для Г-образного RC-фильтра определяется из выражения:

$$q = (0,5 \dots 0,9) \omega_{\text{осн}} R_{\phi} C_{\phi}.$$

Следует отметить, что коэффициент сглаживания RC-фильтра меньше, чем у LC-фильтра.

5.3. ВНЕШНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫПРЯМИТЕЛЕЙ

Внешней характеристикой выпрямителя называют зависимость напряжения на нагрузочном устройстве от тока в нем: $U_{\text{н}} = f(I_{\text{н}})$.

Наличие такой зависимости обусловлено тем, что в реальном выпрямителе сопротивления диодов и обмоток трансформаторов не равны нулю, а имеют конечные значения. На этих сопротивлениях от выпрямленного тока $I_{\text{н}}$ создается падение напряжения, приводящее к уменьшению напряжения $U_{\text{н}}$.

В выпрямителе без фильтра напряжение $U_{\text{н}}$ и нагрузочный ток связаны между собой соотношением:

$$U_{\text{н}} = U_{\text{н.х}} - (R_{\text{пр}} + R_{\text{тр}})I_{\text{н}},$$

где $U_{\text{н.х}}$ — напряжение на нагрузочном устройстве при $I_{\text{н}} = 0$.

На рис. 5.7 изображена зависимость $U_n = f(I_n)$ выпрямителя без фильтра (кривая 1). Как видно, кривая 1 нелинейная, что объясняется нелинейным характером вольт-амперной характеристики диода, т. е. зависимостью $R_{пр}$ от тока.

Кривая 2 на рис. 5.7 соответствует выпрямителю с емкостным фильтром. При $I_n = 0$ кривая берет свое начало из точки на оси ординат, соответствующей напряжению $U_{2m} = \sqrt{2}U_2$, так как в отсутствие тока I_n конденсатор C_f заряжается до амплитудного значения напряжения вторичной обмотки u_2 . С ростом тока I_n кривая 2 спадает быстрее, чем кривая 1, что объясняется не только увеличением падения напряжения на вторичной обмотке трансформатора и прямом сопротивлении диода, но и уменьшением постоянной времени разряда $\tau_{разр} = R_n C_f$, обуславливающим дополнительное снижение среднего значения выпрямленного напряжения U_n . Можно легко показать, что при дальнейшем уменьшении R_n кривая 2 будет асимптотически стремиться к кривой 1 и при $R_n = 0$ они придут в одну точку на оси абсцисс.

Внешняя характеристика выпрямителя с Г-образным RC-фильтром (кривая 3) на рис. 5.7 имеет еще более крутой наклон, чем кривая 2. Это вызвано дополнительным падением напряжения на последовательно включенном резисторе R_f .

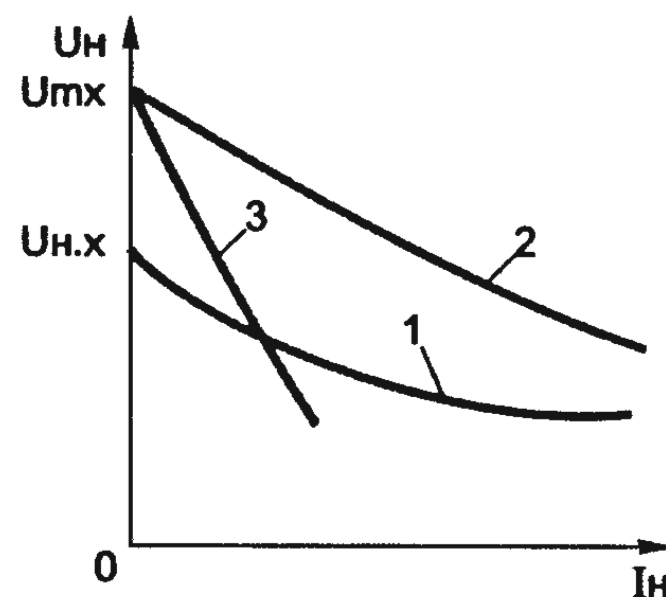


Рис. 5.7. Внешние характеристики выпрямителей

5.4. СТАБИЛИЗАТОРЫ НАПРЯЖЕНИЯ

Стабилизатором напряжения называют устройство, автоматически обеспечивающее поддержание напряжения нагрузочного устройства с заданной степенью точности.

Напряжение нагрузочного устройства может сильно изменяться не только при изменении нагрузочного тока I_n , но и за счет воздействия ряда дестабилизирующих факторов. Одним из них является изменение напряжения промышленных сетей переменного тока. В соответствии с ГОСТ это напряжение может отличаться от номинального значения в пределах от $+10$ до -15% . Другими дестабилизирующими факторами являются изменение температуры окружающей среды, колебание частоты тока и т. д. Применение стаби-

лизаторов диктуется тем, что современная электронная аппаратура может нормально функционировать при нестабильности питающего напряжения 0...3%, а для отдельных функциональных узлов электронных устройств нестабильность должна быть еще меньше. Так, для УПТ и некоторых измерительных электронных приборов нестабильность питающего напряжения не должна превышать $10^{-4}\%$.

Стабилизаторы квалифицируют по ряду признаков:

- по роду стабилизируемой величины — стабилизаторы напряжения или тока;
- по способу стабилизации — параметрические и компенсационные стабилизаторы.

В настоящее время широкое применение получили компенсационные стабилизаторы, которые подразделяют на стабилизаторы непрерывного и импульсного регулирования. При параметрическом способе стабилизации используются некоторые приборы с нелинейной вольт-амперной характеристикой, имеющей пологий участок, где напряжение (ток) мало зависит от дестабилизирующих факторов. К таким приборам относятся стабилитроны, бареттеры, лампы накаливания и др.

При компенсационном способе стабилизации постоянство напряжения (тока) обеспечивается за счет автоматического регулирования выходного напряжения (тока) источника питания. Это достигается за счет введения отрицательной обратной связи между выходом и регулирующим элементом, который изменяет свое сопротивление так, что компенсирует возникшее отклонение выходной величины.

Основным параметром, характеризующим качество работы всех стабилизаторов, является *коэффициент стабилизации*. Как отмечалось, определяющими дестабилизирующими факторами, из-за которых изменяются выходные величины стабилизатора, являются входное напряжение стабилизатора $U_{вх}$ и нагрузочный ток $I_{н}$.

Для стабилизатора напряжения *коэффициент стабилизации по напряжению*:

$$K_{ст. U} = \frac{\frac{\Delta U_{вх}}{U_{вх}}}{\frac{\Delta U_{вых}}{U_{вых}}},$$

где $\Delta U_{вх}$ и $\Delta U_{вых}$ — приращения входного и выходного напряжений, а $U_{вх}$ и $U_{вых}$ — номинальные значения входного и выходного напряжений.

Помимо коэффициента стабилизации стабилизаторы характеризуются такими параметрами, как внутреннее сопротивление $R_{i\text{ст}}$ и коэффициент полезного действия $\eta_{\text{ст}}$. Значение *внутреннего сопротивления стабилизатора* $R_{i\text{ст}}$ позволяет определить падение напряжения на стабилизаторе, а следовательно, и напряжение на нагрузочном устройстве U_H при изменениях нагрузочного тока.

Коэффициент полезного действия стабилизатора характеризует мощность потерь в нем и является основным энергетическим показателем стабилизатора:

$$\eta_{\text{ст}} = P_H / (P_H + P_{\text{п}}),$$

где P_H — полезная мощность в нагрузочном устройстве; $P_{\text{п}}$ — мощность потерь.

В ряде случаев необходимо учитывать массу, габариты и срок службы используемых стабилизаторов.

5.4.1. Параметрические стабилизаторы напряжения

Схема простейшего *параметрического стабилизатора напряжения* изображена на рис. 5.8,а. С помощью такого стабилизатора, в котором применяется полупроводниковый стабилитрон VD, можно получать стабилизированное напряжение от нескольких вольт до нескольких сотен вольт при токах от единиц миллиампер до единиц ампер. Если необходимо стабилизировать напряжение менее 3 В, то вместо стабилитронов используют стабисторы (см. гл. 4).

Стабилитрон в параметрическом стабилизаторе включают параллельно нагрузочному резистору R_H . Последовательно со стабилитроном для создания требуемого режима работы включают балластный резистор R_6 . Принцип действия параметрического стабилизатора постоянного напряжения удобно объяснить с помощью графика на рис. 5.8,б, на котором изображены вольт-амперная характеристика полупроводникового стабилитрона и «опрокинутая» вольт-амперная характеристика резистора R_6 . Такое построение вольт-амперных характеристик позволяет графически решить уравнение электрического состояния стабилизатора напряжения: $U_{\text{вх1}} = U_{\text{ст1}} + R_6 I_{\text{ст1}}$. При увеличении напряжения $U_{\text{вх1}}$ на $\Delta U_{\text{вх}}$, например, из-за повышения напряжения сети, вольт-амперная характеристика резистора R_6 переместится параллельно самой себе и займет положение 2. Из рис. 5.8,б видно, что напряжение $U_{\text{ст2}}$ мало отличается от напряжения $U_{\text{ст1}}$, т. е. практически напряжение

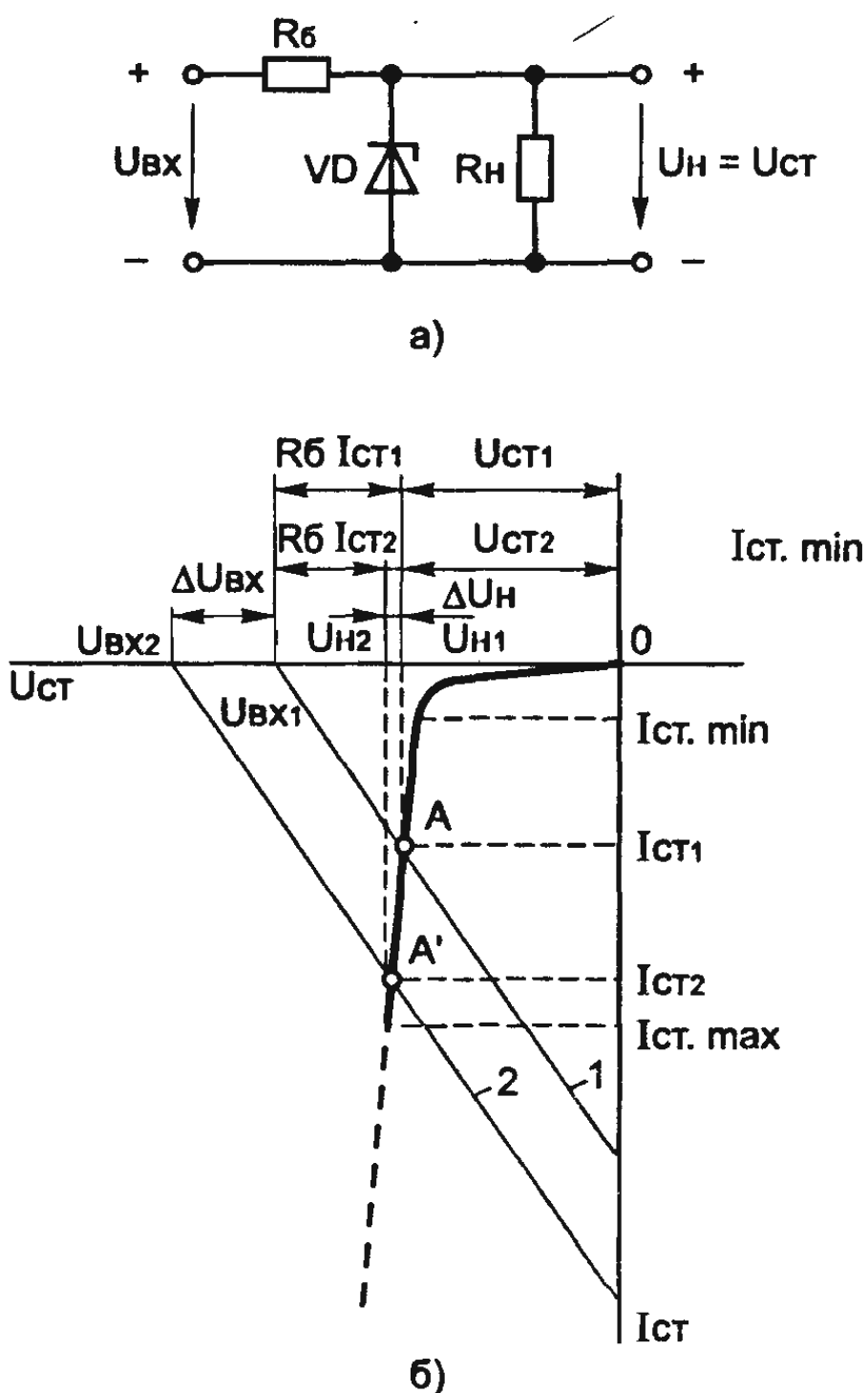


Рис. 5.8. Схема параметрического стабилизатора напряжения на полупроводниковом стабилитроне (а) и пояснение принципа действия параметрического стабилизатора (б)

большой коэффициент полезного действия, не превышающий 0,3, большое внутреннее сопротивление стабилизатора (5...20 Ом), а также узкий регулируемый диапазон стабилизируемого напряжения.

Работа компенсационного стабилизатора напряжения будет рассмотрена в этой главе на примере конкретного стабилизатора, рекомендуемого для изготовления.

5.5. ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

5.5.1. Приставка-автомат к блоку питания [4]

Когда радиоаппаратура питается от выносного блока, приходится постоянно помнить о необходимости вынуть из розетки вилку сетевого шнура, после того как нагрузка выключена. Един-

на стабилитроне и на нагрузочном резисторе R_n останется неизменным. Напряжение на нагрузочном устройстве останется неизменным также при снижении входного напряжения и изменениях нагрузочного тока I_n .

Для нормальной работы параметрического стабилизатора сопротивление резистора R_6 должно быть таким, чтобы его вольт-амперная характеристика пересекала вольт-амперную характеристику стабилитрона в точке А, соответствующей номинальному току стабилитрона $I_{ст.ном}$, значение которого указано в паспортных данных стабилитрона.

Коэффициент стабилизации параметрического стабилизатора на полупроводниковом стабилитроне может достигать 30...50.

Основными достоинствами параметрических стабилизаторов напряжения являются простота конструкции и надежность работы. К недостаткам следует отнести не-

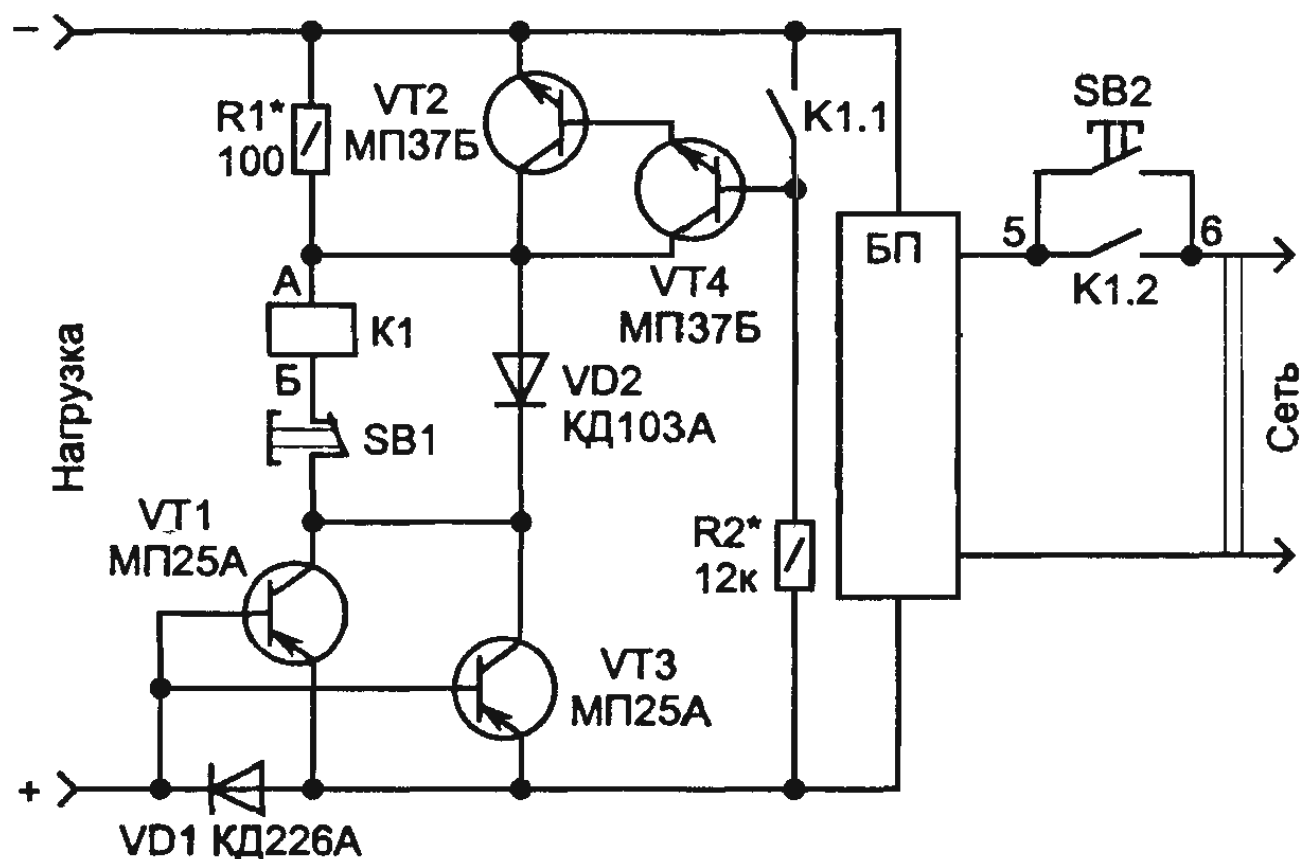


Рис. 5.9. Приставка -автомат к блоку питания

ственный выход в этом случае — дополнить блок питания автоматом (рис. 5.9), который отключит блок от сети, если контакты выключателя нагрузки будут разомкнуты.

Рассмотрим работу автомата. При нажатии кнопки SB2 на выходе блока питания (БП) и нагрузке (ее выключатель SB2 должен находиться во включенном состоянии) появляется постоянное напряжение. Протекающий через диод VD1 ток нагрузки создает на нем падение напряжения, открывающее транзисторы VT1, VT3. Одновременно через резистор R2 подается открывающее напряжение на составной транзистор VT2—VT4. При этом транзистор VT2 шунтирует резистор R1, подавая на обмотку реле K1 практически полное питающее напряжение.

Реле срабатывает и контактами K1.2 шунтирует контакты кнопки SB2 (теперь кнопку можно отпустить), а контактами K1.1 закрывает составной транзистор. С этого момента через обмотку реле протекает ток удержания, ограниченный резистором R1.

Если необходимо выключить нагрузку, достаточно нажать кнопку SB1. Реле отпустит и разомкнувшимися контактами K1.2 отключит блок питания от сети. В случае ошибочного отключения нагрузки ее встроенным выключателем ток через диод VD1 перестанет протекать, транзисторы VT1, VT3 закроются, реле отпустит, контакты K1.2 разомкнутся.

Параллельное включение транзисторов VT1, VT3 позволяет снизить токовую нагрузку на них до безопасного значения. Конечно, на их месте может работать один более мощный транзи-

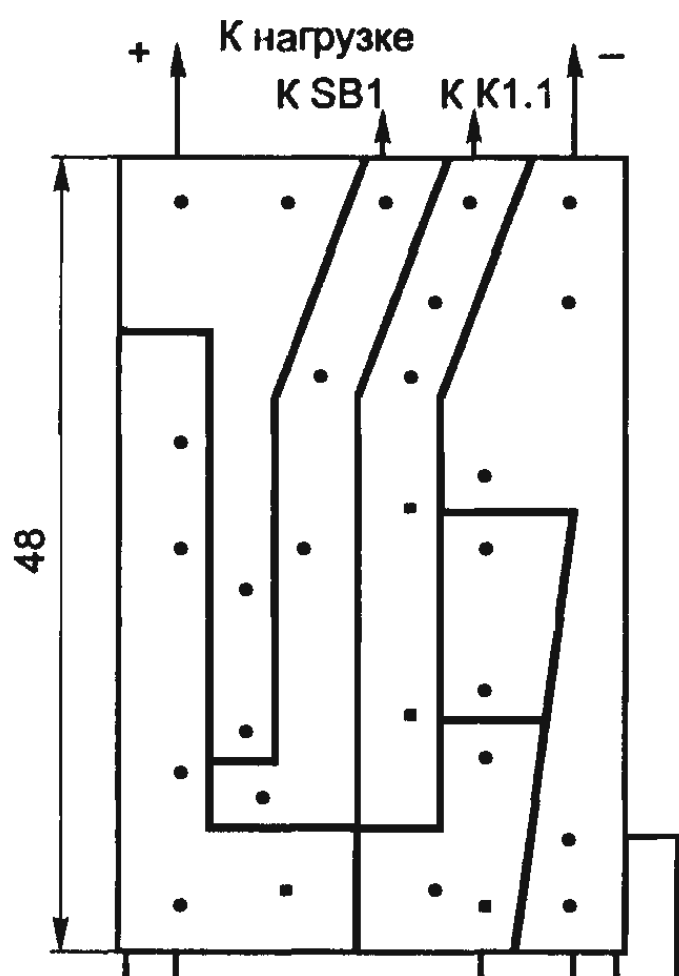


Рис. 5.10. Печатная плата для приставки-автомата

стор. Диод VD2 защищает транзисторы от токов, возникающих при коммутации обмотки реле.

Кроме указанных на схеме, в автомате могут быть использованы другие германиевые транзисторы соответствующей структуры. Следует лишь помнить, что транзисторы VT1, VT3 должны быть рассчитаны на работу при коллекторном токе, необходимом для срабатывания и удержания реле, их можно заменить одним из серий КТ814, КТ816 с исключением диода VD1, а VT2 должен кратковременно (25 мс) выдерживать ток срабатывания реле (можно использовать любой транзистор серий КТ815, КТ817). Диод VD1 — любой выпрямительный крем-

ниевый, способный пропустить максимальный ток нагрузки, VD2 — практически любой кремниевый маломощный, скажем, серий КД102, КД103. При выходном напряжении блока питания 12 В реле может быть РЭН32, паспорт РФ4.519.021-02 (старое обозначение РФ4.519.025П2), а при 9 В — такое же, но паспорт РФ4.519.021-03 (РФ4.519.026П2). Конечно, подойдут и другие реле, срабатывающие при возможно меньшем токе и с контактами К1.2, рассчитанными на работу при сетевом напряжении 220 В.

Часть деталей автомата монтируют на печатной плате (рис. 5.10) из одностороннего фольгированного стеклотекстолита, которую вместе с реле устанавливают внутри блока питания. Кнопки укрепляют на стенке блока. Если же габариты блока питания не позволяют осуществить такой монтаж, автомат выполняют в виде отдельной приставки с собственным корпусом (кнопки теперь будут на нем) и объединяют его с блоком на общем основании.

Налаживание автомата сводится к подбору резисторов: R1 должен быть такого максимального сопротивления, при котором реле удерживается после срабатывания, а R2 должен обеспечивать насыщение транзистора VT2, в этом режиме падение напряжения между эмиттером и коллектором транзистора не превышает нескольких десятых долей вольта.

5.5.2. Стабилизатор в адаптере [5]

Большинство малогабаритных сетевых блоков питания зарубежного производства, называемых адаптерами, содержат три основных компонента: понижающий трансформатор, выпрямитель и оксидный конденсатор фильтра. Габариты корпуса адаптера позволяют легко переделать его в стабилизированный блок питания.

Здесь рассматривается вариант переделки адаптера (рис. 5.11), рассчитанного на ток нагрузки 300 мА, в стабилизированный источник питания с защитой от короткого замыкания. Узел сравнения выходного напряжения собран на транзисторе VT2. Если напряжение на выходе стабилизатора снизится, коллекторный ток транзистора VT2 и, следовательно, транзистора VT1 увеличится. Выходное напряжение стабилизатора останется на прежнем уровне.

При коротком замыкании транзистор VT2 открыт. Значение тока его коллектора и соответственно тока базы транзистора VT1 определяется сопротивлением резистора R3. Следовательно, ток регулирующего транзистора также будет ограничен.

Детали стабилизатора смонтированы на плате адаптера, с которой удален переключатель. Транзисторы устройства выбирают с возможно большим коэффициентом передачи тока. Выпрямительные диоды используются те же, а оксидный конденсатор необходимо подобрать с возможно меньшими габаритами. Транзистор VT1 установлен на теплоотвод из дюралюминия толщиной 2 мм и размерами 40 × 10 мм (продиктовано размерами корпуса адаптера). Кроме того, для улучшения теплового режима в корпусе адаптера необходимо сделать отверстия.

Для уменьшения пульсации выходного напряжения между базой транзистора VT2 и нижним по схеме выводом резистора R2 целесообразно включить оксидный конденсатор емкостью 20...22 мкФ на напряжение не менее 15 В плюсовым выводом к базе VT2.

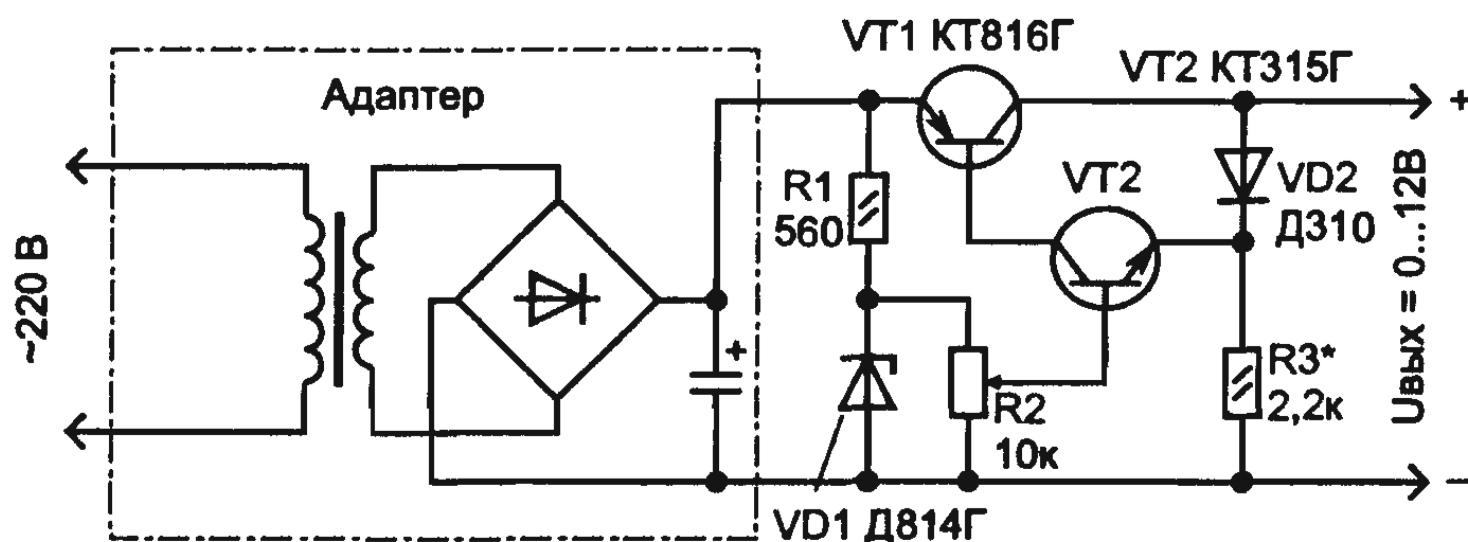


Рис. 5.11. Стабилизатор для адаптера

5.5.3. Электрошоковое средство защиты [6]

Основу прибора составляет преобразователь постоянного напряжения (рис. 5.12, а). На выходе прибора применен умножитель напряжения на диодах КЦ-106 и конденсаторах 220 пФ × 10 кВ. Питанием служат 10 аккумуляторов Д-0,55. С меньшими — результат чуть хуже. Можно применять и батареи «Крона» или «Корунд». Важно иметь 9—12 вольт. Аккумуляторы удобны только тем, что их можно заряжать.

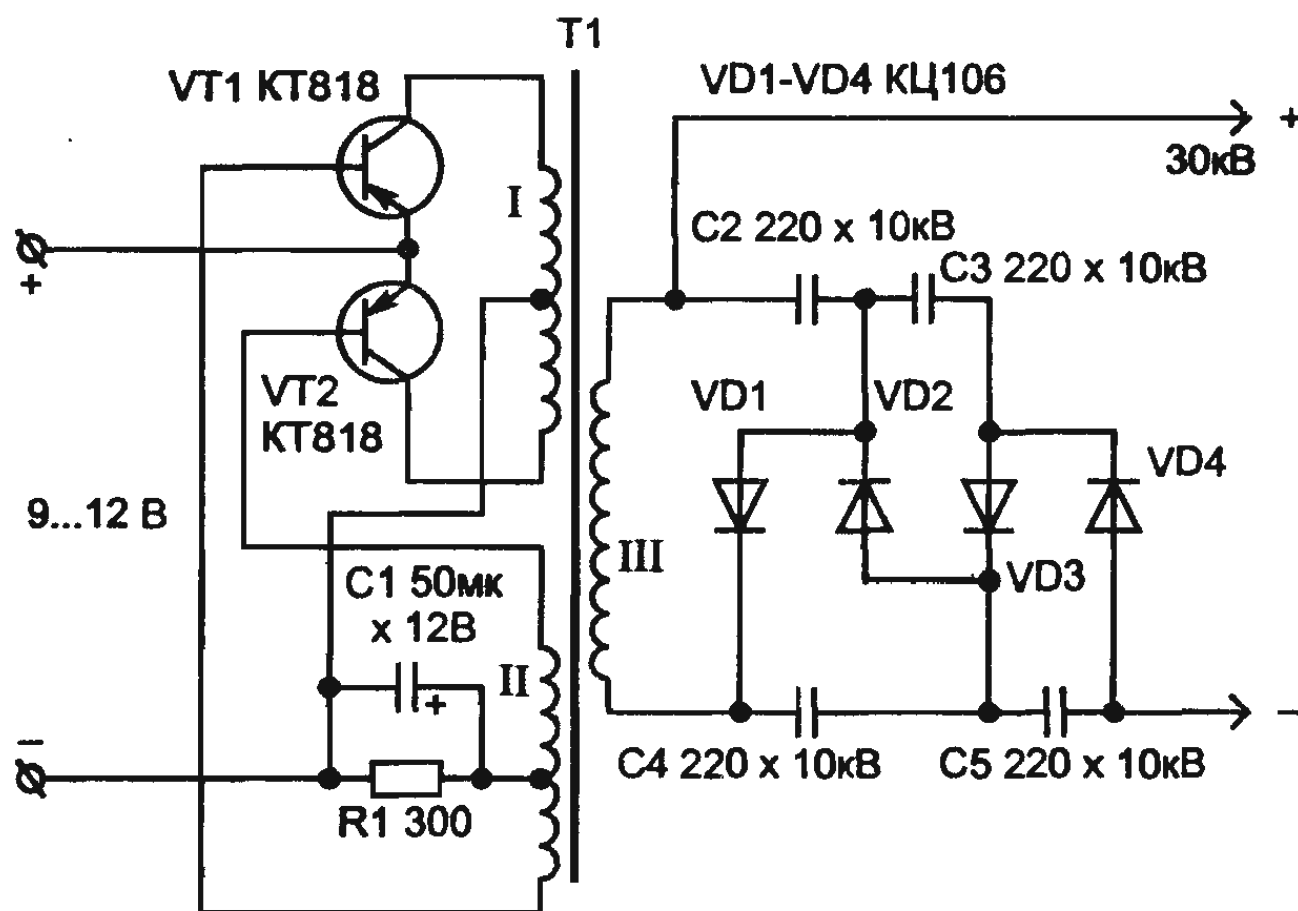


Рис. 5.12,а. Электрошоковое средство защиты

I — 2 × 14 диам. 0,5—0,8

II — 2 × 6 диам. 0,5—0,8

III — 5 — 8 тыс. диам. 0,15—0,25

Очень важным элементом является трансформатор, который изготовлен из ферритового сердечника (ферритовый стержень от радиоприемника диаметром 8 мм), но эффективнее работал трансформатор из феррита от ТВС — из «П»-образного изготовлен брусок.

Правила намотки высоковольтной обмотки взяты из журнала «Радио» № 1 за 1992 год («Электрическая спичка») — через каждую тысячу витков прокладывается изоляция. Для межвитковой изоляции применяется лента ФУМ (фторопласт). Другие материалы менее надежны. Экспериментально опробованы изоленга, слюда, применен провод ПЭЛШО. Трансформатор служил недолго — обмотки «прошивало».

Корпус изготовлен из пластмассовой коробки подходящих размеров — пластмассовая упаковка от электропаяльника. Размеры оригинала: $190 \times 50 \times 40$ мм (рис. 5.12,б). В корпусе сделаны перегородки из пластмассы между трансформатором и умножителем, а также между электродами со стороны пайки — меры предосторожности во избежание прохождения искры внутри схемы (корпуса), что также предохраняет трансформатор. С наружной части под электродами расположены небольшие «усики» из латуни для уменьшения расстояния между электродами — разряд образуется между ними. В данной конструкции расстояние между электродами — 30 мм, а длина короны — 20 мм. Искра образуется и без «усов» — между электродами, но есть опасность пробоя трансформатора, образования ее внутри корпуса. Идея «усов» взята из фирменных моделей.

Во избежание самовключения при ношении целесообразнее применять выключатель движкового типа.

Хочется предупредить радиолюбителей о необходимости осторожного обращения с изделием как в период конструирования и наладки, так и с готовым аппаратом. Помните, что он направлен против хулигана, преступника, но в то же время против человека. Превышение пределов необходимой обороны наказывается по закону.

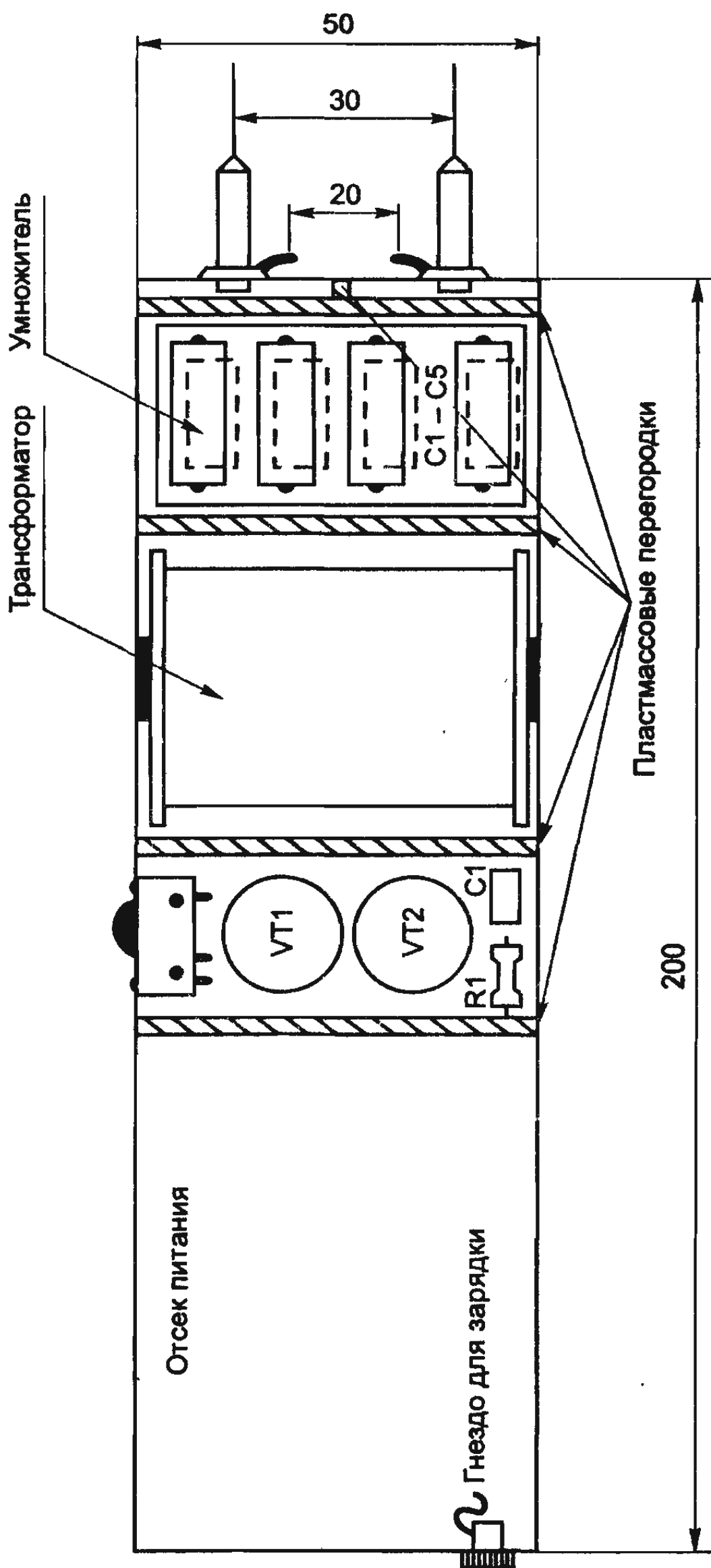


Рис. 5.12,б. Корпус прибора

5.5.4. Формирователь биполярных напряжений [7]

Приведенная на рис. 5.13 схема может быть очень полезной, требуется получить от одного источника два напряжения разной полярности, например для питания операционного усилителя.

В бестрансформаторном преобразователе элемент DD1.1 служит генератором прямоугольных импульсов, при указанных значениях R1 и C1 его частота примерно равна 100 кГц и сигнал имеет ТТЛ-уровни. DD1.2 и DD1.3 «буферируют» отдельно два канала. К выходам обоих буферов подключены двухполупериодные выпрямители, элементы которых по отношению друг к другу включены в противоположных полярностях, таким образом на выходах преобразователя имеются симметричные напряжения $\pm 8,5$ В с допустимым током нагрузки 10 мА.

Учитывая сравнительно высокую частоту работы преобразователя, для C2...C5 необходимо использовать по возможности танталовые конденсаторы.

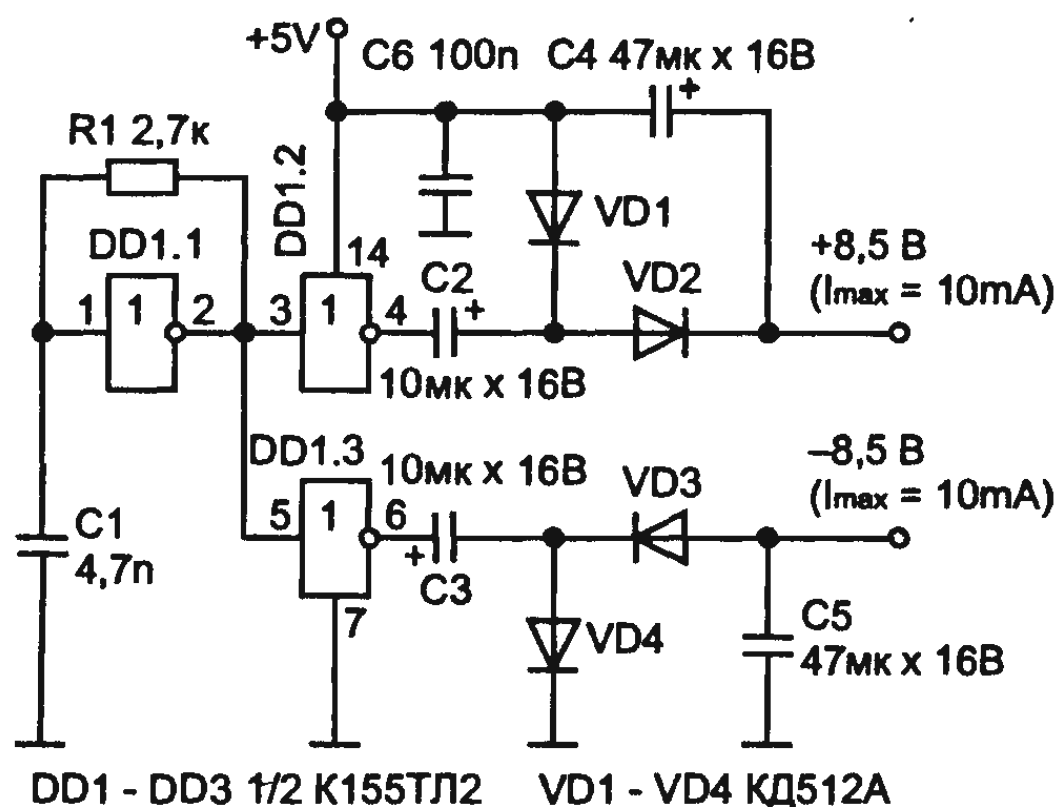


Рис. 5.13. Формирователь биполярных напряжений

5.5.5. Источники питания с конденсаторным делителем напряжения

Маломощные сетевые блоки питания с гасящим конденсатором в силу своей предельной простоты получили в последние годы большое распространение, несмотря на ряд присущих им серьезных недостатков (таких, например, как гальваническая связь цепи нагрузки с сетью переменного тока). Конечно, их приходится так или иначе преодолевать. Если нагрузочный ток такого источника

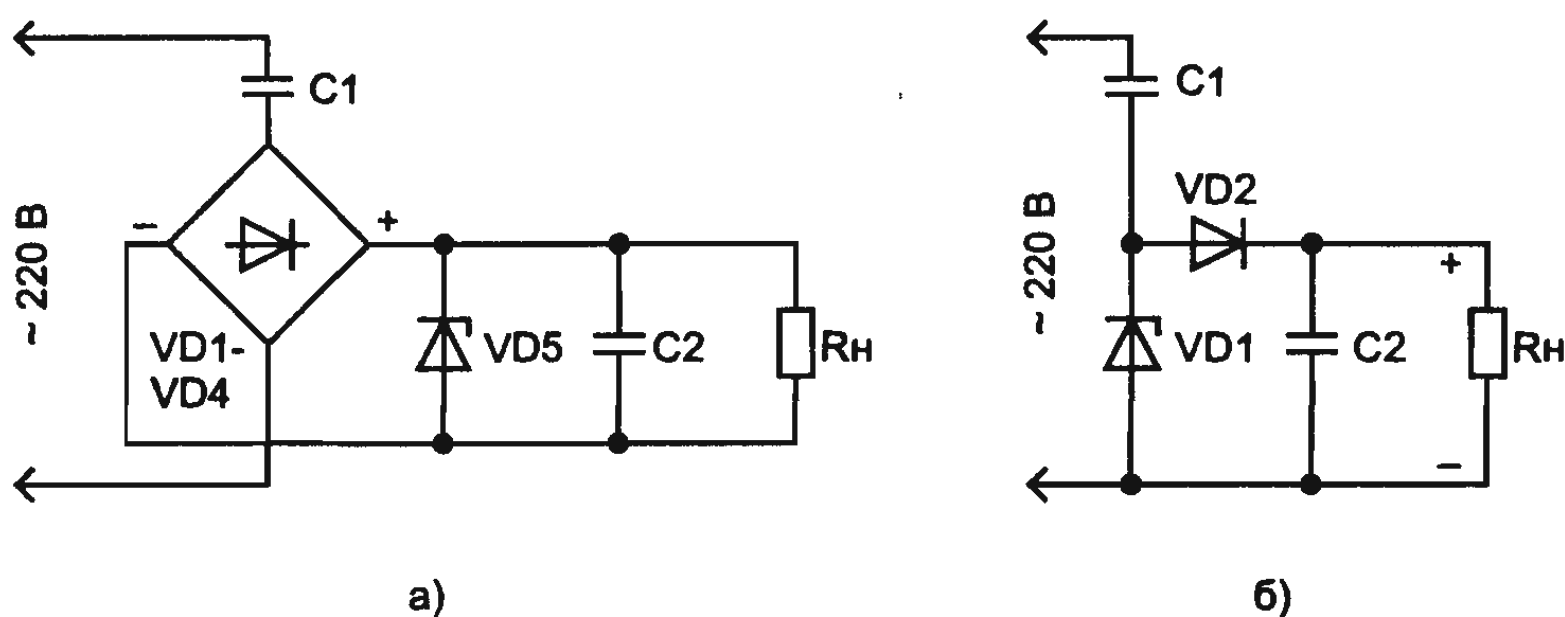


Рис. 5.14. Сетевой источник питания с гасящим конденсатором

меняется в широких пределах, параллельно нагрузке необходимо включать стабилитрон, что существенно снижает КПД устройства.

Сетевой источник питания с гасящим конденсатором (рис. 5.14), по сути, есть делитель напряжения, у которого верхнее плечо — конденсатор, а нижнее представляет собой сложную нелинейную диодно-резисторно-конденсаторную цепь. Этим и определены недостатки (и достоинства, конечно) таких устройств.

Для того чтобы источник мог работать в широком интервале тока нагрузки с высоким КПД, достаточно входной делитель напряжения выполнить чисто реактивным, например конденсаторным (рис. 5.15). Он позволяет дополнительно стабилизировать выходное напряжение источника последовательно включенным компенсационным или импульсным стабилизатором, чего нельзя делать в обычном источнике с гасящим конденсатором.

Источник с конденсаторным делителем напряжения целесообразно использовать для совместной работы с импульсными стабилизаторами. Идеально подходит он для устройства, длительно потребляющего малый ток, но требующего в определенный момент резкого его увеличения. Пример — квартирное сторожевое устройство на микросхемах КМОП с исполнительным узлом на реле и звуковом сигнализаторе.

Ток, потребляемый конденсаторным делителем, будет иметь фазовый сдвиг в 90° относительно напряжения сети, поэтому делитель напряжения на реактивных элементах не требует охлаждения.

Исходя из вышесказанного ток через делитель вроде бы мож-

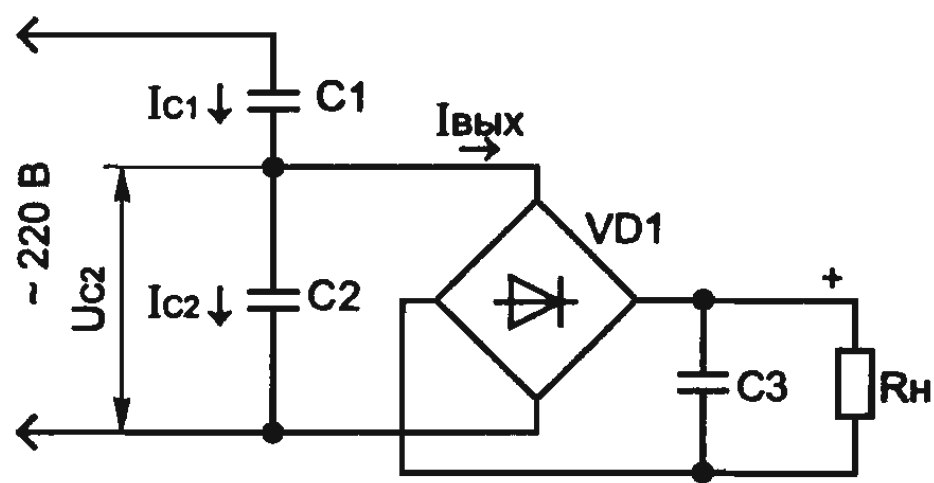


Рис. 5.15. Источник питания с конденсаторным делителем напряжения

но выбрать сколь угодно большим. Однако неоправданное увеличение тока делителя приведет к активным потерям в проводах и к увеличению массы и объема устройства. Поэтому целесообразно принять ток через делитель напряжения в пределах 0,5...3 от максимального тока нагрузки.

Расчет источника с емкостным делителем несложен. Выходное напряжение $U_{\text{вых}}$ и полный выходной ток (стабилитрона и нагрузки $I_{\text{вых}}$) источника по схеме рис. 5.14,а связаны следующим образом: $(I_{\text{вых}} = 4fC_1(2U_c - U_{\text{вых}}))$.

Эта формула пригодна и для расчета источника с конденсаторным делителем, в ней просто надо заменить C_1 на суммарную емкость параллельно соединенных конденсаторов C_1 и C_2 , показанных на рис. 5.15, а U_c — на $U_{C_2Г}$ (напряжение на конденсаторе C_2 при $R_n = \Gamma$), т. е. $U_{C_2Г} = U_c \cdot C_1 / (C_1 + C_2)$. Тогда $I_{\text{вых}} = 4f(C_1 + C_2) \cdot [U_c \cdot C_1 \cdot \sqrt{2} / (C_1 + C_2) - U_{\text{вых}}]$ или после очевидных преобразований $I_{\text{вых}} = 4f \cdot C_1 [U_c \sqrt{2} - U_{\text{вых}}(1 + C_2/C_1)]$.

Поскольку падение напряжения на диодах моста U_d при малых значениях $U_{\text{вых}}$ становится заметным, получим окончательно $I_{\text{вых}} = 4f \cdot C_1 [U_c \sqrt{2} - (U_{\text{вых}} + 2U_d)(1 + C_2/C_1)]$.

Из формулы видно, что при $R_n = 0$ (т. е. при $U_{\text{вых}} = 0$) ток $I_{\text{вых}}$, если пренебречь падением напряжения на диодах, остается таким же, как у источника питания, собранного по схеме рис. 5.14,а. Напряжение же на выходе без нагрузки уменьшается: $U_{\text{вых}} = [U_c \cdot C_1 \cdot \sqrt{2} / (C_1 + C_2)] - 2U_d$.

Емкость и рабочее напряжение конденсатора C_2 выбирают исходя из необходимого выходного напряжения — соотношение значений емкости C_1/C_2 обратно пропорционально значениям падающего на C_1 и C_2 напряжения. Например, если $C_1 = 1$ мкФ, а $C_2 = 4$ мкФ, то напряжение U_{C_1} будет равно 4/5 напряжения сети, а $U_{C_2} = U_c/5$, что при напряжении сети $U_c = 220$ В соответствует 176 и 44 В. Необходимо учесть, что амплитудное значение напряжения почти в 1,5 раза превышает действующее, и надо выбрать конденсаторы на соответствующее номинальное напряжение.

Несмотря на то, что теоретически конденсаторы в цепи переменного тока мощности не потребляют, реально в них из-за наличия потерь может выделяться некоторое количество тепла. Проверить заранее пригодность конденсатора для использования в источнике можно, просто подключив его к электросети и оценив температуру корпуса через полчаса. Если конденсатор C_1 успевает

заметно разогреться, его следует считать непригодным для использования в источнике.

Практически не нагреваются специальные конденсаторы для промышленных электроустановок — они рассчитаны на большую реактивную мощность. Такие конденсаторы используют в люминесцентных светильниках, в пускорегулирующих устройствах асинхронных электродвигателей и т. п.

Ниже представлены две практические схемы источников питания с конденсаторным делителем: пятивольтовый общего назначения (рис. 5.16) на ток нагрузки до 0,3 А и источник бесперебойного питания для кварцевых электронно-механических часов (рис. 5.17).

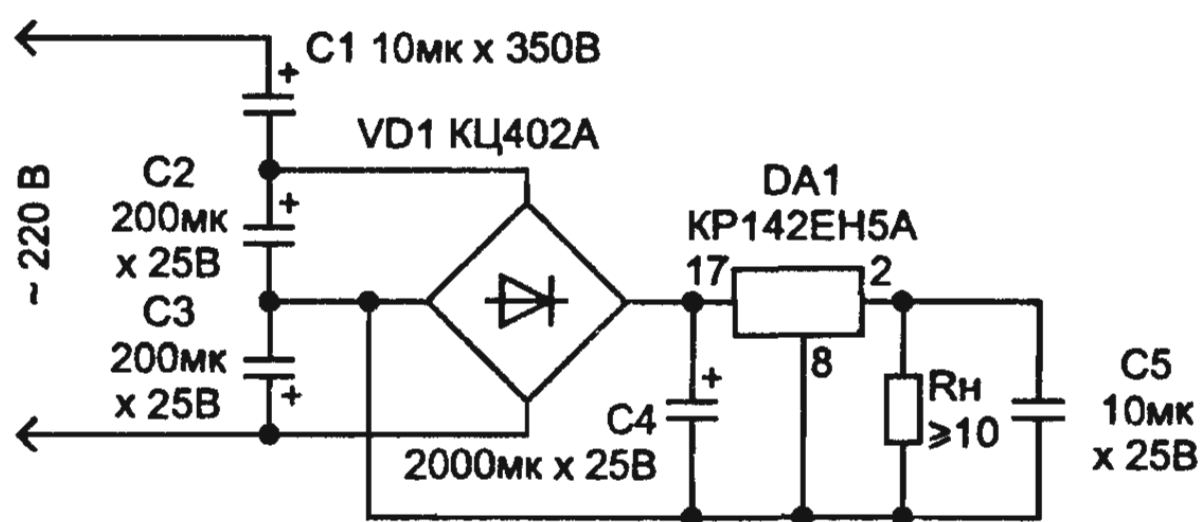


Рис. 5.16. Схема пятивольтового источника питания общего назначения с конденсаторным делителем напряжения

Делитель напряжения пятивольтового источника состоит из бумажного конденсатора $C1$ и двух оксидных $C2$ и $C3$, образующих нижнее по схеме неполярное плечо емкостью 100 мкФ. Поляризуемыми диодами для оксидной пары служат левые по схеме диоды моста. При номиналах элементов, указанных на схеме, ток замыкания (при $R_n = 0$) равен 600 мА, напряжение на конденсаторе $C4$ в отсутствие нагрузки — 27 В.

Электронно-механические часы обычно питают от одного гальванического элемента напряжением 1,5 В. Предлагаемый источ-

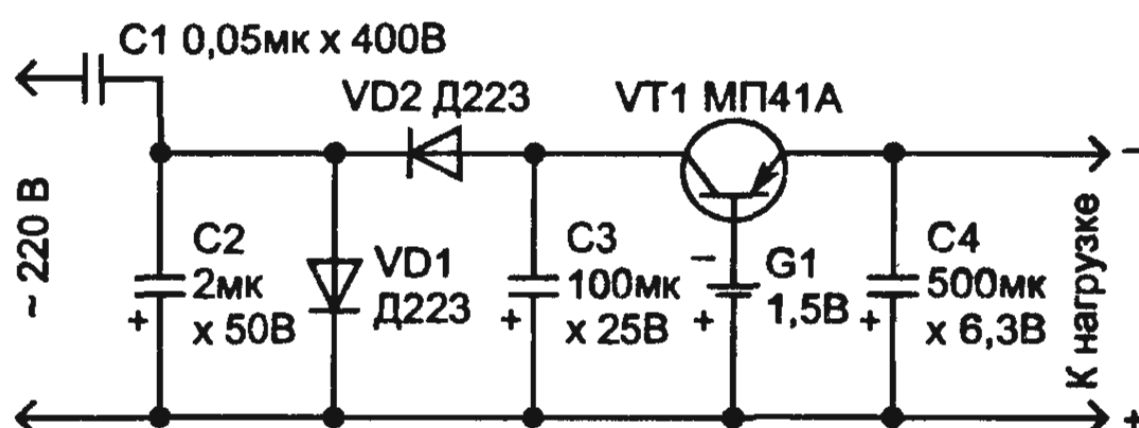


Рис. 5.17. Схема источника бесперебойного питания для кварцевых электронно-механических часов с конденсаторным делителем напряжения

ник вырабатывает напряжение 1,4 В при среднем токе нагрузки 1 мА. Напряжение, снятое с делителя С1С2, выпрямляет узел на элементах VD1, VD2, С3. Без нагрузки напряжение на конденсаторе С3 не превышает 12В.

5.5.6. Блок питания с регулируемым выходным напряжением

Это устройство может применяться как переносной источник стабилизированного напряжения при налаживании и испытании различных устройств на транзисторах. Блок питания обеспечивает получение стабилизированного постоянного напряжения до 12 В при силе тока через нагрузку до 250...300 мА. Принципиальная схема блока питания приведена на рис. 5.18,а. Он состоит из сетевого трансформатора TV1, двухполупериодного мостового выпрямителя на диодах VD1—VD4 и конденсатора С1, сглаживающего пульсации выпрямленного напряжения, стабилизатора напряжения на стабилитроне и транзисторах VT1, VT2. Выходное напряжение плавно регулируется переменным резистором R2 от долей вольта до 12 В. При увеличении силы тока нагрузки до 250...300 мА величина выходного напряжения остается практически постоянной. Трансформатор TV1 понижает напряжение сети до 12...14 В, после выпрямления напряжение на конденсаторе С1 равно 16...18 В. Особенность двухполупериодного мостового выпрямителя с конденсатором на выходе состоит в том, что с изменением емкости конденсатора С1 или сопротивления нагрузки R_H изменяется значение коэффициента пульсаций выпрямленного напряжения, т. е. изменяется переменное напряжение с удвоенной частотой основной гармоники. При $\tau_{\text{разр}} \geq 10T$ коэффициент пульсаций равен:

$$P = \frac{1}{2\pi f_{\text{осн}} \cdot \tau_{\text{разр}}} \leq 10^{-1},$$

где $\tau_{\text{разр}} = C1 \cdot R_H^1$; R_H^1 — в данном случае сопротивление цепи разряда конденсатора С1, состоящей из последовательно соединенных стабилитрона VD5 и резистора R1:

$$f_{\text{осн}} = 100 \text{ Гц.}$$

При уменьшении емкости конденсатора С1 (или сопротивления нагрузки) пульсации возрастают, а среднее значение выпрям-

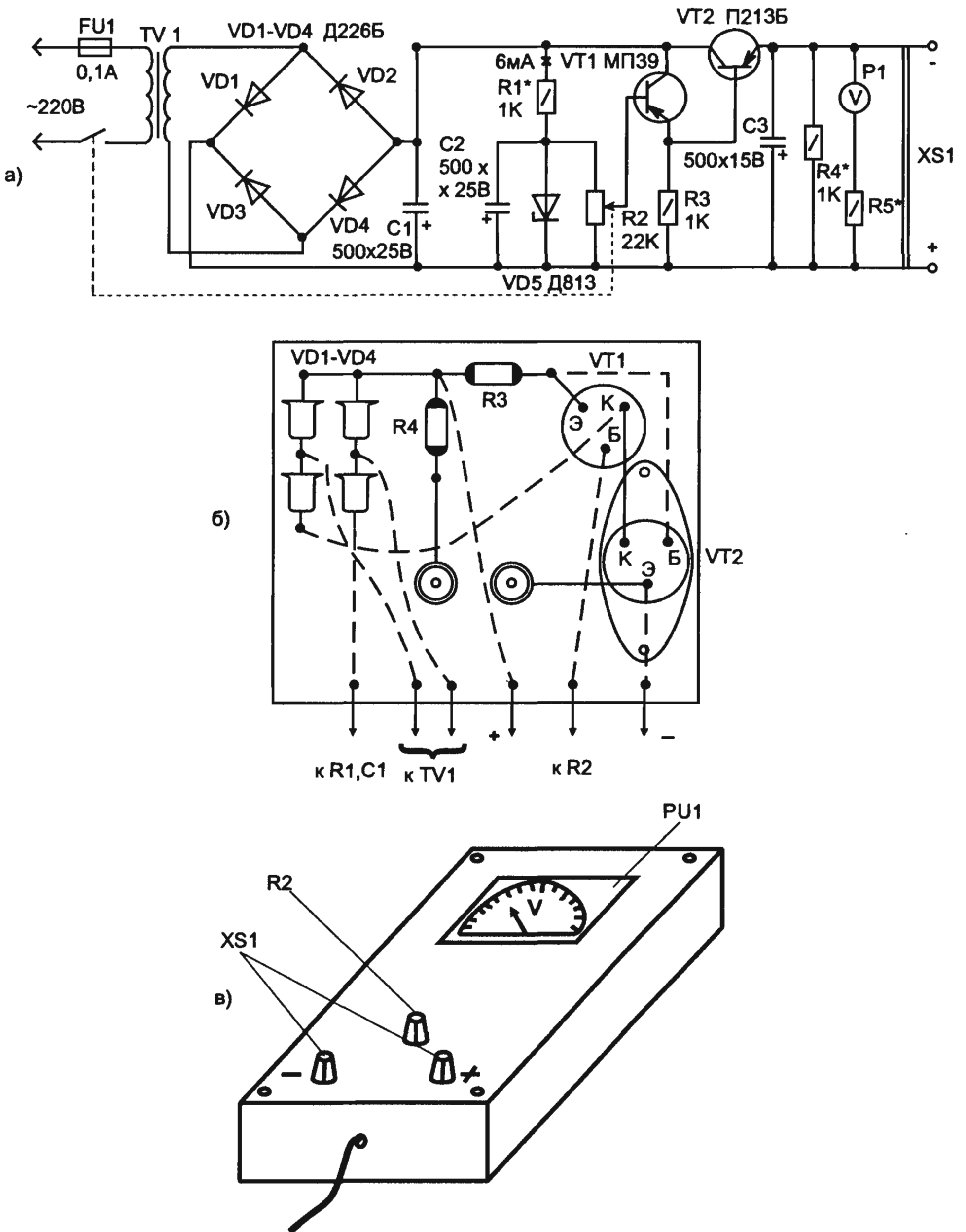


Рис. 5.18. а) схема блока питания с регулируемым стабилизированным напряжением;
 б) монтажная плата блока питания;
 в) конструкция блока питания

ленного напряжения уменьшается. При большой емкости конденсатора $C1$ максимальное значение силы тока диода в момент включения выпрямителя определяется лишь сопротивлениями диода в прямом направлении и вторичной обмотки трансформатора; поэтому сила тока может достигать значений, больших $I_{пр.макс}$. Такой большой ток может вывести из строя диод, поэтому для предотвращения этого при больших емкостях конденсатора $C1$ следует последовательно с диодами включать добавочные резисторы. Напряжение $U_{обр.макс}$, прикладываемое к диоду, в два раза превышает напряжение на вторичной обмотке трансформатора U_{2m} , так как в момент времени, когда диод заперт, напряжения на конденсаторе и на вторичной обмотке трансформатора складываются. Стабилизированное напряжение с резистора $R2$ подается на базу транзистора $VT1$, включенного по схеме эмиттерного повторителя, который является управляющим элементом. Напряжение с его нагрузки подается на базу регулирующего транзистора $VT2$, который также включен по схеме с ОК. Когда движок резистора $R2$ находится в крайнем нижнем (по схеме) положении, напряжение на базе управляющего транзистора равно нулю, оба транзистора закрыты и напряжение на выходе стабилизатора также равно (или близко) нулю. При перемещении движка резистора вверх открывается транзистор $VT1$, а также транзистор $VT2$, сила тока через нагрузку увеличивается. Напряжение на выходных гнездах $XS1$ стабилизатора на $0,3...0,4$ В меньше, чем на базе управляющего транзистора $VT1$ (в эмиттерных повторителях на германиевых транзисторах выходное напряжение всегда меньше входного на величину, равную примерно $0,2$ В). Монтажная плата блока показана на рис. 5.18,б, а конструкция блока — на рис. 5.18,в.

5.5.7. Блок питания со стабилизатором компенсационного типа

Этот блок питания служит для питания микросхем и имеет выходное напряжение, равное 5 В. В нем используется стабилизатор компенсационного типа, в котором благодаря наличию отрицательной обратной связи обеспечивается постоянство напряжения на нагрузке (рис. 5.19). Напряжение на вторичной обмотке трансформатора $TV1$ примерно $3,5$ В, выпрямленное напряжение на конденсаторе $C1$ равно $5,5...6$ В. Выходное напря-

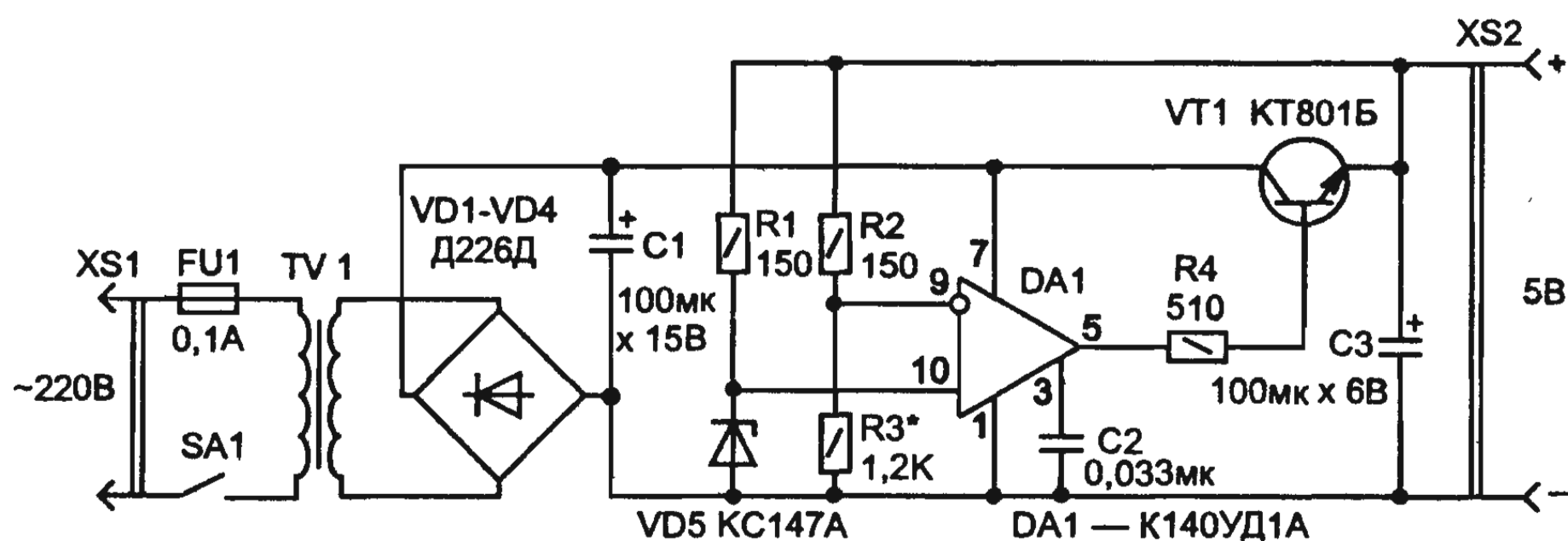


Рис. 5.19. Схема блока питания со стабилизатором компенсационного типа

жение с делителя напряжения R_2R_3 подается на инвертирующий вход (вывод 9) операционного усилителя, а образцовое напряжение, снимаемое со стабилитрона VD_5 , подается на неинвертирующий вход (вывод 10). Изменение напряжения между инвертирующим и неинвертирующим входами на несколько сотен микровольт вызывает изменение выходного напряжения в пределах его полного диапазона, определяемого ЭДС источника питания ОУ. Обычно схема включения ОУ такова, что с помощью внешней отрицательной обратной связи напряжение подается с выхода на вход, в результате чего разность напряжений между входами становится равной почти нулю. Поэтому при изменении (например, увеличении) напряжения на выходе стабилизатора изменится (увеличится) напряжение на инвертирующем входе ОУ, а это в свою очередь приведет к уменьшению выходного напряжения, и наоборот. Сопротивление транзистора VT_1 увеличится (так как на его базе уменьшится положительное напряжение), напряжение на нагрузке уменьшится. Это приведет к тому, что напряжение между выводами 9 и 10 станет практически равно нулю. Этот переходный процесс длится несколько микросекунд. Напряжение на выходе блока питания можно определить по упрощенной формуле:

$$U_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{ст}}(R_2 + R_3)}{R_3},$$

где $U_{\text{ст}}$ — напряжение на стабилитроне VD_5 .

Изменяя в небольших пределах сопротивления резисторов R_2 , R_3 , можно изменять выходное напряжение источника. При этом, как видно из формулы, выходное напряжение не может быть меньше напряжения стабилизации стабилитрона VD_5 . Резистор R_4 ог-

раничивает выходной ток, конденсатор С2 предотвращает возбуждение операционного усилителя. Коэффициент стабилизации стабилизатора составляет 200...400, а выходное сопротивление — несколько миллиом. Сила максимального выходного тока равна произведению предельно допустимой силы выходного тока ОУ на коэффициент $h_{21Э}$ транзистора VT1 и составляет примерно 150 мА. Трансформатор выполнен на магнитопроводе Ш16 × 35, первичная обмотка содержит 3000 витков провода ПЭВ-2 0,1, а вторичная — 55 витков провода ПЭВ-2 0,47. Конструкция блока питания произвольная. Детали выпрямителя и стабилизатора напряжения можно смонтировать на печатной плате или навесным методом. Выводы деталей пропускают через отверстия в плате и соединяют между собой (по принципиальной схеме) непосредственно или отрезками монтажного провода с другой стороны платы.

5.6. ПОЛЕЗНЫЕ СОВЕТЫ

5.6.1. Номограммы для расчета RC- и LC- фильтров нижних частот

Конструирование различной аппаратуры почти всегда сопряжено с расчетом сглаживающих фильтров, которые применяются для уменьшения амплитуды пульсаций напряжения, используемого для питания электронных устройств и в цепях развязки по низкой частоте. Наибольшее распространение получили Г-образные RC- и LC-фильтры. Способность фильтра уменьшать пульсации характеризуется коэффициентом сглаживания:

$$K_c = \frac{P_{вх}}{P_{вых}}$$

где $P_{вх}$ и $P_{вых}$ — коэффициенты пульсаций на входе и выходе фильтра.

Величина $P_{вх}$ определяется режимом работы выпрямителя. Коэффициент пульсаций на выходе фильтра $P_{вых}$ зависит от характера нагрузки и находится в пределах от 0,00001 до 0,2.

Для расчета Г-образных фильтров используются формулы:

$$RC = \frac{1,5 \cdot 10^5 K_c}{m^2 f^2},$$

$$LC = \frac{2,5 \cdot 10^4 (K_c + 1)}{m^2 f^2},$$

где R , L и C — элементы сглаживающих фильтров, измеряемые соответственно в Ом, Гн, мкФ;

K_c — коэффициент сглаживания;

m — число фаз выпрямления (для однополупериодной схемы $m = 1$; для двухполупериодной, мостовой и параллельной схемы удвоения $m = 2$);

f — частота выпрямляемого тока, Гц.

Расчет фильтров значительно упрощается при использовании номограмм, приведенных на рис. 5.20,а и рис. 5.20,б. На номограмме для расчета RC-фильтров (рис. 5.20, а) по оси I отложена в логарифмическом масштабе частота питающей сети, по оси II — величина K_c , тоже в логарифмическом масштабе с модулем в два раза меньшим, чем модуль оси I. По осям III и IV отложены соответственно величины емкости в микрофарадах и сопротивления в

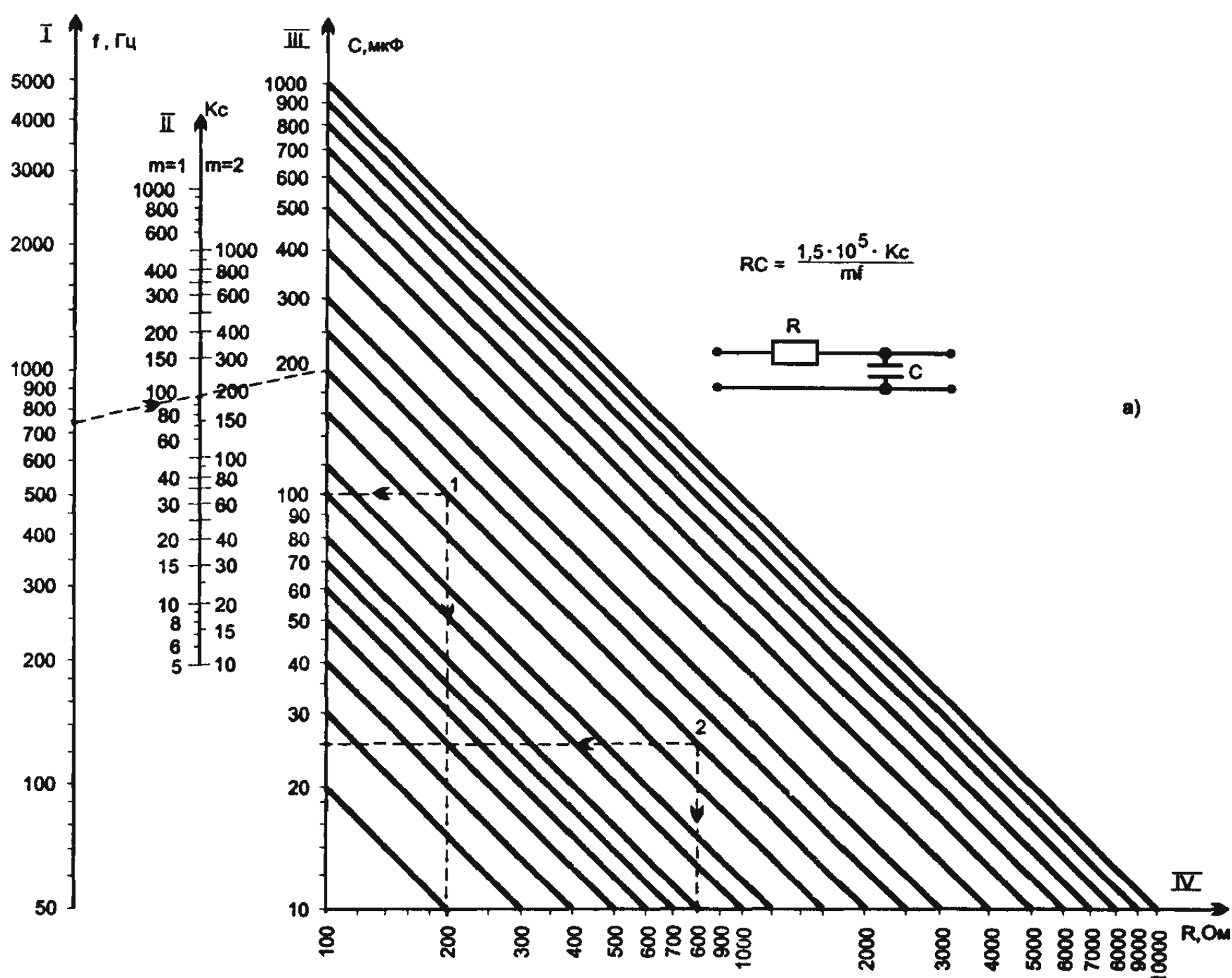


Рис. 5.20,а. Номограммы для расчёта RC-фильтров нижних частот

омах. Модуль осей III и IV равен модулю оси I. Пользоваться номограммой следует так: через точки, соответствующие заданной частоте и требуемой величине K_C , проводится прямая до пересечения с осью III. Точка встречи прямой с осью III определяет линию равных произведений RC (наклонные прямые линии, расположенные между осями III и IV), представляющую собой геометрическое место точек, у которых произведение R и C есть постоянная величина. Обычно при расчете оказывается заданным значение какого-либо одного элемента фильтра — R или C . Определение величины другого элемента заключается в отыскании на выбранной линии равных произведений такой точки, у которой проекция на координатную ось соответствует заданной величине. Проекция найденной точки на другую ось определит искомую величину. На рисунке приведен пример пользования номограммой для следующих условий: $f = 750$ Гц, $m = 1$, $K_C = 100$. Если задано $R = 200$ Ом, то необходимая величина емкости $C = 100$ мкФ; если задано $C = 25$ мкФ, то $R = 800$ Ом. Если оказывается, что одно

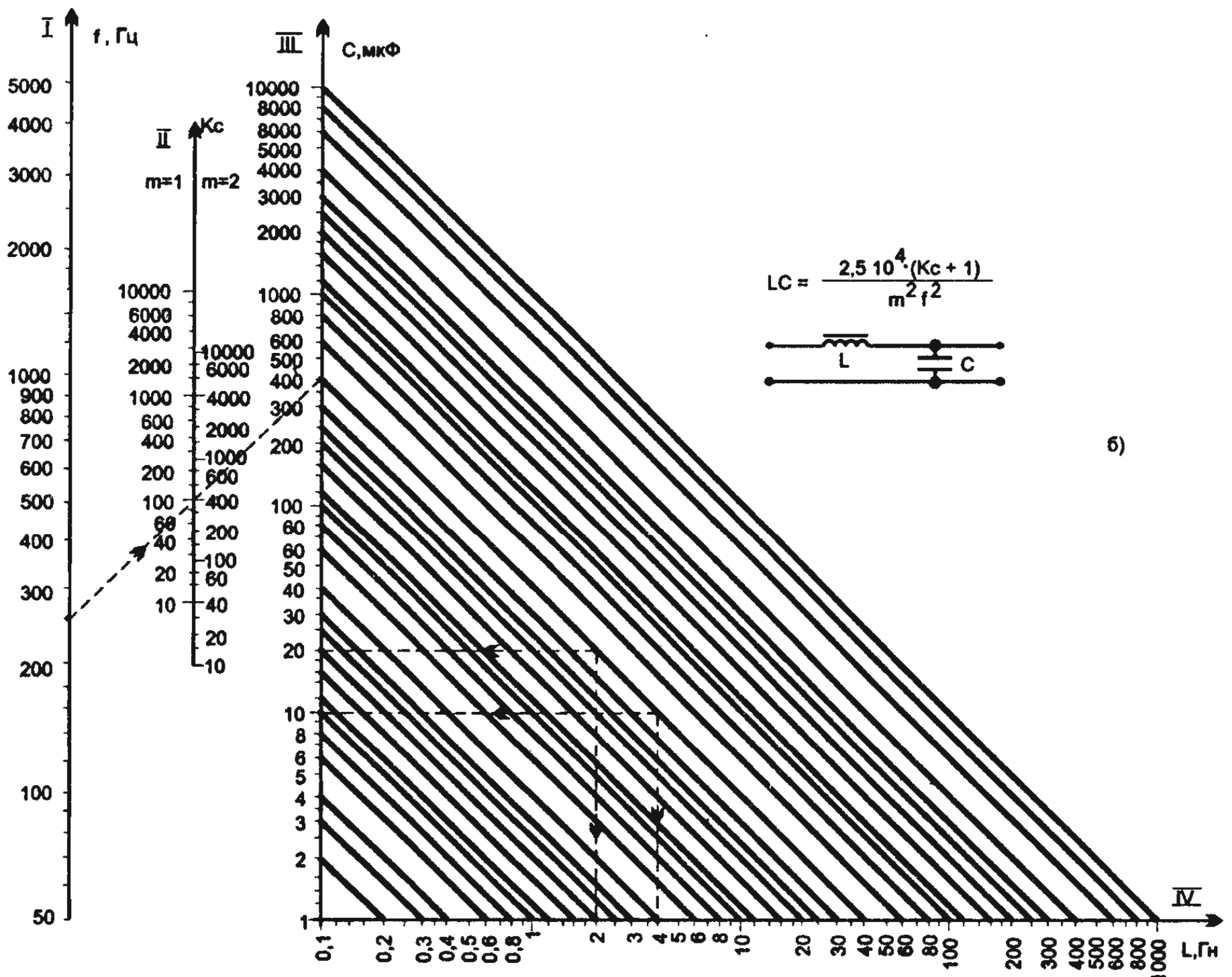


Рис. 5.20,б. Номограммы для расчёта LC-фильтров нижних частот

звено фильтра не обеспечивает необходимую величину K_C , можно использовать два или более последовательно включенных звена. В этом случае общий коэффициент сглаживания равен произведению коэффициентов сглаживания каждого звена.

Номограмма для расчета LC-фильтров (рис. 5.22, б) аналогична рассмотренной выше. Отличие заключается лишь в том, что модуль оси II в четыре раза, а модуль осей III и IV в пять раз меньше модуля оси I. На рис. 5.20,б приведен пример расчета LC-фильтра для следующих условий: $f = 250$ Гц, $m = 2$, $K_C = 400$. Если $C = 20$ мкФ, то $L = 2$ Гн, если $L = 4$ Гн, то $C = 10$ мкФ.

5.6.2. Питание радиоаппаратуры от бортовой сети автомобиля

При использовании в поездках переносной радиоаппаратуры — магнитофонов, радиоприемников — целесообразно питать ее от бортовой сети автомобиля. Однако многие из этих устройств рассчитаны на напряжение не более 69 В. В этом случае их питание в автомобиле можно осуществить через цепочку диодов, как показано на рис. 5.21. Диоды должны выдерживать силу тока, потребляемую аппаратурой. При этом надо учитывать, что на кремниевых диодах «падает» 0,7 В, а на германиевых — 0,4 В. Немаловажно и то, что диоды защитят аппаратуру в случае ее неправильного подключения к полюсам автомобильного аккумулятора.

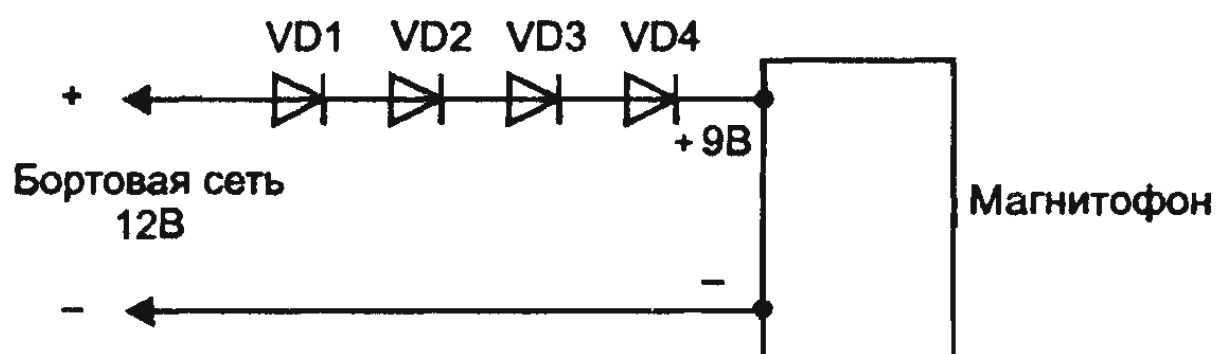


Рис. 5.21. Питание радиоаппаратуры от бортовой сети автомобиля

5.7. ЗАДАЧИ

1. Построить осциллограмму тока нагрузки (рис.5.22,а), используя вольт-амперные характеристики диода (рис. 5.22,б,в), если напряжение $U_{вх} = 160$ В; сопротивление нагрузки $R_H = 5$ кОм.

2. Чему равен ток через нагрузочный резистор сопротивлением $R_H = 120$ Ом мостового выпрямителя, если на вход трансформатора поступает напряжение $U_{1м} = 140$ В, коэффициент трансформа-

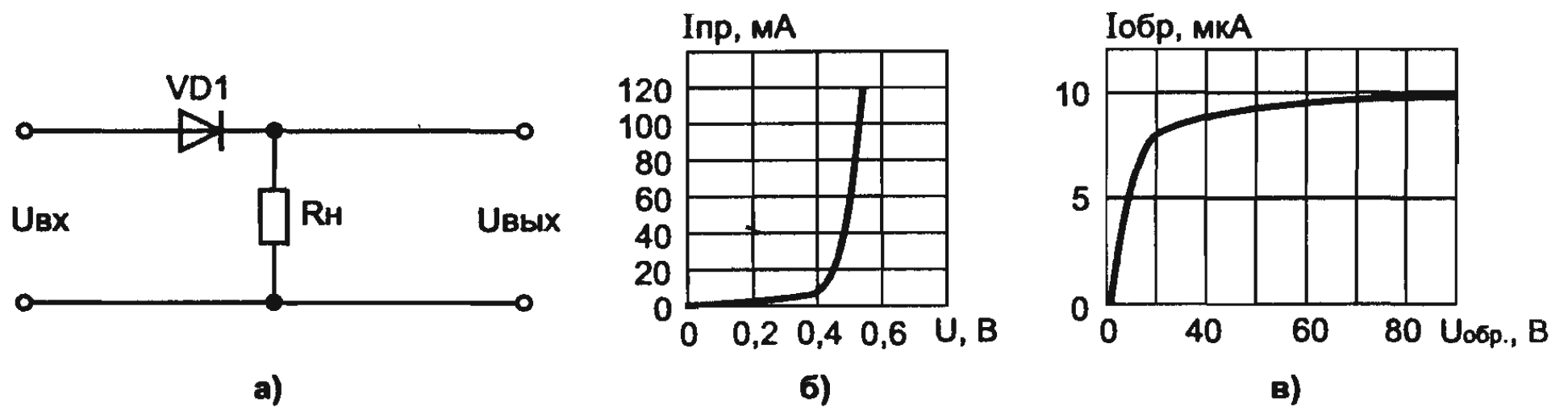


Рис. 5.22.

ции $n_{тр} = 0,1$, а сопротивление каждого полупроводникового диода в схеме равно 10 Ом?

3. Определить напряжение U_H на нагрузочном резисторе $R_H = 980$ Ом и коэффициент передачи по напряжению, если на входе действует источник напряжения, содержащий постоянную составляющую $U_{вх} = 20$ В и переменную составляющую $U_{\sim} = 20$ В с частотой $f = 50$ Гц, $R = 20$ Ом, $C = 200$ мкФ (рис. 5.23).

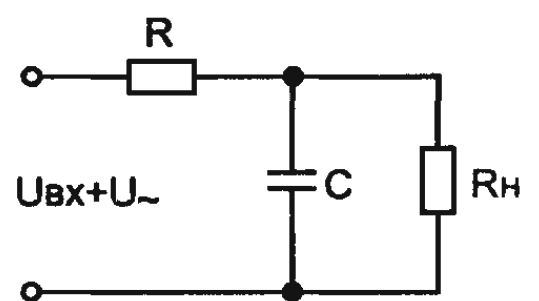


Рис. 5.23.

Оценить, на сколько отличаются коэффициенты передачи по постоянной и переменной составляющим.

Указание. Расчет провести отдельно для постоянной и переменной составляющей.

4. Зависимость напряжения нагрузки стабилизатора от входного напряжения может быть записана в следующем виде: $U_H = 0,01 U_{вх} + 10$. Определить коэффициент стабилизации при напряжениях $U_{вх} = 10; 50; 100$ В.

5. Чему равно относительное изменение напряжения на выходе параметрического стабилизатора, если $U_{СТ} = 8$ В, ток стабилизатора изменился на $\Delta I_{СТ} = 1$ мА, а динамическое сопротивление $R_d = 16$ Ом?

Глава 6

Усилители звуковой частоты

6.1. ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ УСИЛИТЕЛЕЙ ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ (УЗЧ)

Усилитель, как и колебательный контур, является обязательным устройством любого радиоприемника. В каждом радиоприемнике есть несколько усилителей, называемых также усилительными каскадами.

Все УЗЧ увеличивают мощность сигнала, но если при этом значительно повышается напряжение сигнала, то такие усилители называют усилителями напряжения. Мощность сигнала в усилителях повышается за счет энергии источника питания.

Усилители мощности при работе с полной отдачей потребляют ток в десятки и даже сотни миллиампер.

Основными параметрами усилительного каскада являются:

- Коэффициент усиления по напряжению:

$$K_U = U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВХ}};$$

коэффициент усиления по току:

$$K_I = I_{\text{ВЫХ}}/I_{\text{ВХ}};$$

и коэффициент усиления по мощности:

$$K_P = K_p = \frac{P_{\text{ВЫХ}}}{P_{\text{ВХ}}} = \frac{U_{\text{ВЫХ}} \cdot I_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}} \cdot I_{\text{ВХ}}} = K_U \cdot K_I.$$

Обычно в усилительных каскадах все три коэффициента усиления значительно больше единицы. Однако в некоторых усилительных каскадах один из двух коэффициентов усиления может быть меньше единицы, т. е. $K_U < 1$ или $K_I < 1$. Но в любом случае коэффициент усиления по мощности $K_P > 1$, а чаще всего $K_P \gg 1$. В зависимости от того, какой параметр входного сигнала (напряжение, сила тока или мощность) требуется увеличить с помощью

усилительного каскада, различают усилительные каскады напряжения, тока и мощности. Усилительный каскад напряжения имеет коэффициент усиления K_U , как правило, равный нескольким десяткам. В инженерной практике очень часто необходимо получить значительно больший коэффициент усиления по напряжению, достигающий многих тысяч и даже миллионов. Для решения такой задачи используют многокаскадные усилители, в которых каждый последующий каскад подключен к выходу предыдущего.

Коэффициент усиления многокаскадного усилителя:

$$K_U = U_{\text{вых } n} / U_{\text{вх } 1} \approx K_1 \cdot K_2 \dots K_n,$$

где n — номер каскада усиления.

- Выходная мощность — это мощность на выходе усилителя, при которой уровень искажений не превышает некоторого установленного значения. Для нормальной работы громкоговорителя требуется выходная мощность не менее 30 мВт; для озвучивания комнаты средних размеров — 100...200 мВт; для громкоговорящего воспроизведения звука на открытом воздухе — 0,6...0,8 Вт. Максимальной для УЗЧ с питанием от батареи элементов можно считать мощность 2...4 Вт.
- Сопротивление нагрузки усилителя — это сопротивление громкоговорителя, на которое рассчитан усилитель. Нагрузкой маломощных усилителей, применяемых в портативных приемниках, служат динамические головки прямого излучения с сопротивлением звуковой катушки 4...10 Ом, реже 16 Ом. В переносных приемниках находят применение головки с номинальной мощностью до 2 Вт и сопротивлением 4 Ом. Обычно УЗЧ хорошо работает с динамической головкой, сопротивление которой не ниже выходного сопротивления усилителя. При уменьшении сопротивления нагрузки увеличиваются искажения, при увеличении сопротивления — уменьшается выходная мощность усилителя обратно пропорционально сопротивлению нагрузки.
- Чувствительность — это напряжение сигнала на входе УЗЧ, требуемое для получения на его выходе номинальной выходной мощности. Простейшие УЗЧ имеют чувствительность 10...20 мВ.
- Степень нелинейных искажений сигнала, которую можно оценить через коэффициент гармоник.

Большое применение нашли УЗЧ на операционных усилителях (ОУ), которые характеризуются широким диапазоном рабочих

частот, высокой стабильностью, малыми габаритными размерами и массой.

В любом приемнике, магнитофоне, телевизоре и в других бытовых радиоприборах имеются усилители мощности. Мощным каскадом принято считать каскад, в котором транзисторы отдают в нагрузку мощность, близкую к максимально возможной. Основными требованиями, предъявляемыми к мощным выходным каскадам, являются получение необходимой мощности в нагрузке и максимальный КПД при допустимых искажениях сигнала. Требование максимального КПД имеет наибольшее значение для усилителей с питанием от автономных источников. Максимальное усиление мощности — второстепенное требование, поскольку необходимое усиление может быть получено в других каскадах. Чем выше КПД каскада, тем менее мощный транзистор нужен для получения требуемой мощности. Максимальный КПД достигается при оптимальной нагрузке. Однако сопротивление нагрузки, как правило, бывает задано. Если оно значительно отличается от оптимального, то для получения высокого КПД нагрузку включают через согласующий трансформатор. Использование согласующего трансформатора на входе мощного выходного каскада позволяет получить максимальный коэффициент усиления мощности выходным каскадом и минимальный уровень искажений при заданной мощности в нагрузке усилителя. Применение согласующих трансформаторов в малогабаритных усилителях приводит к снижению КПД, поскольку малогабаритные недорогие трансформаторы имеют сравнительно малый КПД.

Усилители мощности (выходные каскады) бывают одноктактные и двухтактные. Двухтактные усилители бывают трансформаторные и бестрансформаторные. Одноктактные выходные каскады применяются иногда в усилителях с малой выходной мощностью, поскольку их КПД не превышает 40%.

Трансформаторные двухтактные выходные каскады в основном используются в режиме класса АВ, при котором КПД превышает 50%. Бестрансформаторные выходные каскады характеризуются более широким диапазоном рабочих частот, чем трансформаторные, меньшими габаритными размерами и массой. Они могут иметь непосредственную связь с предыдущим каскадом, что позволяет охватывать их цепями ООС по постоянному току, решая таким образом задачу стабилизации режима работы.

В двухкаскадных усилителях на биполярных транзисторах (БТ) используются различные комбинации включения транзисторов.

Если выходное сопротивление источника сигнала и сопротивление нагрузки усилителя примерно равны и составляют единицы или десятки килоом, следует применять каскады с ОЭ; при малых сопротивлениях (менее 100 Ом) — первый каскад с ОЭ или ОБ и второй каскад с ОК, а при больших сопротивлениях (более 100 кОм) — первый каскад с ОК и второй с ОЭ. Если сопротивление нагрузки усилителя значительно превышает сопротивление источника сигнала, следует использовать оба каскада с ОЭ. При сопротивлении нагрузки усилителя меньше, чем выходное сопротивление источника сигнала, рекомендуется использовать оба каскада с ОЭ или первый каскад с ОЭ, а второй — с ОК. Для многокаскадных усилителей приведенные выше рекомендации относятся к первому и последнему каскадам. Промежуточные каскады выполняются с ОЭ. Гибридные усилители, содержащие полевые транзисторы (ПТ) и БТ, имеют существенные преимущества по сравнению с усилителями, в которых используются транзисторы какого-либо одного вида. Например, в усилителях, в которых чередуются каскады на ПТ и БТ, достигается значительно больший коэффициент усиления мощности, поскольку ПТ, включенные с ОИ или ОС, позволяют получить очень большой коэффициент усиления тока, а БТ — большое усиление напряжения (при нагрузке высоким входным сопротивлением ПТ). Входное сопротивление таких усилителей легко сделать высоким, а выходное — низким.

Правила монтажа усилителей мощности. Монтаж усилителя мощности должен быть тщательно продуман. При этом следует обращать внимание на взаимное расположение проводников, соединяющих усилитель мощности с источником сигнала и источником питания. Паразитная индуктивная связь между проводами питания и входными цепями может привести к наводке во входной цепи паразитной э.д.с., частотный спектр которой при работе выходного каскада в режиме класса АВ состоит из гармоник усиленного сигнала. Для устранения паразитной связи необходимо разнести провода питания и входной цепи. В питающие цепи усилителя мощности нужно включать развязывающие RC-фильтры, размещая их непосредственно на монтажной плате усилителя. Во избежание помех, проникающих на вход усилителя по общему проводу, нужно увеличивать сечение шин общего провода и соединять все идущие к ним провода в одной точке. Наиболее эффективным способом защиты является гальваническая развязка общего провода входного каскада от шины питания, что возможно

в усилителе мощности с дифференциальным входным каскадом. С общим проводом источника сигнала соединены лишь выводы резисторов, непосредственно подключенные к инвертирующему и неинвертирующему входам. Все остальные проводники, идущие к общему проводу, подключены к мощной шине источника питания. Обе «корпусные» шины соединяют резистором, его сопротивление должно быть не слишком малым, чтобы помехи от мощной шины не проникали на вход усилителя, но и не слишком большим, чтобы не было заметного влияния на глубину ООС. Обычно сопротивление резистора выбирают в пределах от единиц до десятков ом.

Обратите внимание, что обычно общая клемма источника питания соединяется с шасси (корпусом) прибора (устройства).

Рассмотрим работу двухтактного усилителя мощности на конкретном примере, на примере УЗЧ для радиоприемника, который будет изготовлен на практических занятиях в этой главе. Кроме того, работу двухтактного усилителя мощности можно рассмотреть по схеме УЗЧ к электронной сирене. На примере этих же схем рассмотрим действие ООС по постоянному и переменному току, а на примере двустороннего телефона, который предлагается для изготовления при изучении этой темы, рассмотрим действие ПОС.

УЗЧ для радиоприемника (рис. 6.1) содержит три каскада усиления: первый каскад — дифференциальный усилитель, второй — каскад усиления с общим эмиттером, третий — двухтактный усилитель мощности на комплиментарных транзисторах, который работает в режиме В.

Изучение этого усилителя лучше всего начать со второго каскада, который имеет некоторые особенности. Во-первых, хотя этот каскад выполнен по схеме с ОЭ, но нагрузка у него заземлена, и, во-вторых, в качестве нагрузки используется источник тока на ПТ. Транзисторный каскад на VT6 здесь работает как управляемый источник тока, который имеет малое сопротивление постоянному току, но большое дифференциальное сопротивление, т. е. сопротивление переменному току. Его внутреннее (дифференциальное) сопротивление можно определить по формуле:

$$R_{вн} = R_{си} (1 + SR_{и}).$$

Сопротивление $R_{си}$ ПТ КП303Д можно определить по выходной характеристике, оно примерно равно 20...30 кОм.

Приведем здесь основные параметры КТ303Д:

Начальный ток стока $I_{с.нач.}$, мА	3...9
Крутизна характеристики S , мА/В	$\geq 2,6$
Напряжение отсечки $U_{зи\ отс.}$, В	≤ 8

Тогда $R_{зи} = R_{си} (1 + SR_{10}) = 20...30 (1 + 3 \cdot 1) = 80...120$ кОм.

Выходной каскад работает в режиме В, поэтому схема имеет более высокий коэффициент полезного действия (78,5%) по сравнению с обычным эмиттерным повторителем (класс А) — (6,25%), что особенно важно для УЗЧ, работающих от батарей. Коэффициент усиления каскада по напряжению $K_U \approx 1$, а по току $K_I = h_{21э}$.

Максимальная мощность на выходе ограничивается лишь предельным током ($I_{н.макс} = E_{и.ст}/2R_{н}$) и максимальной мощностью рассеивания используемых транзисторов ($P_{VT4} = P_{VT5} = 0,2 P_{н.макс}$).

Следует заметить, что если на входе каскада имеются частоты, превышающие граничную частоту для данных типов транзисторов, то могут быть моменты времени, когда одновременно будут открыты оба транзистора, т. е. второй транзистор не успеет быстро закрыться, и через транзисторы потечет ток выше допустимого.

Кроме искажений типа «ступеньки», в УЗЧ могут возникать также искажения, связанные с неодинаковым усилением отрицательных и положительных полуволн. Они, как правило, возникают, когда к входу усилителя подключен высокоомный источник сигнала и транзисторы имеют различные коэффициенты передачи тока.

Из главы 4 известно, что выходное сопротивление каскада без эмиттерного резистора температурной стабилизации равно:

$$R_{вых} = \frac{R_{к} \cdot R_{кэ}}{R_{к} + R_{кэ}} = \frac{R_{вн} \cdot R_{кэ}}{R_{вн} + R_{кэ}},$$

а сопротивление участка коллектор-эмиттер транзистора при токе $I_{к} \approx 1$ мА равно: $R_{кэ} = 100$ кОм. Тогда $R_{вых} = \frac{80...120 \cdot 100}{80...120 + 100} = 44...60$ кОм, т. е. выход каскада усиления на транзисторе VT3 является высокоомным.

Для компенсации этих искажений, забегая вперед, можно сказать, в схеме УЗЧ для радиоприемника, так же, как и в УЗЧ к электронной сирене, применяют глубокую ООС. При отсутствии

ООС надо тщательнее подбирать выходные транзисторы с как можно более близкими коэффициентами передачи тока.

Рассмотренная схема каскада имеет и еще один недостаток — она не обладает температурной стабильностью. Применение ООС между каскадами повышает также и температурную стабильность. Для большей температурной стабилизации каскада в цепи эмиттеров можно включить резисторы сопротивлением несколько ом.

И наконец, можно приступить к изучению каскада дифференциального усиления (рис. 6.1). К достоинствам дифференциальных усилителей можно отнести большую полосу пропускания частот, высокую стабильность работы (с учетом этих качеств и применен дифференциальный усилитель в УЗЧ для радиоприемника).

Если на вход такого усилителя поступают такие помехи, как пульсация напряжения источника питания, сигналы наводки, обусловленные влиянием паразитных связей, излучения и т. д., то для усилителя они являются синфазным сигналом. Коэффициент усиления синфазного сигнала для данной схемы дифференциального усилителя определяется из выражения:

$$K_{\text{синф}} = \frac{R_k}{2R_{\text{э}} + r_{\text{э}}} = \frac{R_6}{2R_7 + R_{\text{э}}} = \frac{2 \cdot 10^3}{2 \cdot 1,5 \cdot 10^3 + 60 \dots 80} \approx 0,65,$$

где $r_{\text{э}} = \frac{U_T}{I_k (\text{мА})} \approx \frac{25}{0,3 \dots 0,4} = 83 \dots 62$ Ом — сопротивление транзистора VT1 со стороны эмиттера. Определение I_k будет дано ниже.

Изменение напряжения база-эмиттер, происходящее под воздействием температуры, действует так же, как синфазный сигнал, и, следовательно, слабо влияет на работу схемы.

Коэффициент усиления дифференциального сигнала:

$$K_{\text{диф}} = \frac{U_{\text{вык}}}{U_1 - U_2} = \frac{R_k}{2r_{\text{э}}} = \frac{2 \cdot 10^3}{2 \cdot (80 \dots 60)} = 12,5 \dots 16,6.$$

Коэффициент ослабления синфазного сигнала:

$$K_{\text{ОСС}} \approx \frac{R_{\text{э}}}{r_{\text{э}}} = \frac{1,5 \cdot 10^3}{80 \dots 60} = 19 \dots 25.$$

Резистор R6 выбирают таким образом, чтобы падение напряжения на нем в режиме покоя было равно падению напряжения

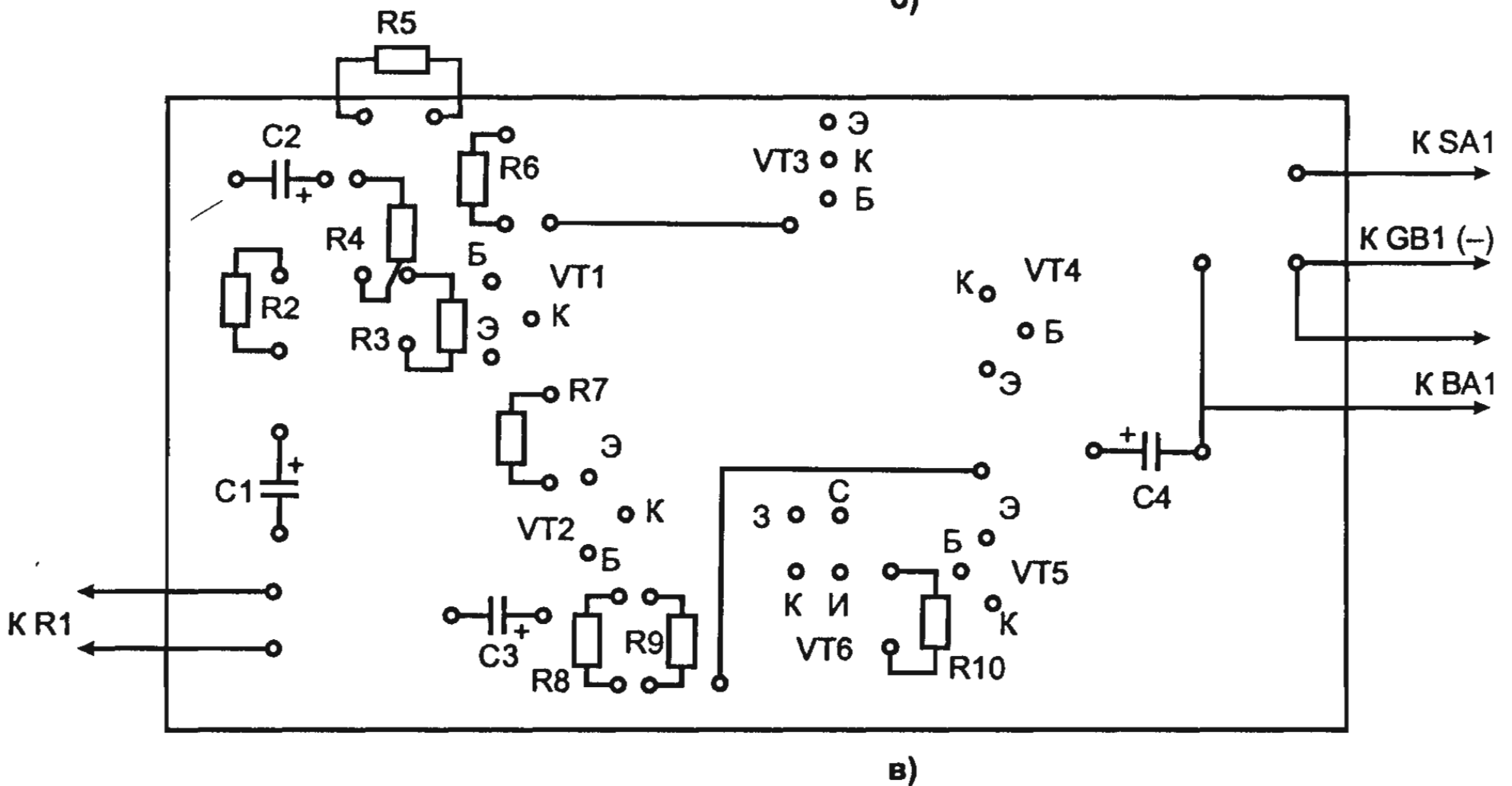
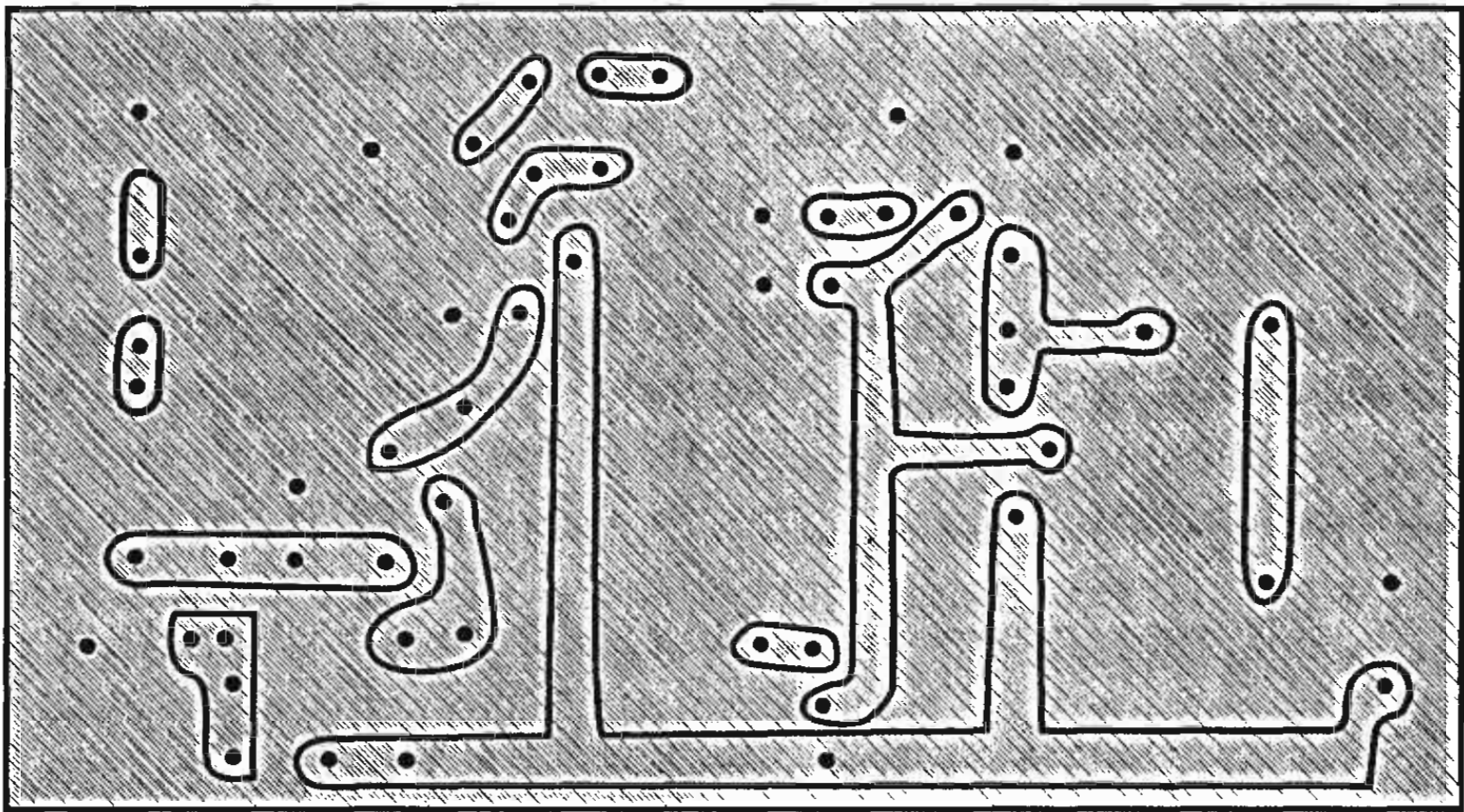
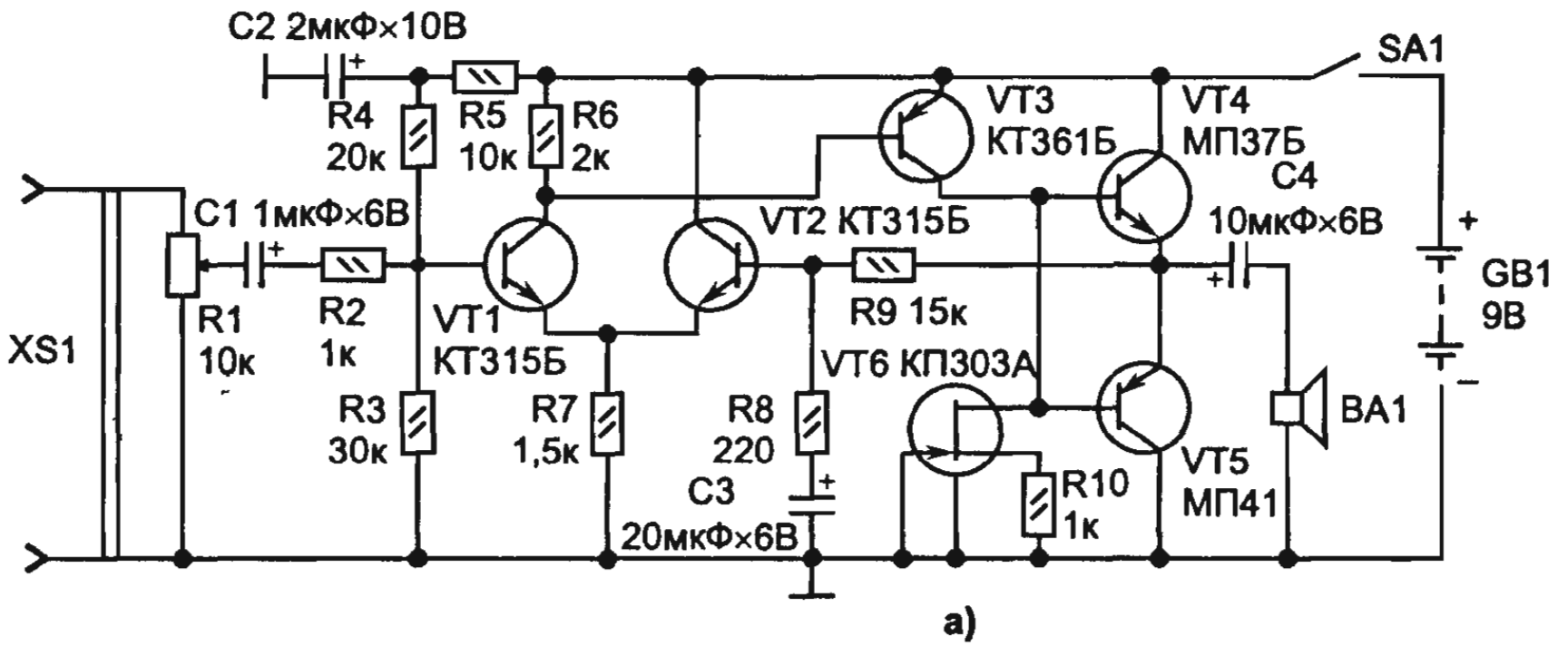


Рис. 6.1. Схема УЗЧ для радиоприемника

на участке база-эмиттер транзистора VT3, т. е. равно примерно 0,65 В. Благодаря этому поддерживается в открытом состоянии транзистор VT3. Это состояние постоянно поддерживается цепью обратной связи.

Зная падение напряжения на резисторе R6, можем вычислить ток I_k через транзистор VT1:

$$I_k = \frac{0,65}{2 \cdot 10^3} = 0,33 \text{ мА.}$$

Зададимся его значениями: $I_k = 0,3...0,4$ мА.

Резистор R7 выбран с таким расчетом, чтобы суммарный эмиттерный ток был равен удвоенному току эмиттера транзистора VT1.

Выходное напряжение УЗЧ для радиоприемника поступает в цепь обратной связи, которая состоит из делителя напряжения, образованного резисторами R9, R8 и конденсатором C3, благодаря которой коэффициент усиления усилителя с ООС по постоянному току уменьшается до величины, близкой к единице, коллекторные токи транзисторов в режиме покоя все время равны между собой.

По переменному напряжению сигнал на второй вход дифференциального усилителя снимается с R8C3 делителя напряжения R9R8C3. Такой делитель является частнозависимым, на низкой частоте ООС более глубокая, чем на высокой частоте. За счет действия этой ООС уменьшаются переходные искажения типа «ступеньки», влияние температуры и других дестабилизирующих факторов на работу всего УЗЧ, увеличивается входное сопротивление, уменьшается выходное, хотя и уменьшается общий коэффициент усиления.

На примере двустороннего телефона показано, что применение положительной обратной связи приводит к самовозбуждению усилителя и превращению его в генератор.

После изучения схем УЗЧ задайте себе вопросы: Каково назначение УЗЧ? В каком диапазоне частот они работают? Какой порядок анализа работы схемы можно предложить? После этого попробуйте ответить еще на несколько вопросов: Сколько каскадов имеет данный усилитель и каково их назначение? От какого источника подается напряжение сигнала на вход усилителя? На какую нагрузку работает усилитель? Каковы способы включения транзисторов в схему усиления? Какие межкаскадные связи, схемы входа и выхода используются в данном усилителе? Покажите

цепи питания транзисторов. Какие схемы температурной стабилизации режима их работы применяют? Каковы режимы работы транзисторов в каждом каскаде? Какие элементы входят в состав усилителя, каковы их данные и назначение?

6.2. ОТЫСКАНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ В УЗЧ

Статистикой установлено, что на выявление наличия неисправностей в среднем затрачивается около 3% от общего времени на ремонт, на выявление характера неисправности — 15% и на проверку параметров после ремонта — 22%.

В транзисторных усилительных каскадах прежде всего необходимо убедиться в исправности транзистора, выпаяв его из схемы для проверки омметром. Однако это требует значительных затрат времени. Существуют специальные приборы для проверки транзисторов без выпайки их из схемы. Кроме того, можно использовать следующий метод. Параллельно резистору R_1 (рис. 6.2) подключить другой резистор $R_{ш}$ с сопротивлением того же порядка. Если при этом вольтметр, подключенный к коллектору относительно корпуса прибора, покажет уменьшение напряжения, то транзистор исправен. В противном случае транзистор следует заменить.

В практике встречаются следующие неисправности такого каскада:

- Напряжение на коллекторе равно нулю, что может произойти вследствие обрыва одного из выводов резистора R_3 .
- Напряжение на коллекторе больше номинального, что может произойти из-за увеличения сопротивления резистора R_1 или в результате его обрыва.
- Увеличение напряжения на эмиттере может появиться в результате обрыва эмиттерного резистора R_4 .
- Напряжение на коллекторе меньше номинального может быть по причине пробоя эмиттерного конденсатора.
- Изменение усиления каскада и возникновение сильных нелинейных искажений выходного сигнала может произойти из-за обрыва цепи резистора R_2 .

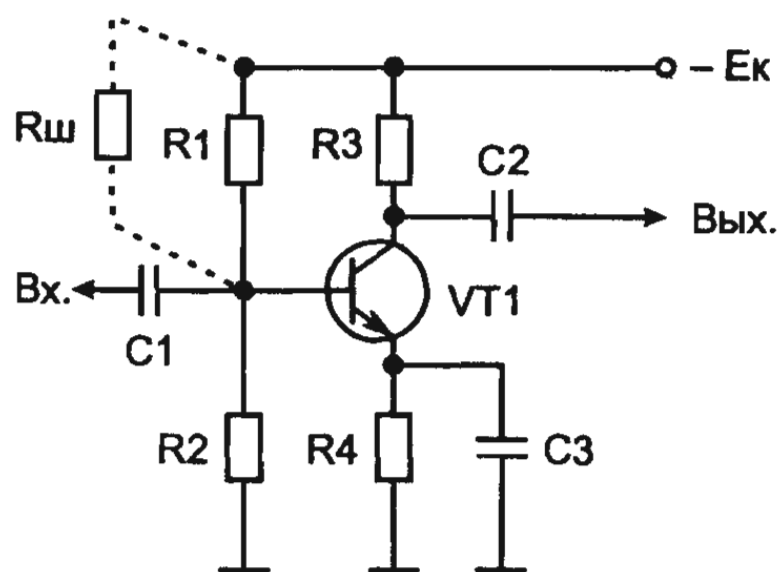


Рис. 6.2. Проверка исправности усилительного каскада

В инструкциях по ремонту информацию о режимах работы по постоянному току транзисторов дают в виде таблиц (например, таблица 6.1) или приводят на принципиальных схемах.

В таблице обычно приводят данные о напряжениях на выводах транзисторов, измеренные относительно общего провода (как правило, это шасси устройства). Кроме постоянных напряжений приводят значения сопротивлений относительно шасси, измеренные омметром в отключенном состоянии устройства.

Постоянные напряжения на выводах транзисторов проверяют авометром или вольтметром постоянного тока. *Необходимо помнить, что входное сопротивление вольтметра должно быть в 5...10 раз больше сопротивления измеряемой цепи.*

Таблица сопротивлений позволяет выявить причины нарушения указанных значений сопротивлений участков схемы и быстрее отыскать неисправность. Если режимы работы по постоянному току и сопротивления цепей соответствуют таблице, а устройство по-прежнему не функционирует, необходимо перейти к проверке прохождения сигнала от каскада к каскаду. При этом следует использовать данные таблицы 6.1, где указаны переменные напряжения в отдельных точках схемы, а также осциллограммы.

Таблица 6.1

Обозначения полупроводниковых приборов	Тип	Назначение в схеме	Электрод	Сопротивление, Ом	Постоянное напряжение, В	Переменное напряжение, мВ
1VT9	КТ315Б	Входной каскад УЗЧ	Э Б К	5,0 кОм 60 32	1,1 1,6 6,2	50
1VT10	КТ315Б	Предоконечный каскад УЗЧ	Э Б К	10 32 450	5,5 6,0 10,2	2 В
1VT12	КТ837Ф	Выходной каскад УЗЧ	Э Б К	10 185 0	5,5 5,3 0	

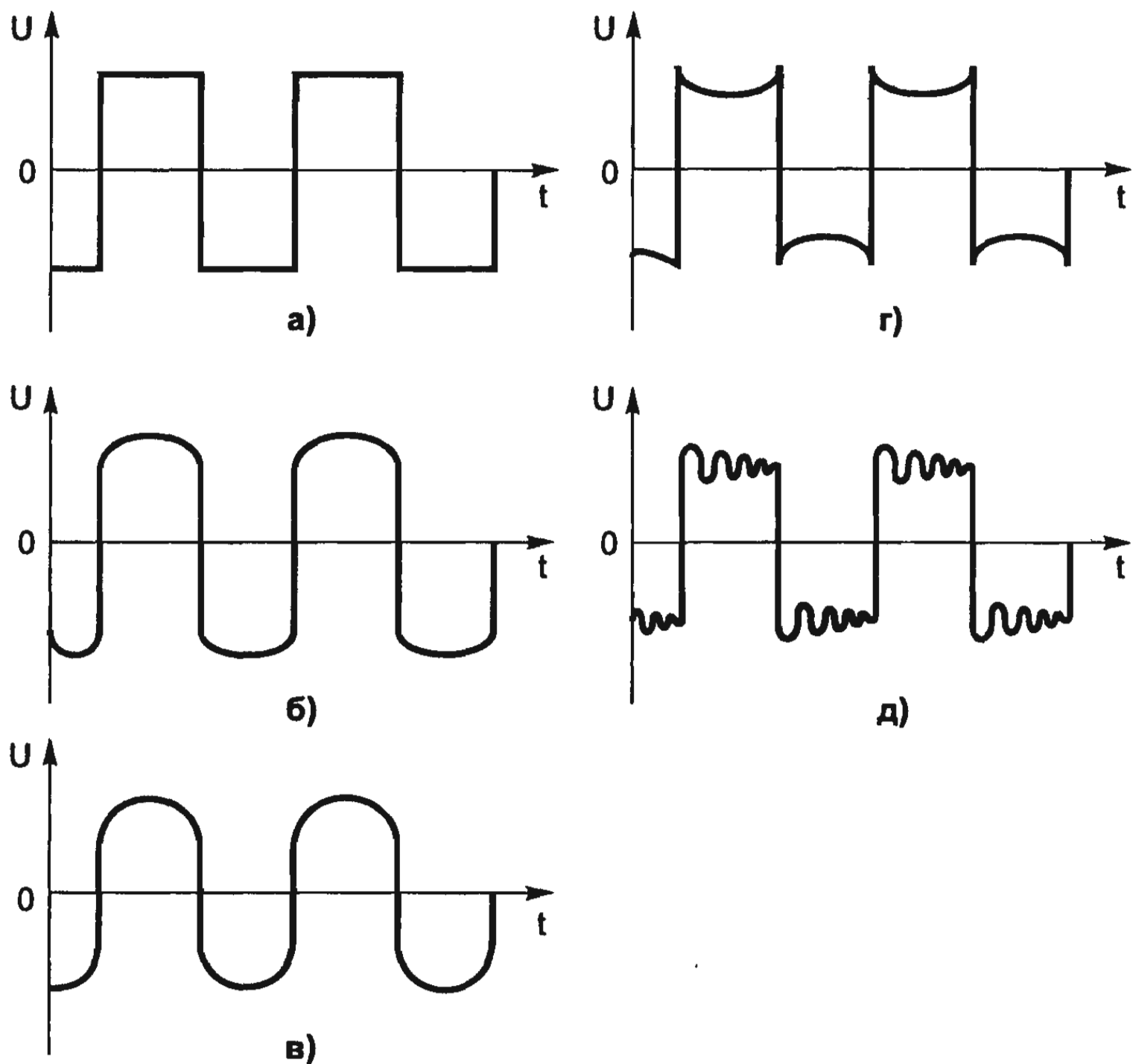


Рис. 6.3. Проверка исправности УЗЧ с помощью осциллограмм

Исправность УЗЧ можно также проверить, подавая на его вход прямоугольные импульсы определенной последовательности. Осциллограмма (рис. 6.3) показывает, как изменяется форма импульсов при прохождении их через УЗЧ с различной АЧХ: а) без искажений; б) подъем нижних частот; в) быстрый спад АЧХ; г) спад низких частот; д) возбуждение усилителя.

6.3. ПОЗНАКОМЬТЕСЬ С ДЕЦИБЕЛАМИ

В радиолюбительской практике часто приходится вычислять соотношения двух мощностей, токов или напряжений в логарифмических единицах — децибелах. Децибел — это специфическая единица, не схожая ни с одной из тех, с которыми приходится встречаться в повседневной практике. Децибел не физическая величина, а математическое понятие. В этом отношении у этих единиц есть некоторое сходство с процентами. Как и проценты, де-

цибелы безразмерны и служат для сравнения двух одинаковых величин, в принципе самых различных, независимо от природы. Но если проценты выражают численно какую-то величину сравнительно с целым, принятым за единицу (100%), то в основе децибела лежит более широкое понятие, характеризующее в общем случае отношение двух независимых, но, конечно, одноименных величин. Термин «децибел» всегда связывают только с энергетическими величинами, чаще всего с мощностью и, с некоторыми оговорками, с ее составляющими — напряжением и током.

Децибел (русское обозначение дБ, международное dB) составляет десятую часть другой более крупной единицы — бел (русское обозначение Б, международное B). Бел — это десятичный логарифм отношения двух мощностей:

$$N_B = \lg \frac{P_2}{P_1}.$$

Эта единица измерения названа в честь изобретателя телефона — А. Г. Белла.

Если отношение мощностей в децибелах вычисляется по формуле:

$$N_P = 10 \lg \frac{P_2}{P_1},$$

то отношение токов и напряжений по другой формуле:

$$N_I = 20 \lg \frac{I_2}{I_1}; \quad N_U = 20 \lg \frac{U_2}{U_1}.$$

Следует иметь в виду, что сумма двух чисел в децибелах эквивалентна произведению тех величин, которым она соответствует, а разность в децибелах характеризует отношение этих величин.

Необходимо помнить, что децибелы могут отсчитываться только относительно условного, не равного нулю уровня, абсолютный нуль, например, нуль ватт, нуль вольт децибелами не выражаются.

Необходимо также предостеречь от ошибки, когда вышеуказанными формулами неправильно пользуются для определения децибел, пренебрегая различиями в величинах сопротивлений, на которых измеряются напряжения U_1 и U_2 (или токи I_1 и I_2).

Общая формула для вычисления коэффициента усиления в децибелах запишется так:

$$K_0 = 20 \lg \frac{U_2}{U_1} + 10 \lg \frac{R_2}{R_1},$$

где R_2 и R_1 — соответственно выходное и входное сопротивления усилителя.

Если $R_2 = R_1$, то $10 \lg \frac{R_2}{R_1} = 0$ и $K_0 = 20 \lg \frac{U_2}{U_1}$. Если же $R_2 \neq R_1$,

то необходимо их учитывать. Так, если выходное сопротивление усилителя неизвестно, но несколько больше входного сопротивления, то округлять коэффициент усиления усилителя в децибелах необходимо в сторону его увеличения. И, наконец, если $R_2 < R_1$, округлять надо в сторону уменьшения.

В децибелах можно выражать не только превышение одного напряжения (тока) над другим, но и ослабления напряжений (или токов).

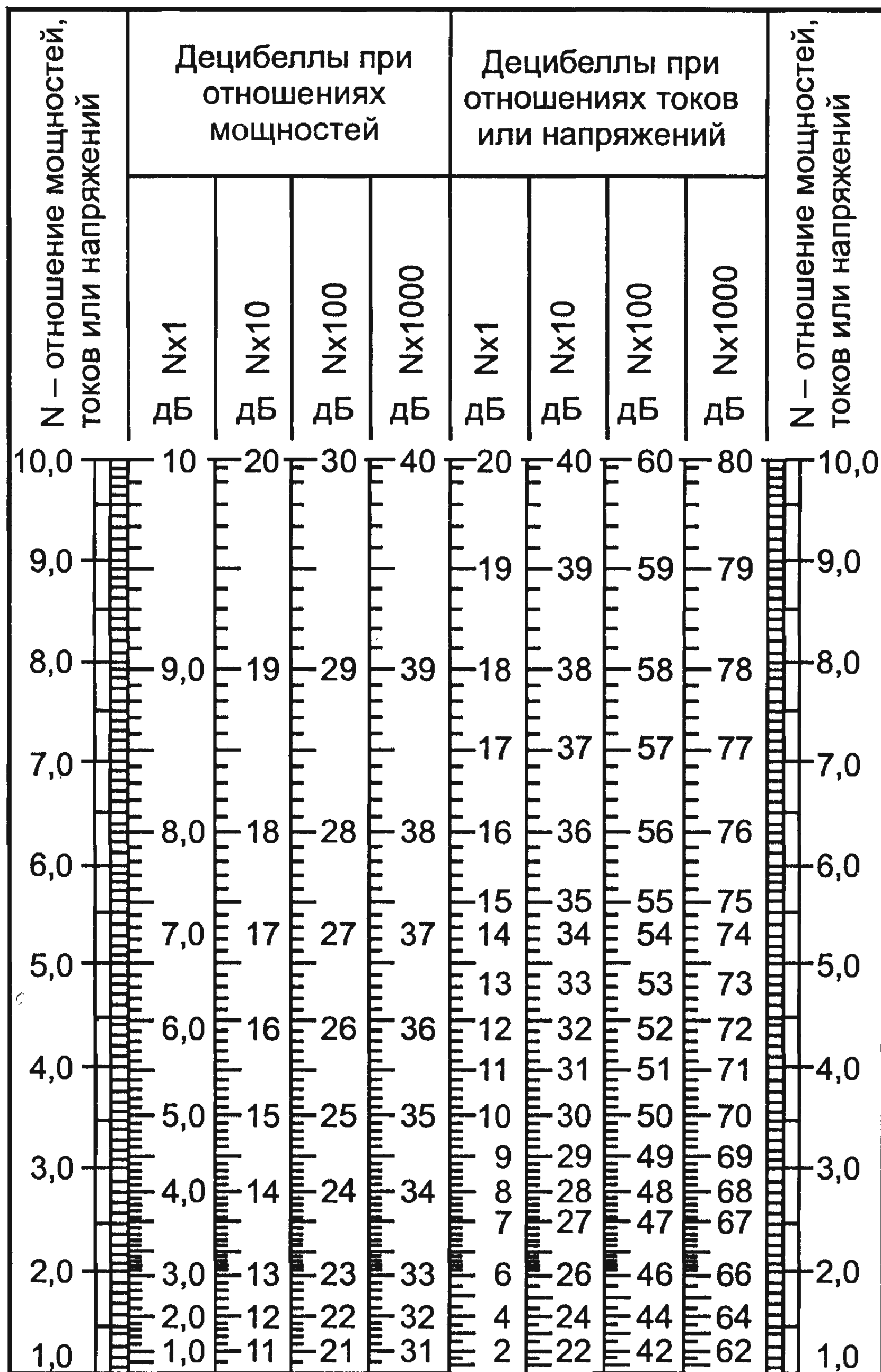
Вычислять децибелы можно, пользуясь формулами логарифмирования и таблицами логарифмов. Но, учитывая, что изучение логарифмов начинается только с десятого класса, для практических расчетов предлагается номограмма (таблица 6.2).

При пользовании номограммой на нее перпендикулярно шкалам накладывают обыкновенную чертежную линейку (желательно из органического стекла или другого прозрачного материала) и устанавливают ее на нужном делении соответствующей шкалы, а на другой шкале читают ответ.

При переводе арифметического отношения мощностей, напряжений или токов в децибелы необходимыми являются две крайние (равномерные) шкалы, обозначенные буквой N , а искомый результат читают на одной из восьми других вертикальных логарифмических шкал в зависимости от величины этого отношения N и от того, что оно собой представляет: отношение мощностей $N = \frac{P_2}{P_1}$ (первые слева четыре логарифмические шкалы) или напряжений $N = \frac{U_2}{U_1}$ и токов $N = \frac{I_2}{I_1}$ (крайние правые четыре логарифмические шкалы).

Так, например, если отношение двух мощностей $N = 460$, то горизонтальный край линейки устанавливают на отметке 4,6 левой и правой крайних шкал, а ответ 26,6 дБ читают на третьей

Таблица 6.2
Таблица для вычисления децибелл



слева вертикальной логарифмической шкале $N \cdot 100$. Если же известно, что логарифмическое соотношение двух напряжений составляет, например $K_U = 55,4$ дБ, то горизонтальный край линейки устанавливают на эту отметку (вторая справа логарифмическая шкала), а полученный по крайним левой и правой шкалам результат $N = 5,75$ умножают на 100, таким образом определяют отношение этих двух напряжений — 575.

Если заданное отношение мощностей, напряжений или токов меньше единицы, например, если:

$$P_2 < P_1 \text{ при } N = \frac{P_2}{P_1}; \quad U_2 < U_1 \text{ при } N = \frac{U_2}{U_1} \text{ или } I_2 < I_1 \text{ при } N = \frac{I_2}{I_1},$$

вычисление децибел по отношениям производят с помощью номограммы описанным выше способом, но для обратных величин ($\frac{P_1}{P_2}$, $\frac{U_1}{U_2}$ или $\frac{I_1}{I_2}$), а перед полученным результатом ставят знак минус.

Например, выраженное в децибелах отношение мощностей $N = \frac{P_2}{P_1} = 0,25$ вычисляют по номограмме как $\frac{1}{N} = \frac{P_1}{P_2} = \frac{1}{0,25} = 4$,

получая в результате $K_P = -6$ дБ.

В тех случаях, когда надо узнать отношение мощностей, напряжений или токов по известным отрицательным значениям децибел, вычисления производят без учета отрицательного знака методом, описанным выше, а за результат берут величину, обратную прочитанной на шкалах N (выраженное, например, в децибелах отношение напряжений $K_U = -35$ дБ оказывается равным в отвлеченных числах:

$$N = \frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{56} = 0,0178 = 178 \cdot 10^{-5}.$$

Если заданное в отвлеченных числах отношение мощностей, напряжений или токов превышает 10^5 , то в ней отделяют запятой справа такое количество знаков (разрядов), чтобы стало возможно вычислить уровень нового отношения в децибелах по данной номограмме, а затем к полученному результату добавляют по 10 децибел на каждый знак (разряд), ранее отделенный запятой, при

вычислении отношений мощностей и по 20 дБ — при вычислении отношений напряжений или токов. Так, если нужно определить в децибелах отношения напряжений $N = \frac{U_2}{U_1} = 56000$, вычисления

производят для отношения $N' = 5600$, а к прочитанному по соответствующей шкале результату 75 дБ добавляют 20 дБ, получая в итоге 95 дБ.

6.4. ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

6.4.1. Мощный УЗЧ

Он состоит из трех каскадов (рис. 6.4). На транзисторе VT1 собран предварительный усилитель, на входе которого имеется сигнал 0,5 В. С коллектора этого транзистора сигнал подается на базу транзистора VT2, который обеспечивает дополнительное усиление и стабилизацию рабочей точки выходных каскадов VT4—VT7 по постоянному току посредством эквивалента стабилитрона на транзисторе VT3. С помощью потенциометра R10 добиваются уменьшения порога открывания транзисторов выходного каскада.

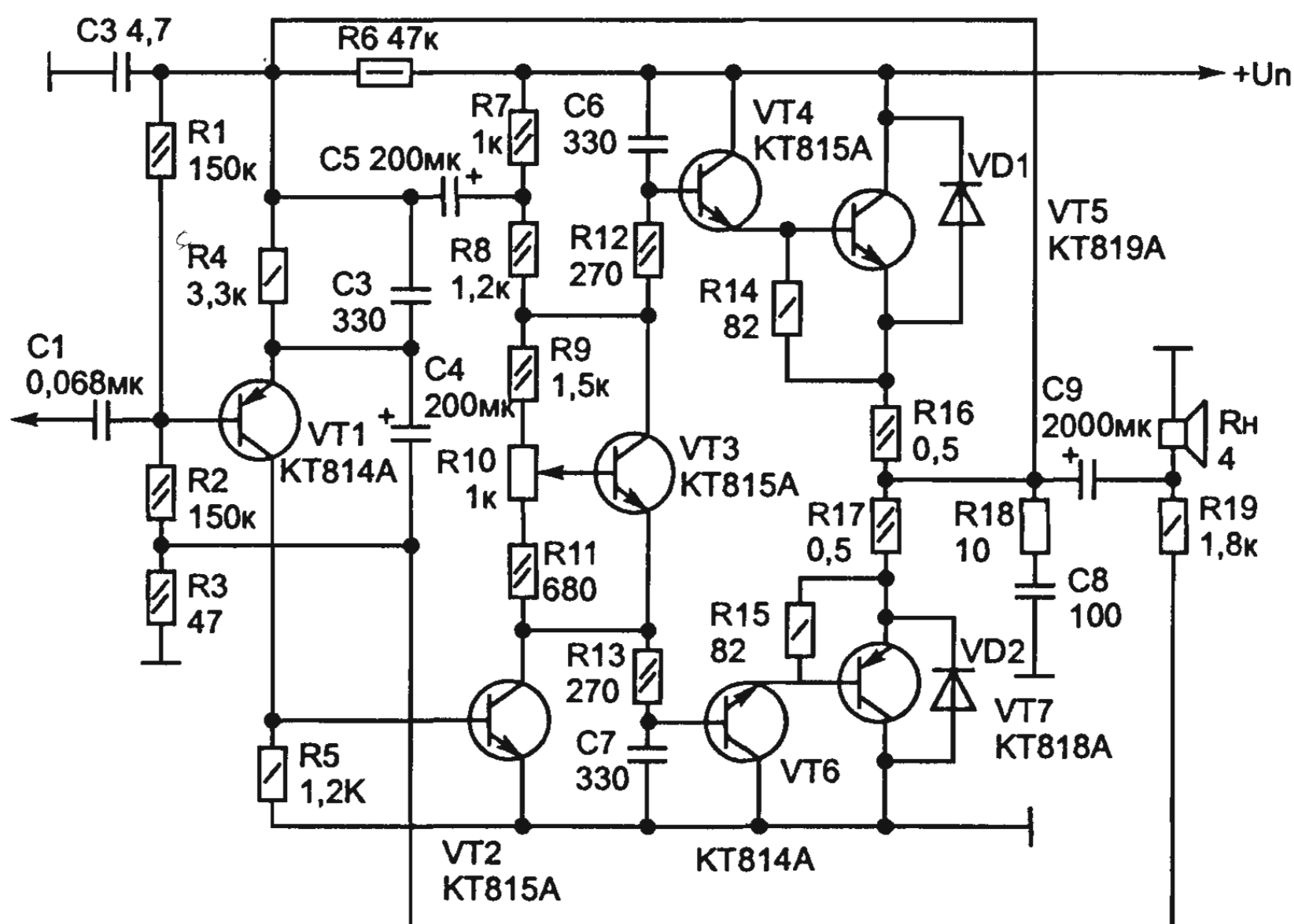


Рис. 6.4. Схема мощного УЗЧ

Усилитель имеет полосу частот от 20 Гц до 20 кГц при неравномерности АЧХ не более 0,2 дБ. Усилитель может работать на различную выходную мощность, при этом он имеет параметры, приведенные в таблице 6.3.

Таблица 6.3

Р, Вт	U _п , В	I _п , А	K _г , %	R1, кОм	R2, кОм	R6, кОм
25	40	1,2	0,1	150	150	47
50	60	1,65	0,35	150	220	100
100	80	2,25	0,3	270	290	220

R8, кОм	R12, кОм	R13, кОм	K16, кОм	R17, кОм	R19, кОм	C4, мкФ
1,2	270	270	0,5	0,5	1,8	220
2,7	270	270	1	1	2,7	160
2,2	270	270	1	1	5,6	160

6.4.2. Простой усилитель мощности

Он имеет очень простую структуру (рис. 6.5). На входе стоит дифференциальный каскад на транзисторах VT1 и VT2, которые питаются от генератора тока VT3. Каскад на транзисторах VT4 и VT6 выполняет функции согласователей уровней. Транзистор VT5 совместно с резистором R6 образует эквивалент стабилитрона с регулируемым опорным напряжением для устранения порога открывания транзисторов выходного каскада VT7—VT10. Усиление устройства определяется резисторами R10 и R11. Усилитель имеет равномерную полосу частот от 40 Гц до 20 кГц при максимальной выходной мощности 20 Вт.

6.4.3. УЗЧ с отрицательной обратной связью

Усилитель (рис. 6.6) имеет входное сопротивление 5 МОм при полосе пропускания от 2 Гц до 100 кГц. Коэффициент усиления не менее 10^3 . Максимальная амплитуда неискаженного

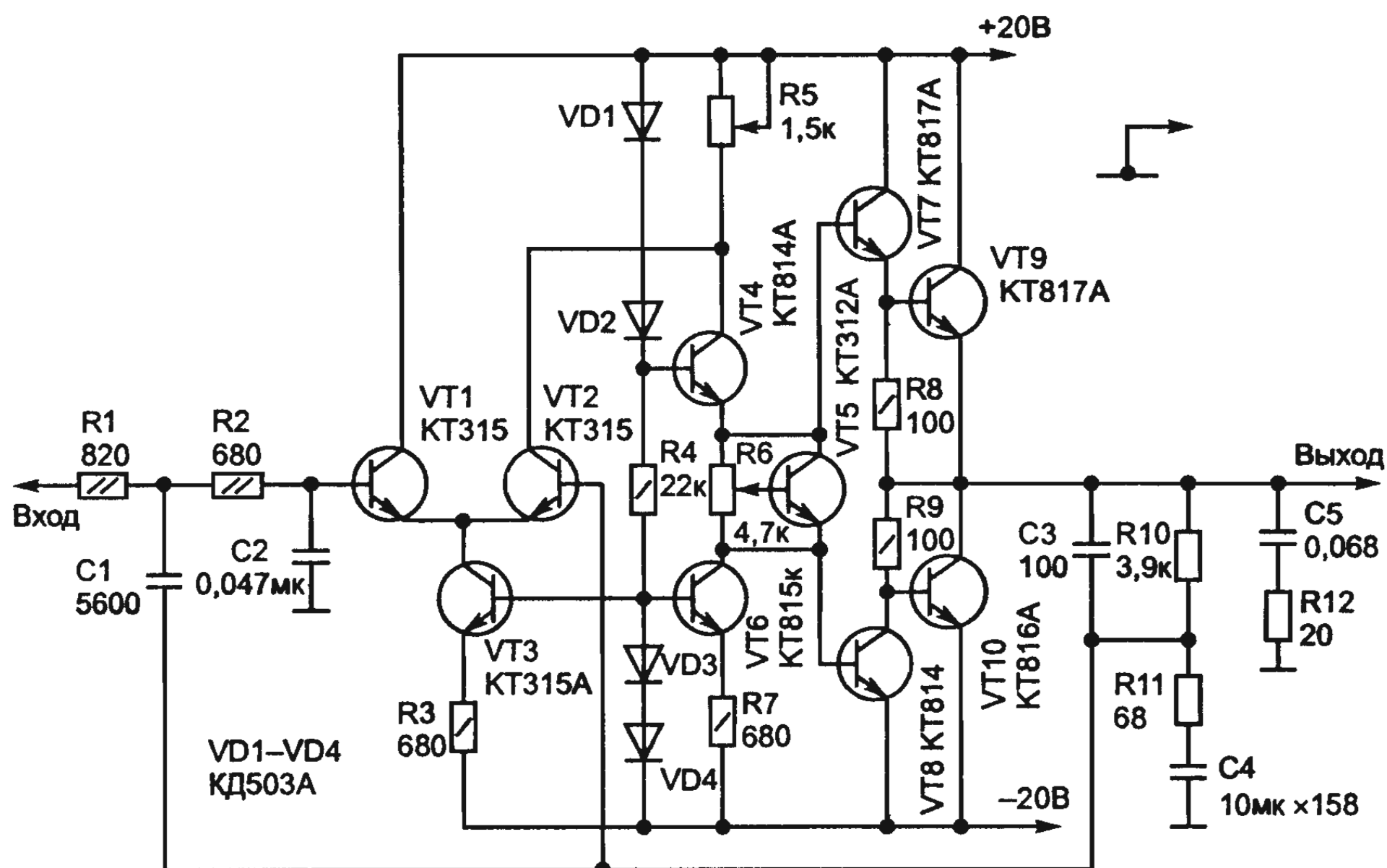


Рис. 6.5. Схема простого усилителя мощности

выходного сигнала 5 В. Усилитель устойчиво работает в диапазоне температур от -20 до $+60^{\circ}\text{C}$. Стабильность параметров усилителя достигнута полной ООС до постоянному току. Полоса пропускания может быть уменьшена изменением параметров цепочки R6, C2. Транзисторы VT1 и VT2 могут быть заменены на

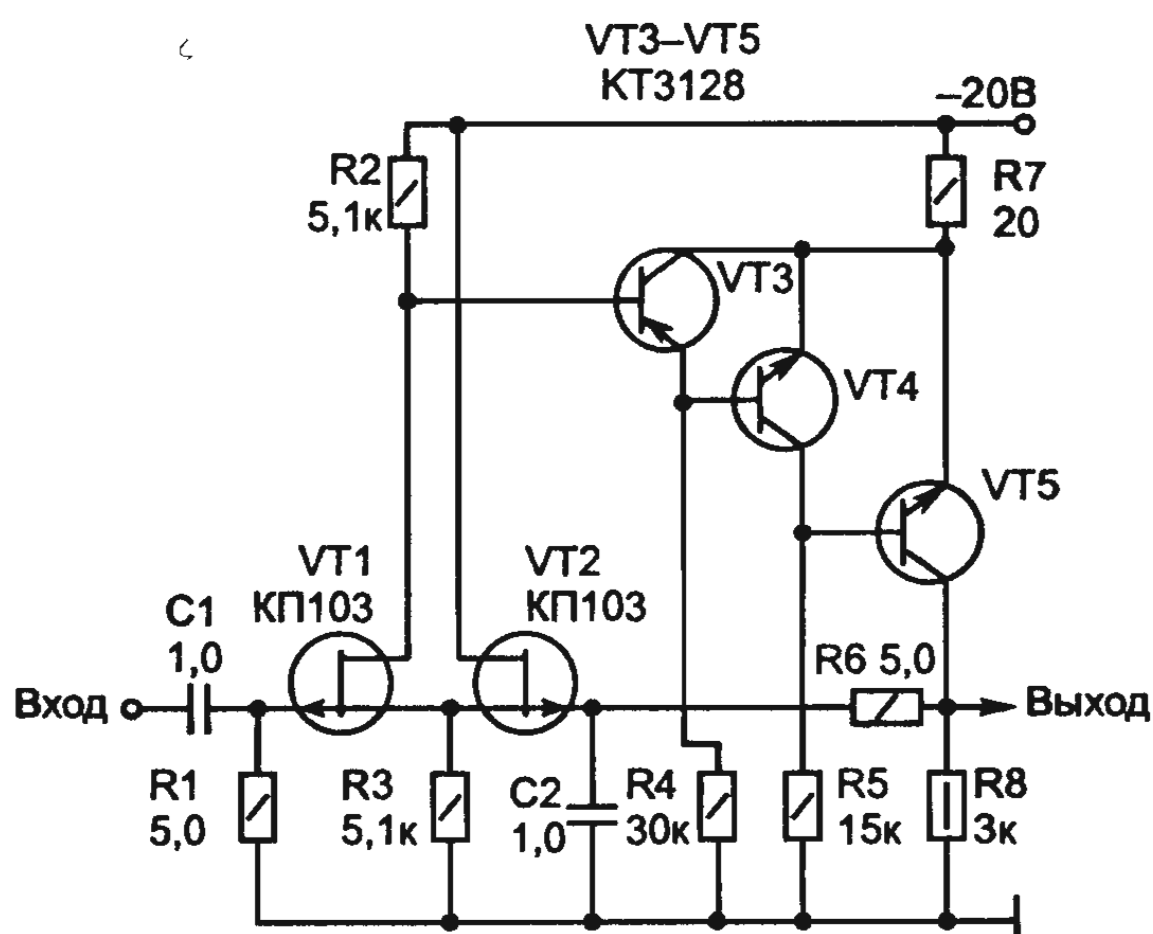


Рис. 6.6. Схема усилителя мощности с ООС

интегральную микросхему К504НТ4, в которой транзисторы незначительно отличаются между собой по параметрам. Это позволит значительно улучшить параметры усилителя. Кроме того, транзисторы VT3—VT5 можно заменить микросхемой К198НТ4. При замене транзисторов микросхемой необходимо уменьшить напряжение питания.

6.4.4. Двухсторонний телефон

Такой телефон можно использовать для местной связи в летнем оздоровительном лагере, школе и т. д.

Принципиальная схема телефона приведена на рисунке 6.7, а.

Оба телефонных аппарата соединены между собой двухпроводной линией связи (на схеме обозначена штриховыми линиями), длина которой может достигать 40...50 м, через разъемы X1, X2 и X1', X2'. Разъем X1 — первого аппарата должен соединяться с разъемом X2' второго, а разъем X2 — с разъемом X1'. Телефонные аппараты идентичны, поэтому рассмотрим работу лишь одного из них, например первого. Он включает в себя двухкаскадный УЗЧ на кремниевых транзисторах структуры n-p-n. Оба транзистора включены по схеме с ОЭ. Усилитель питается от батареи GB1 с э.д.с. 4,5 В (батарея 3336Л или составленная из трех элементов — 332 или 343). Разомкнутое положение контактов выключателя питания SA соответствует дежурному режиму работы аппарата. Нагрузкой усилителя первого аппарата служит телефон BF1' второго аппарата, который преобразует в звук низкочастотный сигнал, усиленный УЗЧ первого аппарата. Рассмотрим прохождение сигнала по схеме. При включении питания выключателем SA1 положительное напряжение источника питания GB1 подается на коллектор транзистора VT2 через линейный провод, соединяющий разъемы X1', X2', телефон BF1', открытый (включенный в прямом направлении) диод VD1' и далее — через второй линейный провод, соединяющий разъемы X1, X2. Диод VD1' остается открытым все время, пока контакты выключателя SA1 замкнуты. Конденсатор C3', шунтирующий диод VD1, обеспечивает прохождение сигнала без затухания. Без конденсатора C3' сигнал будет очень сильно искажен.

Диод VD1 первого аппарата в это время закрыт положительным напряжением источника питания, и через него, а значит, и

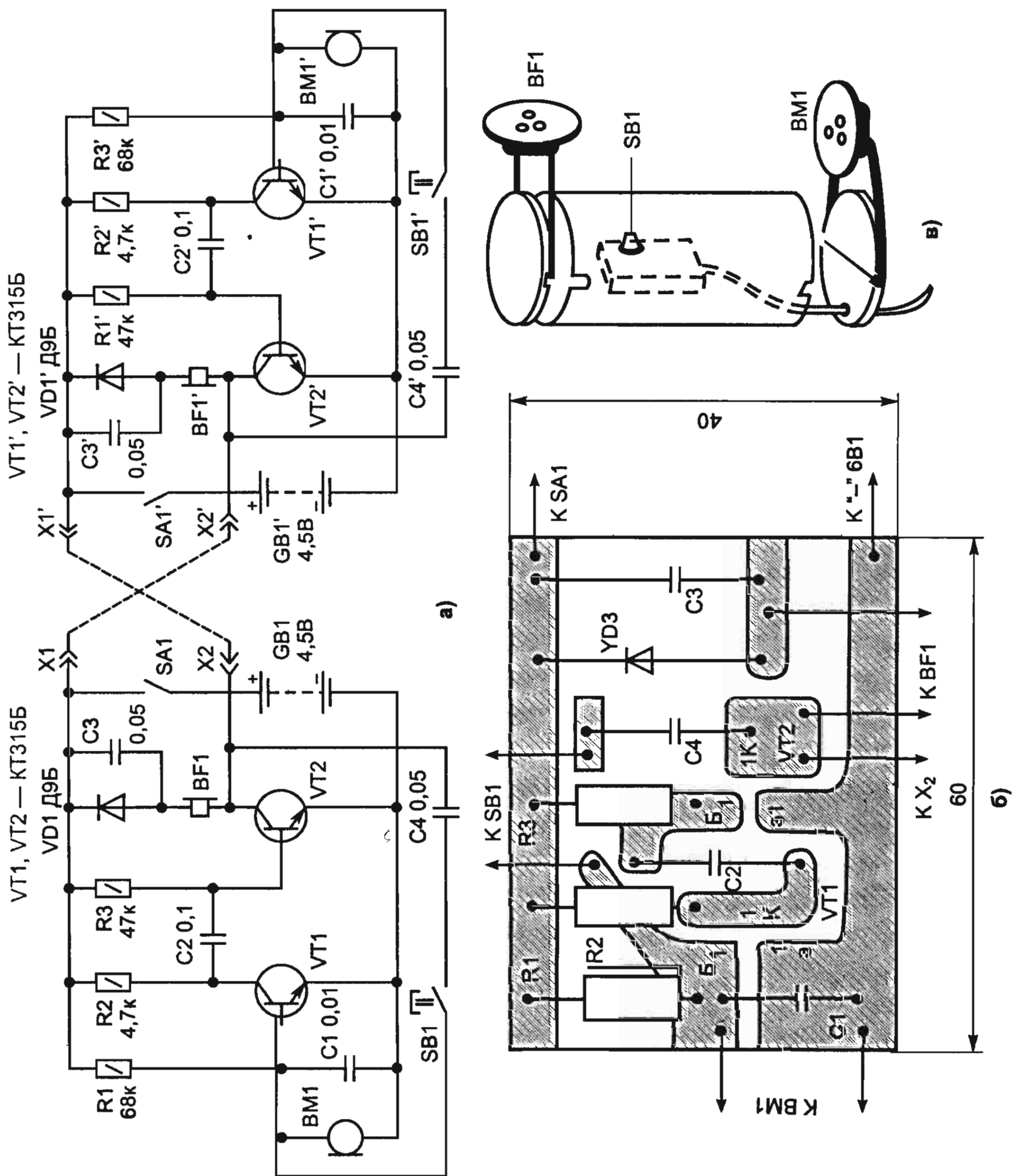


Рис. 6.7. Двухсторонний телефон

через телефон BF_1 коллекторный ток транзистора VT_2 не протекает. Конденсатор C_1 шунтирует вход УЗЧ по наиболее высоким частотам звукового диапазона и тем самым предотвращает его самовозбуждение на этих частотах. Одновременно конденсатор обеспечивает завал АЧХ УЗЧ на этих частотах.

Точно так же работает и второй телефонный аппарат, но его нагрузкой является цепь, состоящая из телефона BF1, диода VD1 и конденсатора С3. Чтобы пригласить абонента для телефонного разговора, подают ему сигнал. Для этого включают питание усилителя и нажимают на кнопку SB1 «Вызов». При этом выход усилителя через конденсатор С4 соединяется со входом, образуя положительную обратную связь, которая приведет УЗЧ к возбуждению, т. е. УЗЧ превращается в генератор прямоугольных сигналов звуковой частоты. Это так называемый несимметричный мульти-вibrator. При этом телефон BF1' второго аппарата издаст достаточно громкий звук средней тональности, приглашающий абонента к телефону. Услышав этот сигнал, абонент должен включить питание своего аппарата и нажать кнопку SB1' — в телефоне первого аппарата появится ответный сигнал, после чего можно начинать разговор.

Возможная конструкция микротелефонной трубки и плата усилителя аппарата показаны на рисунке 6.7, б, в, г.

В качестве микрофонов и телефонов можно использовать капсулы высокоомных телефонов ТОН-1. ТОН-2. Транзисторы, кроме КТ315, могут быть серий МП35—МП38, МП111—МП113 со статическим коэффициентом передачи тока не менее 50 или мало-мощные высокочастотные серий КТ301, ГТ311. Диоды — любые из серий Д9 или Д2. Резисторы типа МЛТ-0,25 или МЛТ-0,5. Конденсаторы могут быть любого типа — БМ, КБМ, КПС. Монтаж может быть печатным или навесным. Корпус трубки склеивают клеем БФ-2 из нескольких слоев плотной бумаги или тонкого картона шириной 140...145 мм на деревянной болванке Ж 40 мм. После того как корпус хорошо просохнет и станет жестким, зачищают его мелкой шкуркой, а затем пропитывают каким-либо лаком или расплавленным парафином, делающим его водонепроницаемым. От той же болванки отпиливают два кружка толщиной по 20...25 мм и с помощью отрезков толстой проволоки укрепляют на них микрофонный BM1 и телефонный BF1 капсулы. Кружки должны плотно входить в трубку и надежно удерживаться в ней.

Плату усилителя (и батарею питания GB1) обертывают полоской поролона или пористой резины и вставляют в трубку. Батарею размещают в небольшой пластмассовой коробке и укрепляют на ее стенках выключатель питания SA1, а также гнездовую и штырь-

ковую части разъемов для подключения линии связи. Прежде чем поместить плату в трубку, усилитель проверяют и налаживают. Для этого выводы диода VD1 временно замыкают проволочной перемычкой, включают питание и слегка постукивают пальцем по микрофонному капсюлю — в телефоне должны прослушиваться звуки, напоминающие щелчки по барабану. Затем подбором сопротивления резистора R3 устанавливают на коллекторе транзистора VT2 напряжение около 2 В, а резистора R1 — напряжение на коллекторе транзистора VT1, равное примерно 3 В.

При нажатии кнопки «Вызов» в телефоне будет слышен звук средней тональности (частотой около 1000 Гц), свидетельствующий о возбуждении усилителя. Тональность звучания можно установить подбором емкости конденсатора C4. С увеличением емкости этого конденсатора тон звука будет понижаться, и наоборот. Каскады УЗЧ не содержат элементов температурной стабилизации, поэтому налаживание их требует тщательного подбора резисторов R1, R3. Лучше всего в этом случае использовать осциллограф и генератор звуковой частоты (либо вызывной сигнал второго аппарата). Так же проверяют и налаживают УЗЧ второго аппарата. После этого удаляют перемычки, замыкающие диоды, вставляют платы усилителей в трубки и, соединив телефонные аппараты между собой, проверяют их при совместной работе.

6.4.5. УЗЧ для радиоприемника

Этот усилитель (рис. 6.1, а) может быть использован в переносном транзисторном приемнике. Параметры УЗЧ:

1. Выходная мощность — 100 мВт на нагрузке сопротивлением 8...10 Ом.

2. Полоса пропускания — 100...1000 Гц.

3. Коэффициент гармоник — не более 5%.

На входе усилителя стоит дифференциальный каскад (несимметричный) на транзисторах VT1, VT2. Напряжение смещения на базе транзистора VT1 обеспечивается делителем напряжения R3R4 через фильтр нижних частот R5C2, предотвращающий самовозбуждение усилителя (отфильтровывает переменное напряжение на входе первого каскада УЗЧ, попадающее через источник питания). С резистора нагрузки R6 сигнал поступает на усилитель напряже-

ния, собранный на транзисторе VT3. В коллекторной цепи транзистора включен источник тока на полевом транзисторе VT6 (нагрузка транзистора VT3). Следующий каскад—выходной двухтактный усилитель мощности: он выполнен на транзисторах разной структуры. Динамическая головка ВА1 подключена к выходному каскаду через конденсатор С4. Между выходным и дифференциальным каскадами усилителя введены две цепи отрицательной обратной связи — по постоянному напряжению (через резистор R9) и по переменному напряжению (через резисторы R9, R8 и конденсатор С3). Эти обратные связи стабилизируют режим работы усилителя и его коэффициент усиления. В качестве VT1, VT2 могут быть использованы любые транзисторы серии КТ315 или транзисторная сборка К159НТ1, VT3—КТ203, КТ361, VT4—МП35—МП37, VT5—МП39—МП41, VT6—КП303 с любым буквенным индексом. Транзисторы VT4, VT5 желательно использовать с коэффициентом передачи тока не менее 50. Постоянные резисторы МЛТ-0,125, переменные — любого типа, конденсаторы К50-6, динамическая головка типа 0,25ГД-10, 0,5ГД-30, 0,5ГД-31 или аналогичная.

Детали усилителя смонтированы на плате (рис. 6.1,б, в) из одностороннего фольгированного стеклотекстолита. Резисторы устанавливаются вертикально. Настройка усилителя сводится к подбору сопротивления резистора R10 — оно должно быть таким, чтобы сила тока покоя усилителя составляла 3...4 мА. При необходимости снизить коэффициент гармоник достаточно удалить перемычку между базами транзисторов VT4, VT5 и включить вместо нее любой диод серии Д9 анодом к базе транзистора VT4. Более точно можно настроить УЗЧ, используя осциллограф и генератор звуковых частот.

6.5. ПОЛЕЗНЫЕ СОВЕТЫ

6.5.1. Фильтры громкоговорителей

Для частотной коррекции излучения динамической головкой громкоговорителя применяют различные фильтры (рис. 6.8). В таблице 6.4 указаны основные выражения, по которым можно рассчитать частотную характеристику этих фильтров (R — сопро-

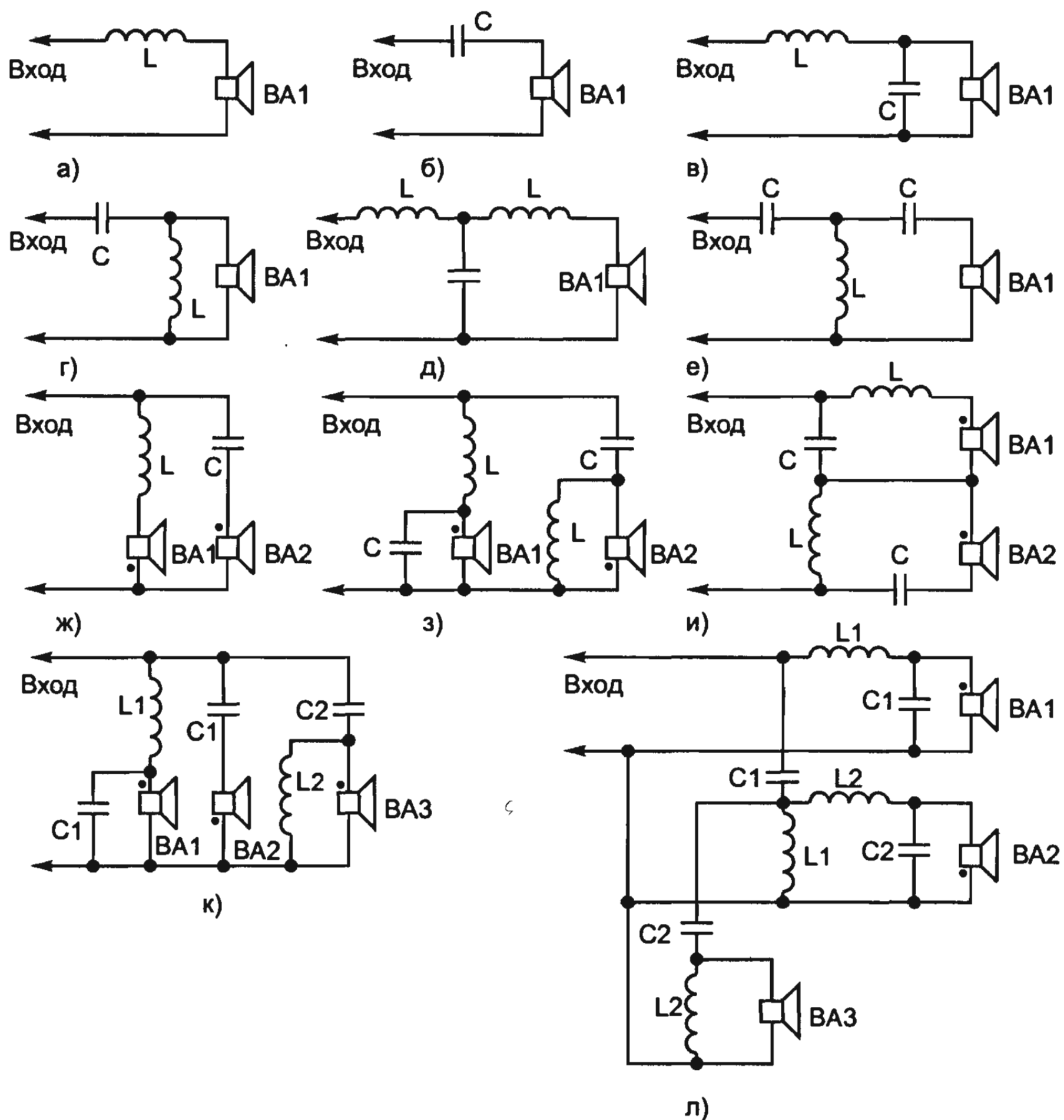


Рис. 6.8. Схемы фильтров для частотной коррекции излучения динамической головки

тивление динамической головки, Ом; f_0 — граничная частота, Гц).

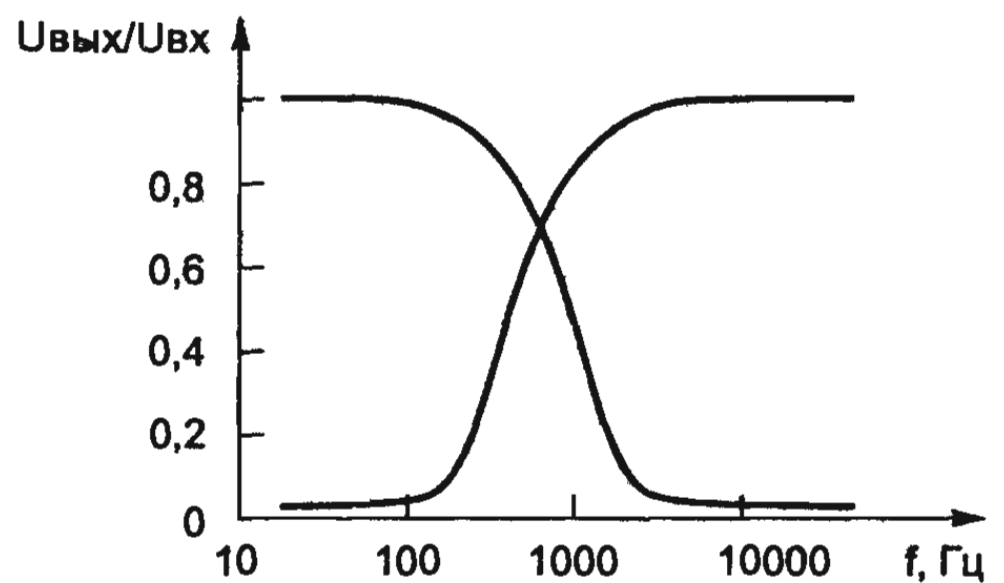
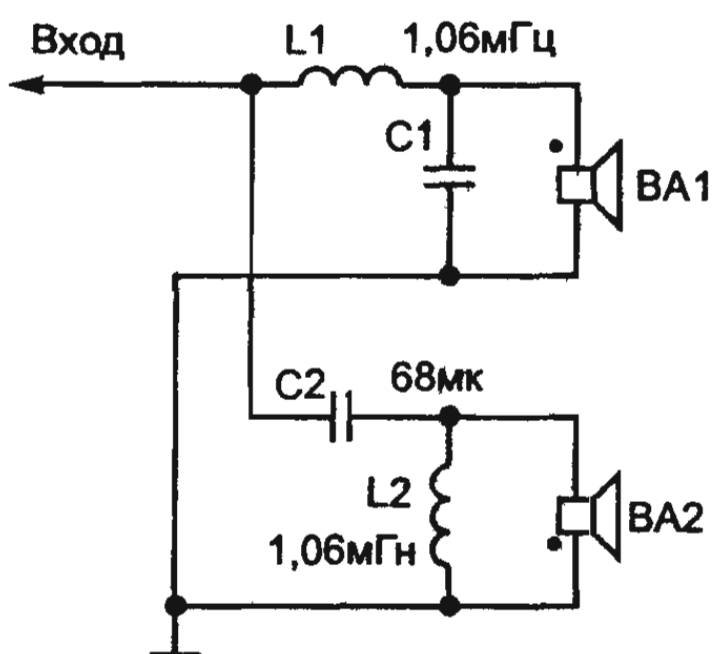
Таблица 6.4

Схема	Формула	Затухание на границе, дБ/октава
Рис. 6.8, а	$L = 0,16R/f_0$	6
Рис. 6.8, б	$C = 0,16/R$	6

Схема	Формула	Затухание на границе, дБ/октава
Рис. 6.8, в	$L = 1,6R/(2\pi f_0)$, $C = 1/(2\pi f_0 R)$	12
Рис. 6.8, г	$L = 1,6R/(2\pi f_0)$, $C = 1/(3,2\pi f_0 R)$	12
Рис. 6.8, д	$L = 1,6R/(2\pi f_0)$, $L2 = 1/(2\pi f_0)$, $C = 1/(2\pi f_0 R)$	18
Рис. 6.8, е	$L = R/(4\pi f_0)$, $C1 = 1/(3,2\pi f_0 R)$, $C2 = 1/(2\pi f_0 R)$	18
Рис. 6.8, ж	$L = R/(6,3 f_0)$, $C = 1/(6,3 f_0 R_0)$	6
Рис. 6.8, з, и	$L = R/(4,4 f_0)$, $C = 1/(8,9 f_0 R)$	12
Рис. 6.8, к, л	$L1 = R/(4,4 f_{01})$, $L2 = R/(4,4 f_{02})$, $C1 = 1/(8,9 f_{01} R)$, $C2 = 1/(8,2 f_{02} R)$	12

6.5.2. Выходной фильтр

Он позволяет разделить звуковой сигнал на две составляющие. Для разделения полос используются фильтры нижних и верхних частот (рис. 6.9, а). Частота среза фильтров равна 600 Гц. В фильт-



а)

б)

Рис. 6.9. Фильтр для разделения выходного сигнала на две составляющие

ре используются низкочастотные динамические головки с внутренним сопротивлением 4 Ом (две параллельных 6ГД-2) и высокочастотные (две параллельных 1ГД-36). Частотная характеристика фильтра определяется по уровню 0,8 максимальной мощности динамиков (рис. 6.9, б).

6.5.3. Измерение входного сопротивления транзисторного УЗЧ

Данные о входном и выходном сопротивлении УЗЧ имеют большое значение при налаживании и испытании усилителей, поэтому многие радиолюбители интересуются способами измерения этих величин.

Наиболее простым и доступным из них является способ, основанный на сравнении измеряемой величины ($R_{вх}$) с известным активным сопротивлением (R).

Чтобы измерить входное сопротивление, прежде всего собирают схему, изображенную на рис 6.10,а. Затем включают звуковой генератор и устанавливают частоту, на которой желательно измерить входное сопротивление усилителя и напряжение на выходе генератора. Последнее выбирают в пределах 0,12 В.

Так как измерительная цепь, т. е. микроамперметр и диод, обладают относительно малым сопротивлением, то перевод ползунка переключателя из одного положения в другое изменяет напряжение не только на том элементе схемы, к которому присоединена в данный момент измерительная цепь (например, на резисторе R), но и на другом последовательно включенном элементе, т. е. на входном сопротивлении усилителя. Это обстоятельство усложняет процесс измерения. Однако, если воспользоваться описанным ниже приемом, то определение входного сопротивления не представит труда. Уяснить рекомендуемый способ легче всего на примере.

Предположим, что в положении ползунка переключателя 1—2 стрелка микроамперметра отклоняется до отметки «38» шкалы, а при переводе ползунка в положение 1—3 — до отметки «98». Разность показаний составит 60 (98—38). Разделив ее на два, сравниваем полученное число 30 с первым показанием прибора, т. е. с 38. После этого снова переводим ползунок переключателя в положение 1—2 и медленно увеличиваем сопротивление R до тех пор, пока стрелка прибора не совместится с отметкой 68 шкалы ($68 = 30 + 38$).

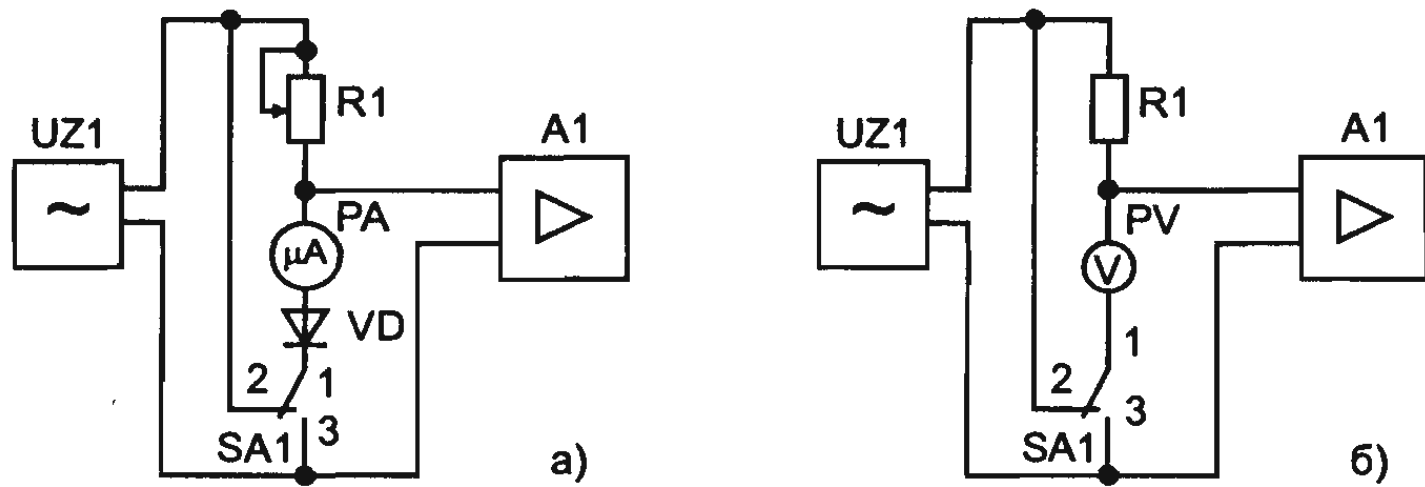


Рис. 6.10. Схема для измерения входного сопротивления УЗЧ

Если после увеличения сопротивления R показания микроамперметра в обоих положениях ползунка переключателя станут одинаковыми, то процесс уравнивания сопротивлений R и $R_{вх}$ заканчивают. Если же отклонение стрелки микроамперметра в положении ползунка 1—3 окажется несколько меньше или больше первого отклонения (до отметки «68»), то сопротивление R снова изменяют.

Следя за постоянством выходного напряжения генератора, выбирают такое значение сопротивления R , при котором стрелка микроамперметра отклонится на один и тот же угол в обоих положениях ползунка переключателя. После этого измеряют сопротивление R . Последнее и будет равно входному сопротивлению усилителя.

При наличии звукового генератора и вольтметра переменного тока можно воспользоваться еще одним способом измерения полного входного сопротивления усилителя.

Выполняют это так.

Собирают схему, приведенную на рис. 6.10,б.

После этого включают звуковой генератор и устанавливают на его выходе напряжение 13 В. Затем переводят ползунок переключателя SA в положение 1—2 и замечают первое показание (U_1) милливольтметра и величину $U_{вых}$ выходного напряжения генератора. Следя за постоянством $U_{вых}$, переводят ползунок переключателя в положение 1—3 и замечают второе показание (U_2) милливольтметра. В заключение вычисляют полное входное сопротивление ступени усилителя на частоте генератора по формуле:

$$Z_x = \frac{U_2}{U_1} \cdot R.$$

Пример.

- К выходу звукового генератора подключены последовательно резистор сопротивлением 3,9 кОм и вход усилительной ступени. В положениях ползунка переключателя 1—2 и 1—3

стрелка милливольтметра отклоняется соответственно до отметок 250 и 600 мВ шкалы. Чему равно входное сопротивление ступени УЗЧ?

Решение. В соответствии с приведенной формулой искомая величина равна:

$$Z_x = \frac{600}{250} \cdot 3,9 \approx 9,4 \text{ кОм.}$$

6.5.4. Измерение выходного сопротивления транзисторного УЗЧ

Измерение проводят по схеме (рис. 6.11). Необходимо иметь звуковой генератор и электронный вольтметр.

Устанавливают частоту звукового генератора, равную 1000 Гц, а напряжение на выходе звукового генератора такое, чтобы не было перегрузки УЗЧ. Замеряют напряжение на выходе звукового генератора и УЗЧ, затем замыкают переключку XS1—XS2, подрегулировывают,

если необходимо, напряжение на выходе звукового генератора (оно не должно меняться) и перемещают ползунок переменного резистора R до тех пор, пока электронный вольтметр не покажет напряжение УЗЧ, равное половине первоначального значения.

Подобранное таким образом сопротивление резистора R (которое замеряется омметром) и считается равным выходному сопротивлению УЗЧ на частоте 1000 Гц.

Резистор R выбирают сопротивлением, примерно равным ожидаемому выходному сопротивлению УЗЧ.

Формулы для расчета выходного сопротивления усилителя можно найти в главе 4.

6.5.5. Измерение сопротивления катушки электродинамического громкоговорителя

Полное сопротивление катушки на заданной звуковой частоте чаще всего определяют с помощью звукового генератора (ЗГ) и электронного вольтметра (V). Измерительные приборы присое-

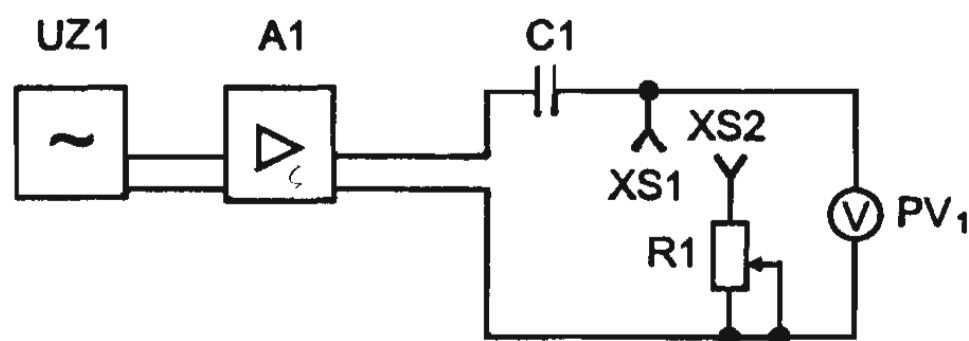


Рис. 6.11. Схема для измерения выходного сопротивления УЗЧ

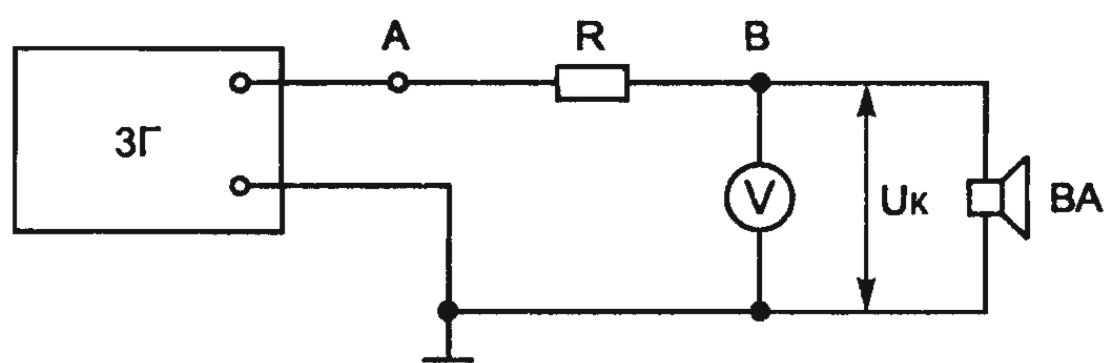


Рис. 6.12. Схема для измерения сопротивления катушки электродинамического громкоговорителя

диняют к громкоговорителю так, как показано на рис. 6.12. Сопротивление резистора R , выбираемое в пределах 1020 Ом, должно быть известно. Определение полного сопротивления катушки (Z_k) заключается в измерении двух напряжений.

Сначала измеряют падение напряжения на катушке U_k . Затем переносят верхний (по схеме рис. 6.12) проводник вольтметра из точки В в точку А, измеряя таким образом падение напряжения $U_{\text{вых}}$ на последовательно соединенных резисторе R и звуковой катушке.

Так как падения напряжений на последовательно соединенных элементах пропорциональны их сопротивлениям, то можно написать:

$$\frac{U_{\text{вых}}}{U_k} = \frac{R + Z_k}{Z_k},$$

откуда полное сопротивление катушки:

$$Z_k = \frac{R}{\frac{U_{\text{вых}}}{U_k} - 1}.$$

Пример.

- Определите сопротивление катушки громкоговорителя, если при включении последовательно с ней резистора сопротивлением 15 Ом стрелка вольтметра отклонилась в первый раз до отметки шкалы «0,85», а во второй раз, то есть при измерении напряжения на выходе генератора, — до отметки шкалы «3».

Решение. В соответствии с формулой полное сопротивление звуковой катушки:

$$Z_k = \frac{15}{\frac{3}{0,85} - 1} \approx 5,9 \text{ Ом.}$$

6.5.6. Измерение выходной мощности УЗЧ

Под выходной мощностью УЗЧ понимают наибольшую мощность, отдаваемую усилителем нагрузке при линейных искажениях, не превышающих заданной для данного усилителя величины.

В любительских условиях выходную мощность определяют косвенным путем.

Сначала измеряют сопротивление нагрузки и переменное напряжение на ней, а затем вычисляют мощность по формуле:

$$P_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{н}}^2}{R_{\text{н}}} \text{ Вт},$$

где $U_{\text{н}}$ — действующее напряжение на нагрузке, В;

$R_{\text{н}}$ — сопротивление нагрузки, Ом;

Напряжение $U_{\text{н}}$ определяют с помощью высокоомного вольтметра. С этой целью устанавливают ручку регулятора громкости усилителя в положение, соответствующее максимальному усилению, и присоединяют к нагрузке вольтметр. Затем подают на вход каскад звуковой частоты от звукового генератора напряжение такой величины, при которой громкоговоритель не перегружается и громко, без искажений, воспроизводит звук, соответствующий установленной частоте генератора. При достижении максимального неискаженного звучания записывают показания вольтметра, которое и принимают равным максимально допустимому напряжению ($U_{\text{н}}$) на нагрузке.

Пример.

• При измерении $R_{\text{н}}$ и $U_{\text{н}}$ оказалось, что:

- 1) сопротивление нагрузки равно $R_{\text{н}} = 5,1 \text{ Ом}$;
- 2) Действующее значение напряжения на нагрузке $U_{\text{н}} = 2,3 \text{ В}$;
- 3) Просматриваемая на экране осциллографа синусоидальная кривая выходного напряжения начинает искажаться при $U_{\text{н}}' = 2,35 \text{ В}$.

Чему равна выходная мощность усилителя?

Решение. Полагая, что при напряжении на нагрузке $U_{\text{н}} = 2,35 \text{ В}$ нелинейные искажения будут отсутствовать и пользуясь приведенной выше формулой, находим, что выходная мощность

$$P = \frac{2,35^2}{5,1} \approx 1 \text{ Вт}.$$

6.5.7. Практические советы

1. Тепловой режим маломощных транзисторов можно облегчить, надев на металлический корпус транзистора тор («баранку») из спирали, выполненной из медной, латунной или бронзовой проволоки диаметром 0,5...1,0 мм.

2. Радиатор для транзисторов серий КТ315, КТ361 можно изготовить из полоски меди, алюминия или жести шириной на 2...3 мм большей ширины корпуса транзистора (широкой его части). Транзистор вклеивают между изогнутыми краями пластины эпоксидным или другим клеем с хорошей теплопроводностью.

Для лучшего теплового контакта корпуса транзистора с радиатором необходимо сошлифовать с корпуса лакокрасочное покрытие в местах контакта, а установку в радиатор и склеивание производить с возможным минимальным зазором. Устанавливают транзистор с радиатором на плату, как и обычно, при этом нижние концы радиатора (концы буквы «П») должны упираться в плату. Если ширина полоски 7 мм, а высота радиатора (высота буквы «П»), изготовленного из луженой жести, толщиной 0,35...2,2 мм, то при мощности рассеивания 500 мВт температура радиатора в месте приклеивания транзистора не превышает 55°C.

3. Ровность контактной площадки проверяют, смазав ее каким-либо красителем и приложив основание транзистора, который будут крепить. Выступающие участки площадки окрасят доньшко корпуса транзистора.

4. Зажимы для выводов батареи 3336Л позволяют быстро и надежно подключать ее к схеме.

Контактную пластину вырезают из латунной ленты толщиной 0,1...0,2 мм, сгибают пополам, к месту сгиба припаивают проводник и надевают отрезок полихлорвиниловой трубки подходящего диаметра. Выступающие концы пластины отгибают в разные стороны (на хлорвиниловую трубку). Если диаметр трубки подобран правильно, зажим обеспечивает надежный контакт с выводом батареи достаточно прочно удерживается на нем.

6.6. ЗАДАЧИ

1. Определить коэффициент усиления усилителя по току и по мощности в децибелах, если оба коэффициента усиления равны 100.

2. Определить коэффициент усиления по напряжению двухкаскадного усилителя, если выходное напряжение первого и второго каскадов соответственно равны 0,2 и 4 В, а напряжение источника входного сигнала — 0,01 В.

3. Объяснить назначение элементов двухкаскадного усилителя (рис. 6.13). Какие элементы можно использовать для регулировки коэффициентов усиления первого и второго каскадов, коэффициента частотных искажений, коэффициента обратной связи?

4. В полосе пропускания допустимые изменения коэффициента усиления $K_{дб}$ не должны превышать 13 дБ. Каким процентным изменениям коэффициента усиления K соответствуют эти изменения?

5. В схеме каскада (рис 6.14) произошел обрыв шунтирующего конденсатора C_3 . Останутся ли при этом неизменными коэффициент усиления по напряжению и входное сопротивление?

6. На вход усилителя мощности (рис 6.15), работающего на нагрузку $R_H = 9,2$ Ом, поступает гармонический сигнал $U_{вх} = 10$ В. Определить мощность, отдаваемую усилителем в нагрузку, приняв максимальное напряжение на эмиттерном переходе открытого транзистора $U_{БЭ\max} = 0,8$ В.

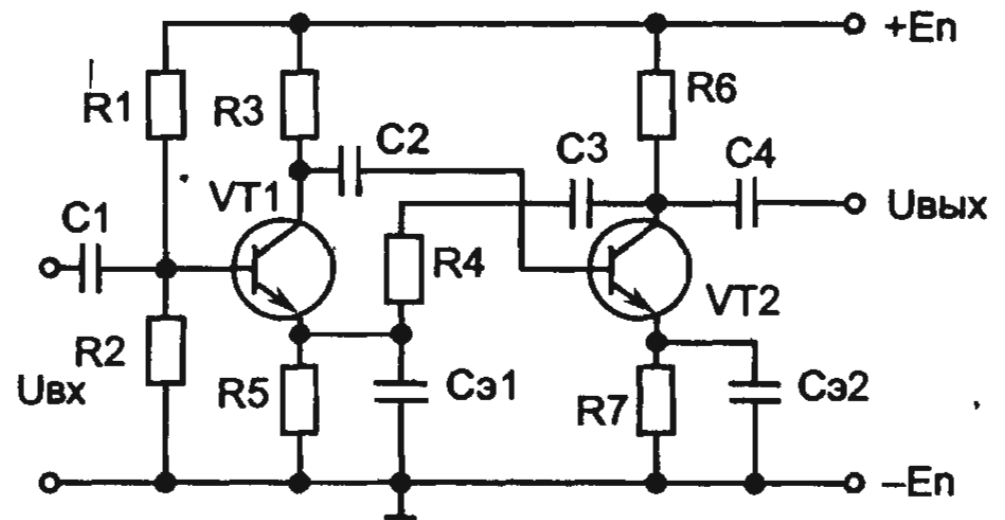


Рис. 6.13. Схема двухкаскадного УЗЧ

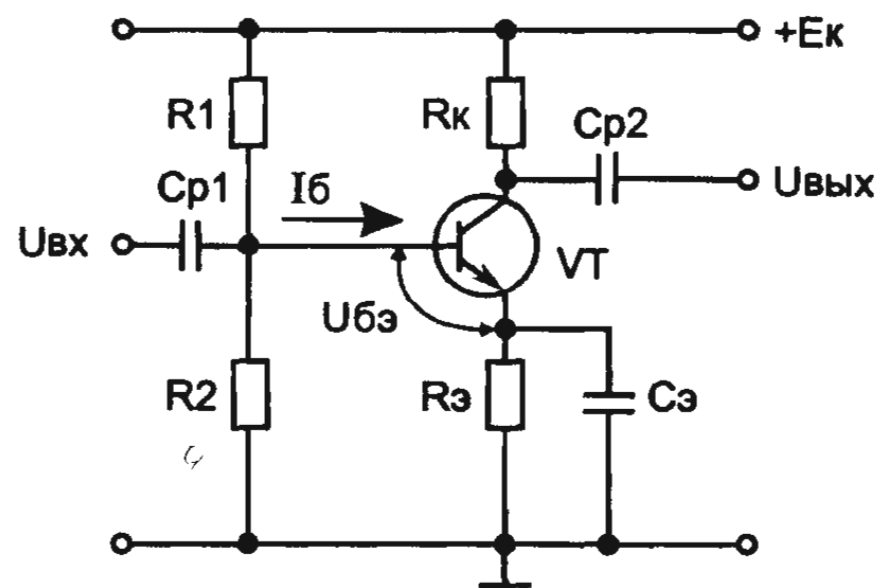


Рис. 6.14. Схема однокаскадного УЗЧ

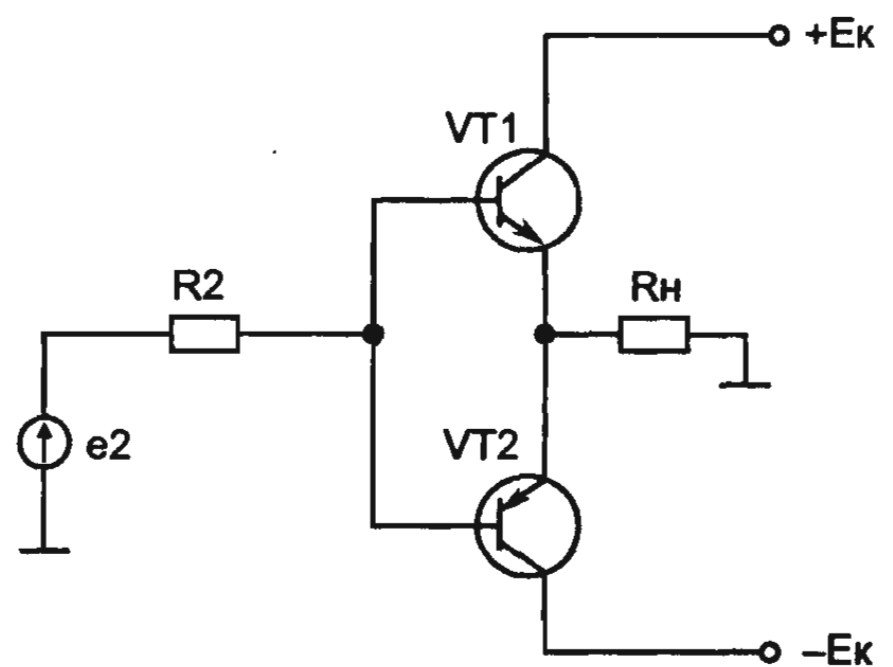


Рис. 6.15. Схема двухтактного усилителя мощности

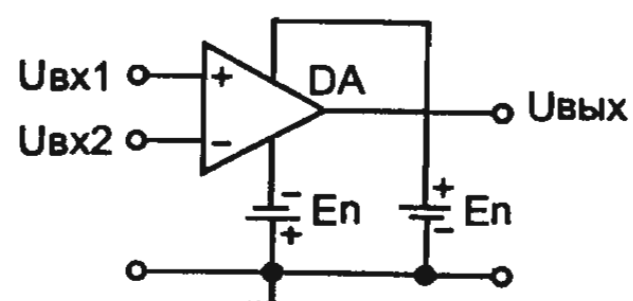


Рис. 6.16. Схема УЗЧ на операционном усилителе

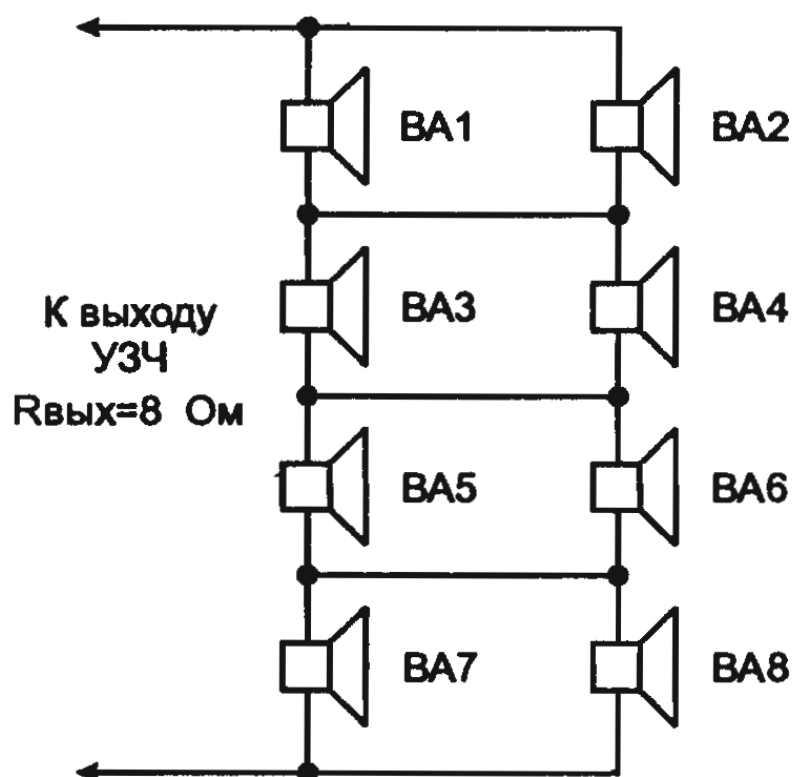


Рис. 6.17. Правильно ли соединены между собой динамические головки?

7. Какой операционный усилитель (ОУ) называется идеальным? Почему в схеме ОУ предусматривают два источника питания: с положительным ($+E_{п}$) и отрицательным ($-E_{п}$) постоянными напряжениями относительно нулевой общей точки схемы, которая заземляется? (рис. 6.16).

8. На рис.6.17 показано подключение к УЗЧ с выходным сопротивлением $R_{вых} = 8 \text{ Ом}$ восьми четырехомных динамических головок. Правильно ли соединены между собой динамические головки?

9. При частоте подводимого напряжения $f = 1000 \text{ Гц}$ мембрана головного телефона колеблется также с частотой 1000 Гц (рис. 6.18). С какой частотой будет колебаться мембрана при той же частоте подводимого напряжения, если вместо постоянного магнита поставить сердечник из мягкого железа?

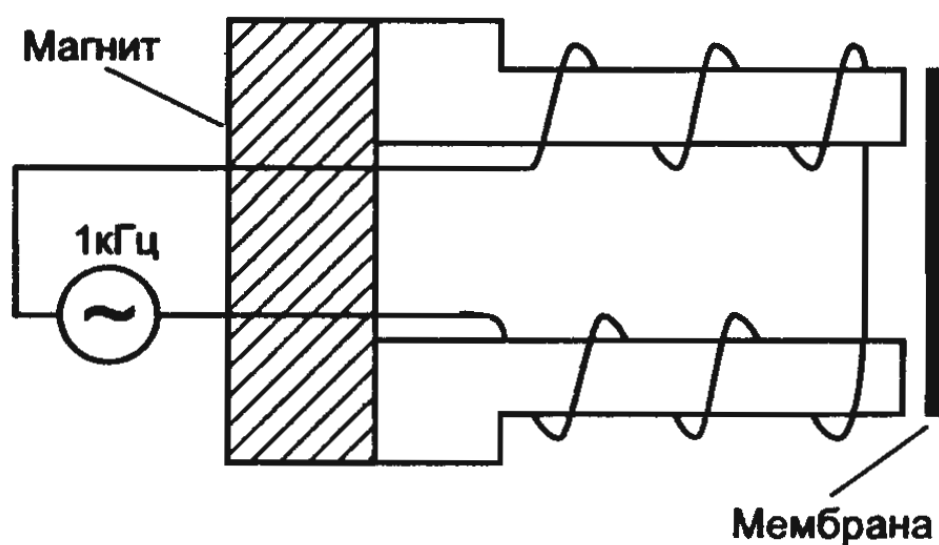


Рис. 6.18. Схема капсуля головного телефона

Глава 7

Основные сведения об интегральных микросхемах

7.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

По технологии изготовления интегральные микросхемы (ИМС) делят на гибридные, пленочные и полупроводниковые. У полупроводниковых микросхем все активные и пассивные элементы выполнены в объеме и на поверхности кристалла полупроводника. В пленочной ИМС все элементы и межэлементные соединения выполнены только в виде пленок проводящих и диэлектрических материалов на поверхности диэлектрической подложки. В гибридных микросхемах токонесущие проводники, резисторы, обкладки конденсаторов представляют собой пленки определенных размеров и электрических свойств, нанесенных на диэлектрическую подложку, на которую устанавливают диоды, транзисторы (как правило кремниевые структуры n-p-n), но без корпусов.

По функциональному назначению микросхемы делят на аналоговые (или линейно-импульсные) и логические (или цифровые). Аналоговые микросхемы используются для усиления, генерирования, преобразования электрических сигналов в приемниках, телевизорах и т. д. Логические (цифровые) микросхемы используются в ЭВМ, различных цифровых приборах и т. д.

Изучение лучше начать с аналоговой полупроводнико-

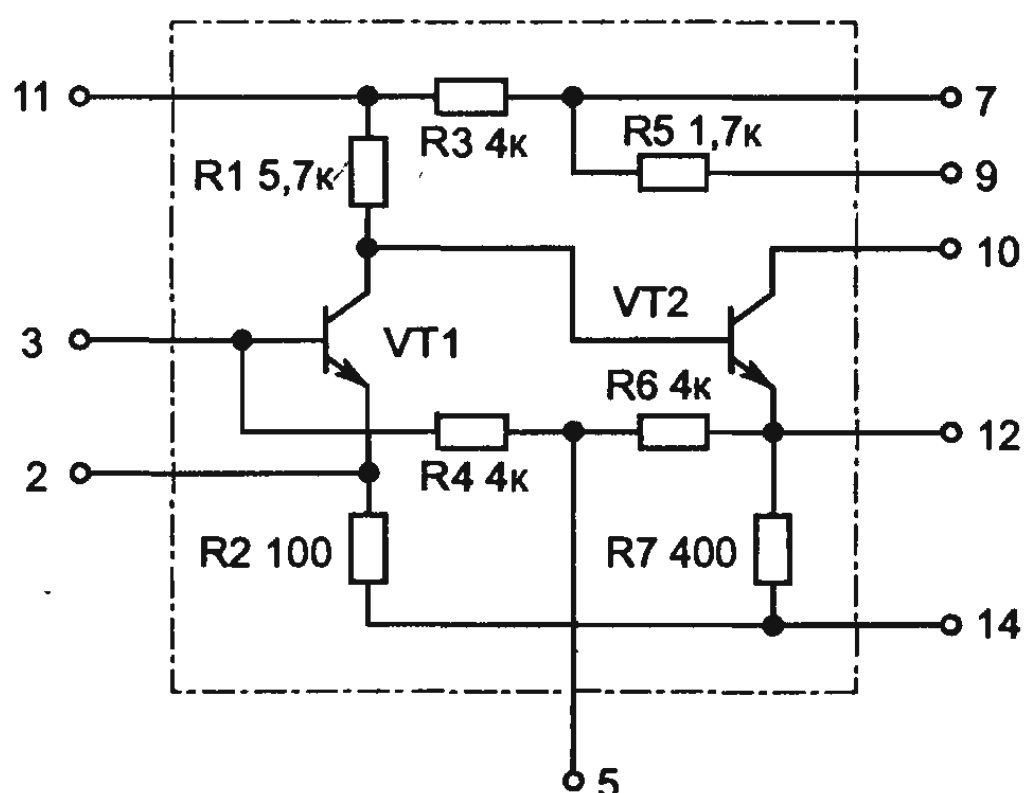


Рис. 7.1.а Принципиальная схема микросхемы K118УН1Б

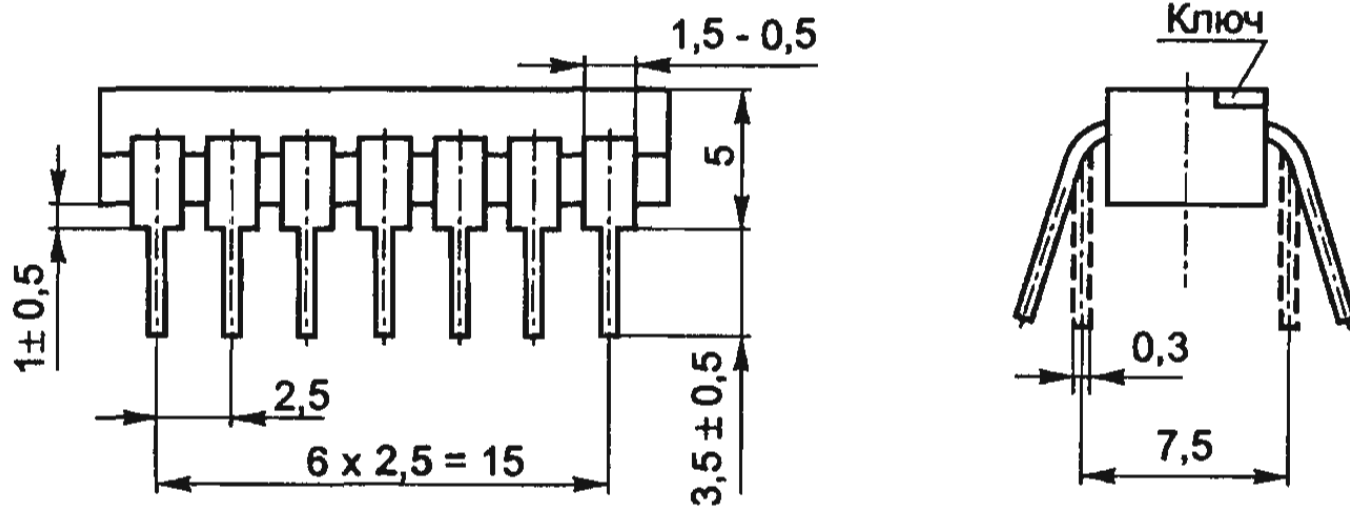


Рис. 7.1,б Тип корпуса микросхемы К118УН1Б (201.14 – 1)

вой микросхемы широкого применения К118УН1Б (серия К122 отличается только конструктивным оформлением). Принципиальная схема этой микросхемы изображена на рис. 7.1,а, вид корпуса — на рис.7.1,б, принципиальная схема УЗЧ на этой микросхеме — на рис. 7.2.

Из рис 7.1 видно, что микросхема К118УН1Б представляет собой двухкаскадный усилитель постоянного тока (УПТ), выполненный на кремниевых транзисторах структуры п-р-п с непосредственными связями.

Каскад на транзисторе VT1 выполнен по схеме с ОЭ, а на транзисторе VT2 может быть использован как в схеме с ОЭ, так и в схеме ОК в зависимости от схемы включения транзистора VT2. Роль нагрузки могут выполнять резисторы R7 (в схеме с ОК) или R5 (в схеме с ОЭ), а также внешние элементы. Через резисторы R4 и R6 транзисторы охвачены ООС, определяющей и стабилизирующей режим работы по постоянному току. Коэффициент усиления усилителя на микросхеме не менее 400 на частоте 12 кГц и не

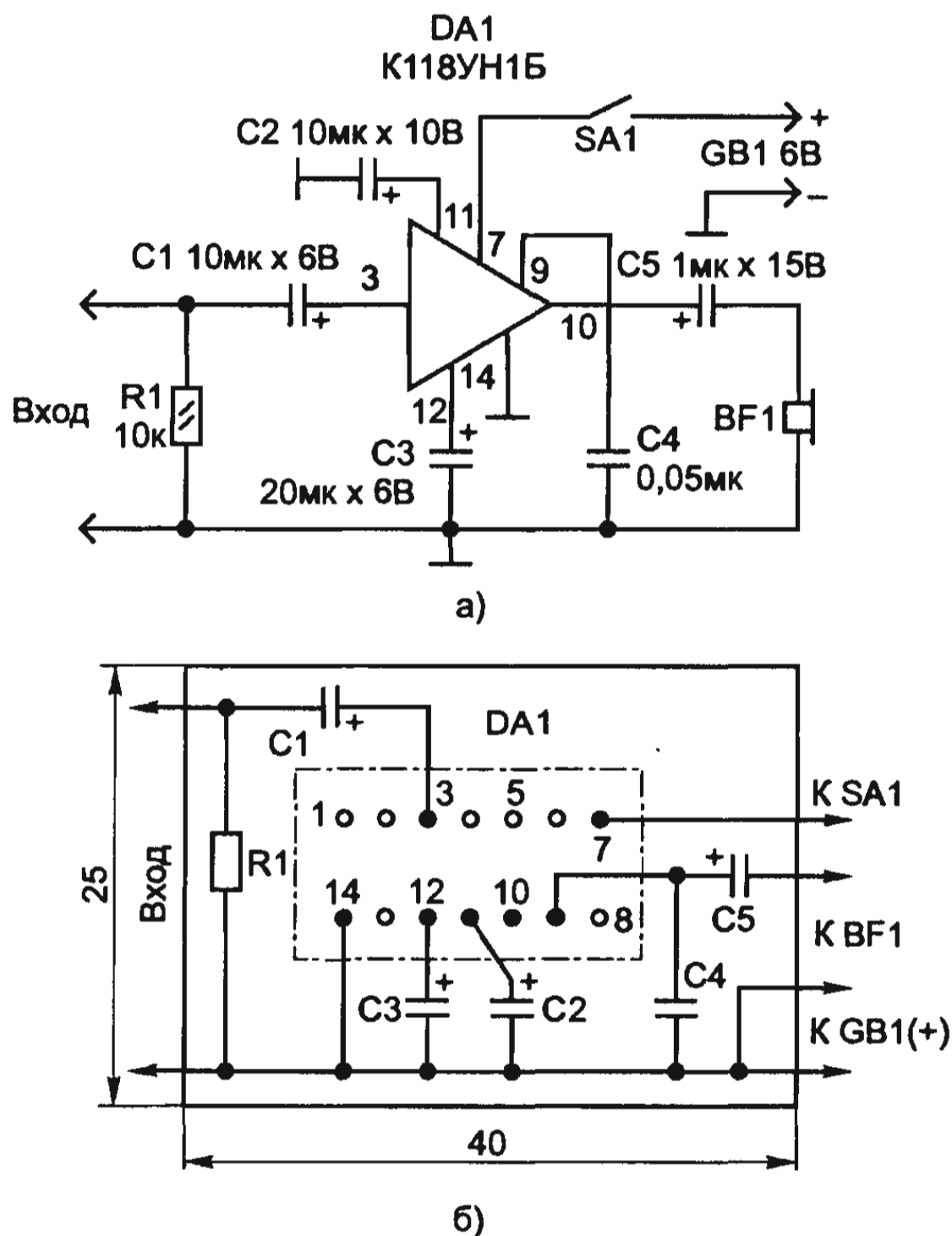


Рис. 7.2. УЗЧ на микросхеме К118УН1Б: а) принципиальная схема; б) монтажная плата

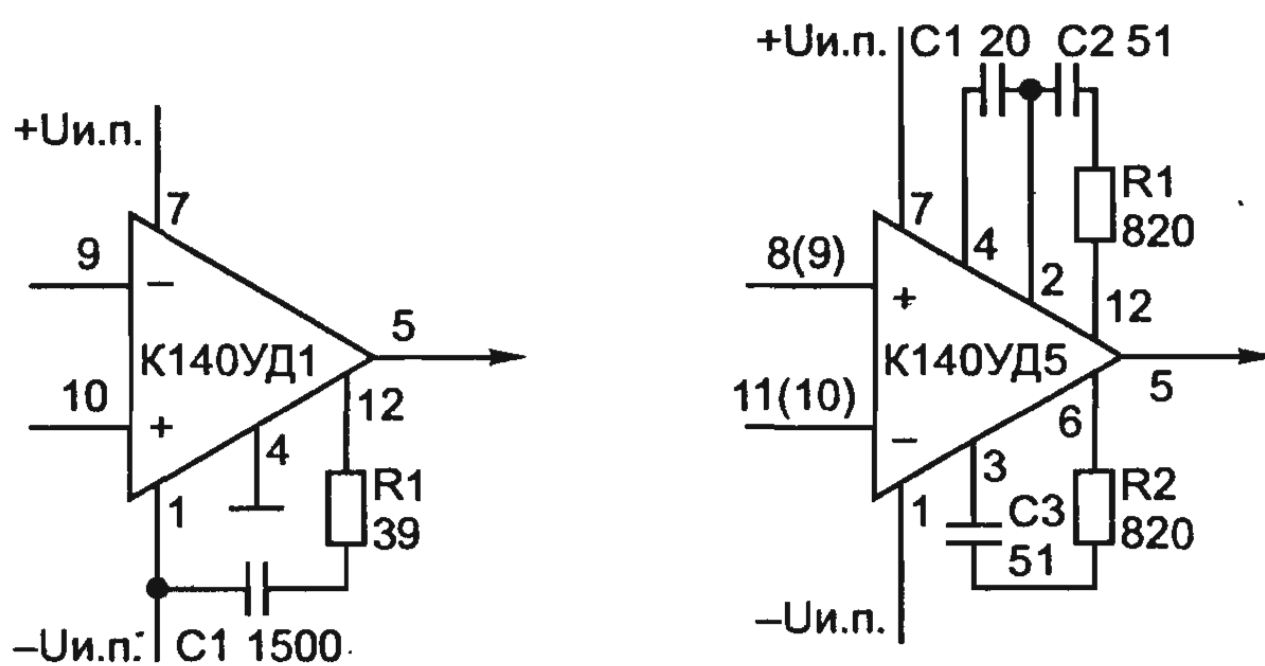


Рис. 7.3. Типовые схемы включения ОУ 140УД1 (а) и К140УД5 (б)

менее 30 на частоте 5 МГц, так что эта микросхема может быть использована и как усилитель напряжения радиочастоты в радиоприемнике.

Очень широкое применение в радиоэлектронике находят операционные усилители (ОУ). Операционным усилителем называют усилитель с большим коэффициентом усиления, имеющий два высокоомных входа, один низкоомный выход и предназначенный для построения разнообразных узлов электронной аппаратуры. Впервые они были использованы в аналоговых ЭВМ, в узлах, реализующих различные математические операции — суммирование, вычитание, дифференцирование, интегрирование и др. В настоящее время ОУ выполняют функции более 200 функциональных узлов электронной аппаратуры.

На рис. 7.3,а приведены типовые схемы включения ОУ К140УД1 и 140УД5.

Основными характеристиками ОУ являются характеристика прямой передачи, как ее принято называть — амплитудная характеристика (рис. 7.3,б), и амплитудно-частотная характеристика (рис. 7.3,в). При подаче сигнала на неинвертирующий вход амплитудная характеристика имеет вид кривой АВ (рис. 7.3,б), а при подаче сигнала на инвертирующий вход — вид кривой СД. Линеинный участок амплитудной характеристики сверху и снизу практически ограничен напряжениями источников питания положительной и отрицательной полярности. Коэффициент усиления постоянного тока и очень низких частот современных ОУ достигает 10^4 10^6 , а частота единичного усиления — $15 \cdot 10^6$ Гц. Наличие у ОУ инвертирующего входа позволяет охватывать его цепями ООС и реализовывать требуемые амплитудные и амплитудно-частотные характеристики.

Основные параметры ОУ и их общепринятая размерность:

- Коэффициент усиления напряжения K_u , ($10^3 10^6$);
- Коэффициент ослабления синфазного сигнала $K_{осл.сф}$, дБ;
- Частота единичного усиления (при которой $K_u = 1$) f_1 , МГц;
- Входное сопротивление $R_{вх}$, кОм;
- Напряжение смещения нуля $U_{см}$, мВ;
- Максимальное входное дифференциальное напряжение $U_{вх.диф\ max}$, В;
- Максимальное входное синфазное напряжение $U_{вх.сф\ max}$, В;
- Максимальное выходное напряжение $U_{вых\ max}$, В;
- Скорость нарастания выходного напряжения V , В/мкс;
- Количество ОУ в одном корпусе ИМС, шт.

Чтобы знать, как работает ЭВМ и другие цифровые устройства, необходимо знать алгебру логики или Булеву алгебру (по имени ее основоположника Д. Буля). Цифровая (двоичная) логика различает только два состояния, которые в классической логике соответствуют понятиям «истина» и «ложь», а в применении к электронике — понятиям «1» и «0», соответствующие двум состояниям вентиля. Использование этого термина («вентиль») удобно для понимания физики процесса и можно объяснить так, что схемы с вентилями могут задерживать или пропускать цифровую информацию по принципу обычного вентиля, предназначенного для управления потоком жидкости. Такое объяснение особенно удобно для начинающих радиолюбителей.

Логические преобразования двоичных сигналов включают три элементарные операции:

- логическое умножение, или операцию И;
- логическое сложение, или операцию ИЛИ;
- логическое отрицание, или операцию НЕ.

Все возможные логические функции n переменных можно образовать с помощью этих трех операций. В таблице 7.1 приведены математические записи основных аксиом и законов Булевой алгебры. Применение данных аксиом и законов позволяет производить упрощение логических функций, которые могут иметь различные формы представления: словесное, табличное, алгебраическое, графическое. Наиболее широко используют представление функций в виде таблиц истинности, которые содержат все возможные наборы значений логических переменных и значения функций, соответствующих каждому из наборов.

Таблица 7.1

Аксиомы	Законы
$1 + X = 1$	$X1 + X2 = X2 + X1$
$0 \cdot X = 0$	$X1 \cdot X2 = X2 \cdot X1$
$0 + X = X$	$X1 + X2 + X3 = X1 + (X2 + X3)$
$1 \cdot X = X$	$X1 \cdot X2 \cdot X3 = X1 \cdot (X2 \cdot X3)$
$X + X = X$	$X1 \cdot (X2 + X3) = (X1 \cdot X2) + (X1 \cdot X3)$
$X \cdot X = X$	$X1 + (X2 \cdot X3) = (X1 + X2) \cdot (X1 + X3)$
$X + \bar{X} = 1$	$\overline{X1 + X2} = \bar{X1} \cdot \bar{X2}$
$X \cdot \bar{X} = 0$	$\overline{X1 \cdot X2} = \bar{X1} + \bar{X2}$
$\bar{\bar{X}} = X$	$\bar{X1} + X1 \cdot X2 = \bar{X1}$
	$X1 \cdot (X1 + X2) = X1$

Элементы, выполняющие логические операции И, ИЛИ, НЕ, называются логическими элементами И, ИЛИ, НЕ соответственно.

УГО логического элемента И показано на рис. 7.4, а. Его условным символом служит знак «&», стоящий внутри прямоугольника; этот знак заменяет союз «и» в английском языке. Слева — два

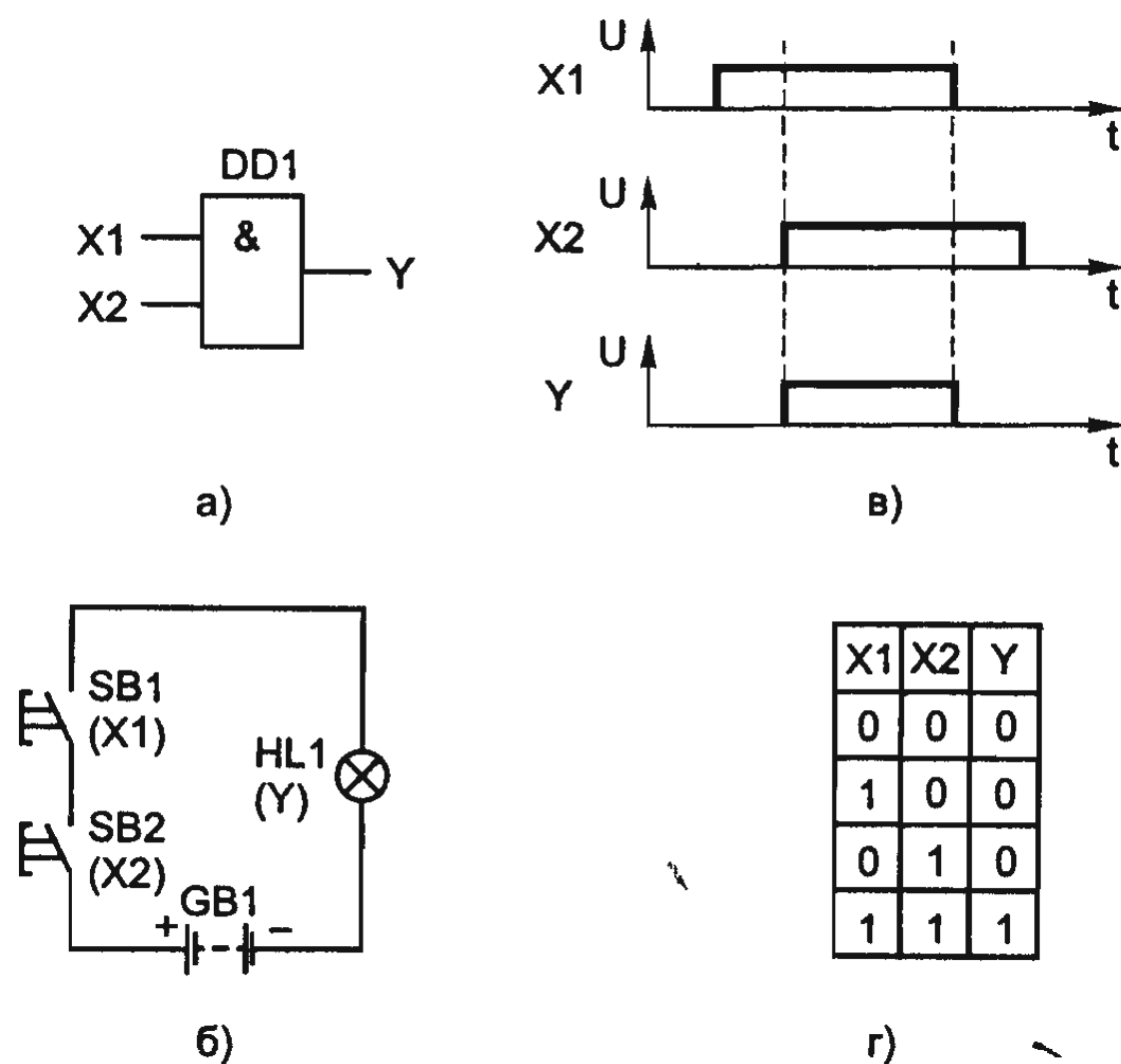


Рис. 7.4. Логический элемент И: а) условное графическое обозначение; б) его электрический аналог; в) временные диаграммы электрических процессов; г) таблица состояний (истинности) элемента

(может быть и больше) логических входа — X_1 и X_2 , справа — один выход Y . Логика действия элемента такова: напряжение высокого уровня появляется на выходе элемента лишь тогда, когда сигналы такого же уровня будут поданы на все его входы.

Разобраться в логике действия логического элемента И поможет его электрический аналог (рис. 7.4,б), составленный из последовательно соединенных источника питания GB_1 (например, батареи 3336), кнопочных переключателей SB_1 , SB_2 любой конструкции и лампы накаливания HL_1 (МНЗ,5—0,26). Переключатели имитируют электрические сигналы на входе аналога, а нить лампы индицирует уровень сигнала на выходе. Разомкнутое состояние контактов переключателей соответствует напряжению низкого уровня, замкнутое — высокого уровня. Пока контакты кнопок не замкнуты (на обоих входах элемента напряжение низкого уровня), электрическая цепь аналога разомкнута и лампа, естественно, не светит.

На рис. 7.4,в изображены временные диаграммы электрических процессов, дающих достоверное представление о работе логического элемента И. На входе X_1 сигнал появляется первым. Как только такой же сигнал появляется и на входе X_2 , тут же появляется и сигнал на выходе Y , который существует до тех пор, пока на обоих входах имеются сигналы, соответствующие напряжению высокого уровня.

О состоянии и логической связи между входными и выходными сигналами элемента И дает представление так называемая таблица состояний (истинности) (рис. 7.4, г), напоминающая таблицу умножения. Глядя на нее, можно сказать, что сигнал высокого уровня на выходе элемента будет лишь тогда, когда сигналы такого же уровня появятся на обоих его входах. Во всех других случаях на выходе элемента будет напряжение низкого уровня, т. е. соответствующее логическому нулю.

Для микросхем серии К155 и других микросхем напряжение от 0 до 0,4 В, т. е. соответствующее уровню логического 0, называют напряжением низкого уровня, а напряжение более 2,4 В, соответствующее уровню логической 1, — напряжением высокого уровня.

Условный символ логического элемента ИЛИ — цифра 1 внутри прямоугольника (рис. 7.5, а). У этого элемента, как и у элемента И, могут быть два и больше входов. Сигнал на выходе Y , соответствующий напряжению высокого уровня, появляется при подаче такого же сигнала на вход X_1 или на вход X_2 , или одновременно на оба входа. Чтобы убедиться в этом, проведите опыт с его электрическим аналогом (рис. 7.5, б). Лампа накалива-

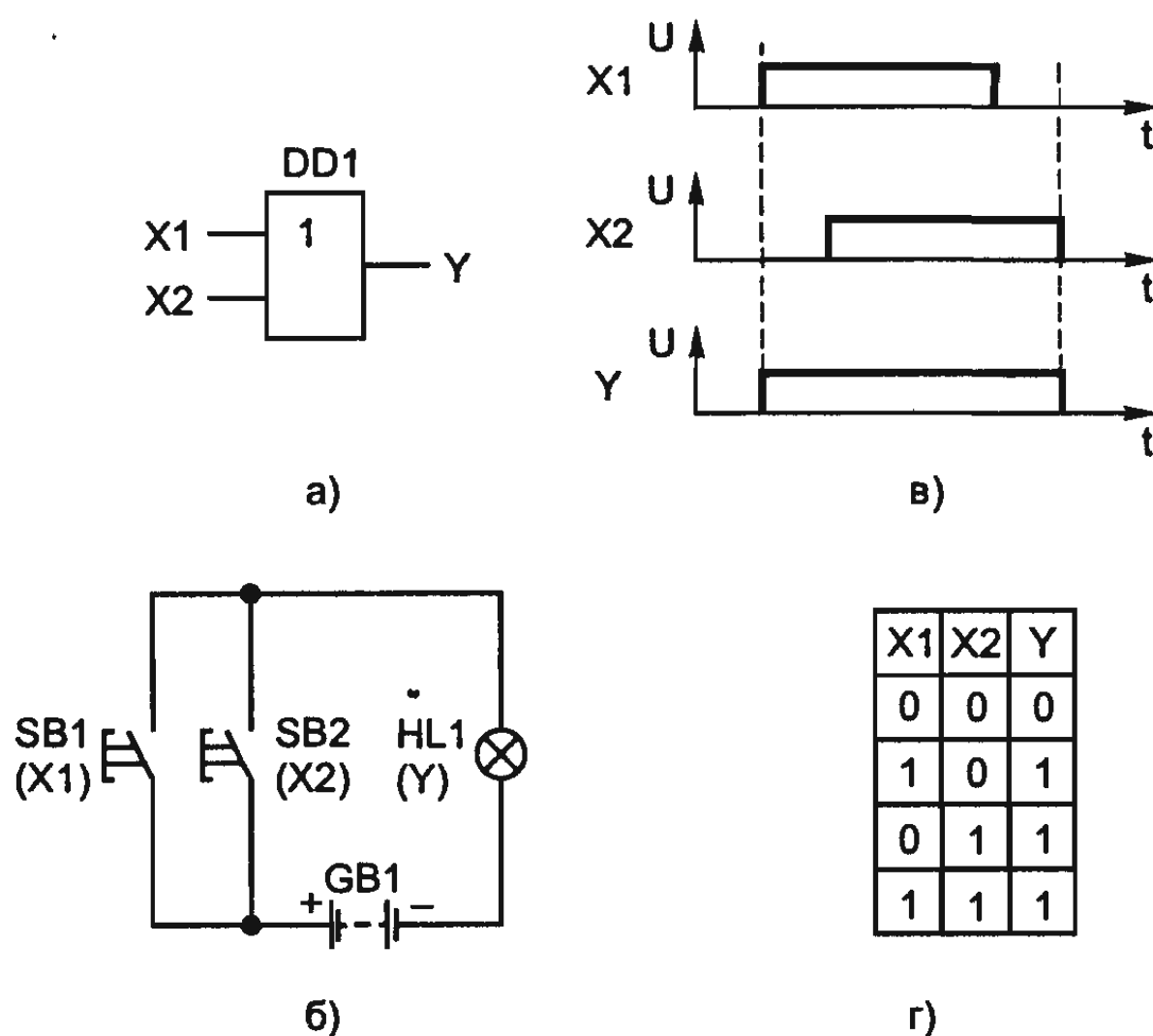


Рис. 7.5. Логический элемент ИЛИ: а) условное графическое обозначение; б) его электрический аналог; в) временные диаграммы электрических процессов; г) таблица состояний (истинности) элемента.

ния HL1 на выходе аналога будет светить всякий раз, когда окажутся замкнутыми контакты кнопки SB1 или SB2, или одновременно обеих (всех) кнопок. Лучше понять работу элемента ИЛИ помогут временная диаграмма его работы (рис. 7.5, в) и таблица состояний (истинности) (рис. 7.5, г).

Условный символ логического элемента НЕ — тоже цифра 1 в прямоугольнике (рис. 7.6, а). Но у него один вход и один выход. Небольшой кружок на пересечении прямоугольника и линии выходного сигнала символизирует логическое отрицание на выходе элемента. Физически элемент НЕ представляет собой инвертор — электронное устройство, выходной сигнал которого противоположен входному. Т. е. если на входе элемента действует сигнал низкого уровня, то на его выходе имеется сигнал высокого уровня, и наоборот. Электрический аналог элемента НЕ можно собрать по схеме, представленной на рис. 7.6, б. При наличии на входе сигнала высокого уровня (кнопка SB1 нажата, срабатывает реле К1, замыкаются его контакты К1.1) на выходе элемента имеется сигнал низкого уровня (лампочка не светит). Лучше понять работу элемента НЕ помогут временная диаграмма его работы (рис. 7.6, в) и таблица состояний (рис. 7.6, г).

Любая сколь угодно сложная логическая функция может быть реализована на наборе логических элементов И, ИЛИ, НЕ.

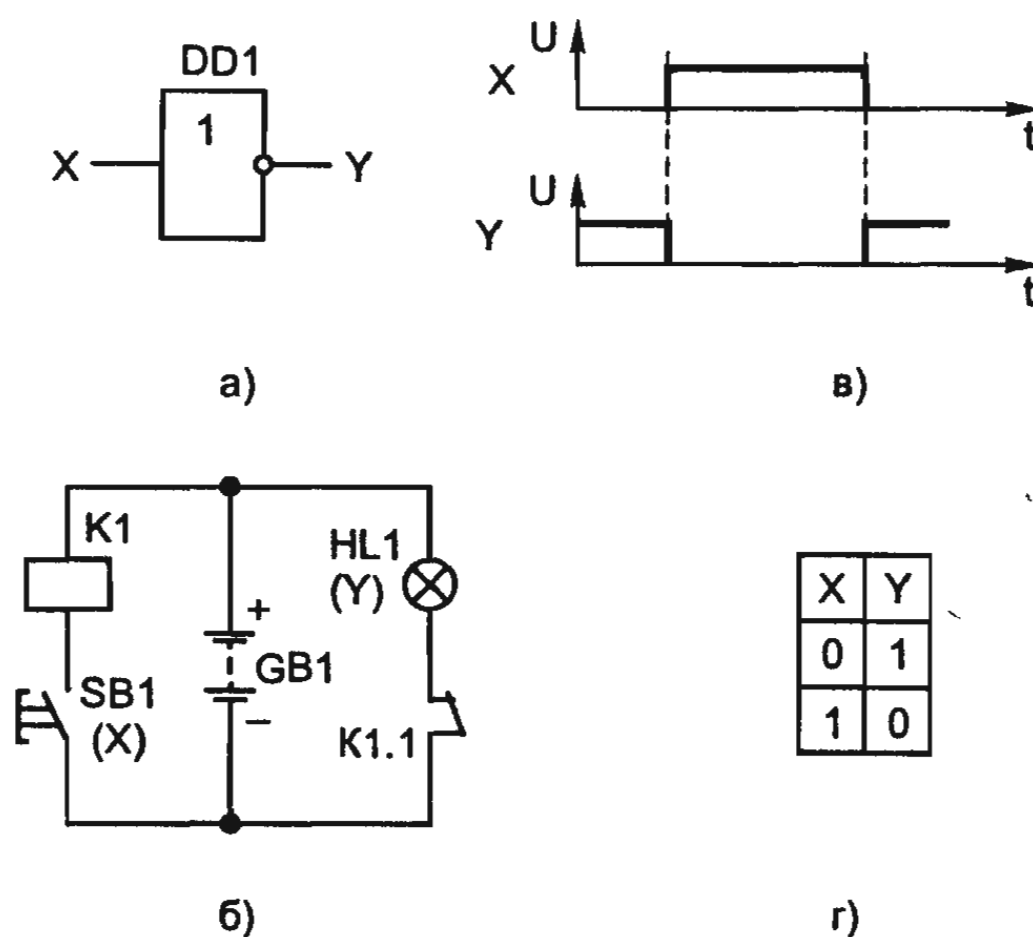


Рис. 7.6. Логический элемент НЕ: а) условное графическое обозначение; б) его электрический аналог; в) временные диаграммы электрических процессов; г) таблица состояний (истинности) элемента

Помимо рассмотренных логических элементов на практике широко применяют комбинированные элементы, реализующие две (и более) логические операции, например, элементы И-НЕ, ИЛИ-НЕ.

Рассмотрим более подробно логический элемент И-НЕ. Он представляет собой комбинацию элементов И и НЕ, поэтому на его графическом обозначении (рис. 7.7, а) есть знак «и» и кружок на линии выходного сигнала, символизирующий логическое отрицание. Выход один, а входов два или больше. Его электрический аналог изображен на рис. 7.7, б. Когда на входе элемента имеется сигнал высокого уровня — логическая единица (обе кнопки нажаты, реле K1 срабатывает, его контакты K1.1 размыкаются), то на выходе имеется сигнал низкого уровня, — логический ноль (лампочка не светит). Если на входе элемента имеется лишь один сигнал высокого уровня (нажата лишь одна какая-либо кнопка, реле не срабатывает и его контакты K1.1 замкнуты), то на выходе имеется сигнал высокого уровня (лампа светит). Такой вывод подтверждается временной диаграммой и таблицей состояния, показанными на рис. 7.7, в, г.

Если входы элемента И-НЕ соединить вместе и подать на них сигнал высокого уровня (на электрическом аналоге — обе кнопки заменить одной), на выходе элемента будет сигнал низкого уровня. И наоборот, при подаче на объединенный вход сигнала низкого уровня, на выходе элемента будет сигнал высокого уровня.

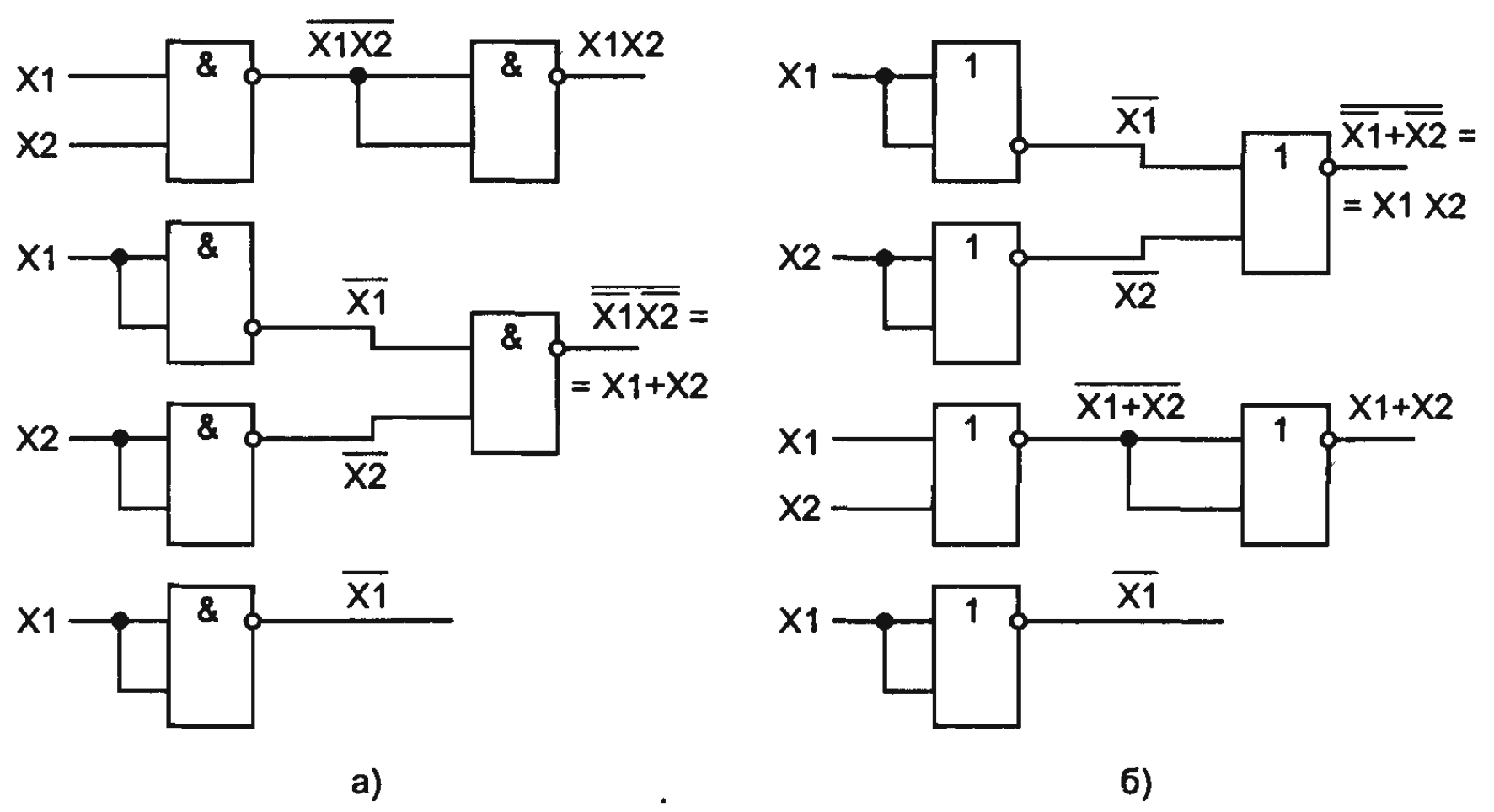


Рис. 7.7: Логический элемент И-НЕ: а) условное графическое обозначение; б) его электрический аналог; в) временные диаграммы электрических процессов; г) таблица состояний (истинности) элемента

В этом случае элемент И-НЕ становится инвертором, т. е. логическим элементом НЕ. Это свойство элемента И-НЕ очень широко используется в приборах и устройствах цифровой техники.

Аналогично можно рассмотреть работу и логического элемента ИЛИ-НЕ.

Однако в составе серий цифровых микросхем имеют более широкое распространение элементы И-НЕ и ИЛИ-НЕ (нежели эле-

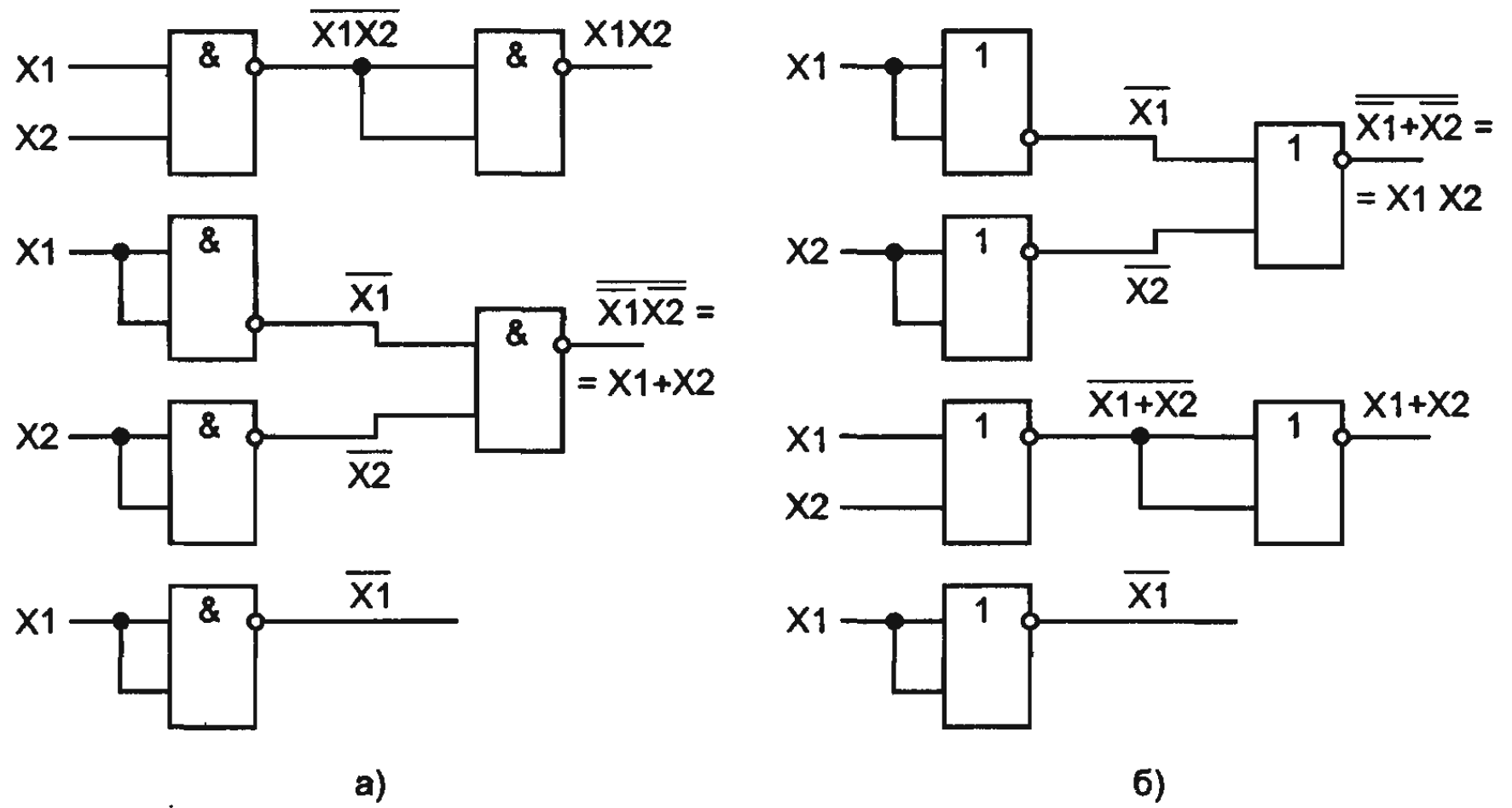


Рис. 7.8. Реализация функций И, ИЛИ, НЕ с помощью логических элементов И-НЕ и ИЛИ-НЕ

менты И, ИЛИ, НЕ), а также более сложные логические элементы И-ИЛИ-НЕ. На основе любого из этих элементов можно реализовать любую элементарную функцию И, ИЛИ, НЕ. На рис. 7.8 показана реализация функций И, ИЛИ, НЕ с помощью логических элементов И-НЕ и ИЛИ-НЕ.

7.2. ЭКСПЕРИМЕНТЫ С МИКРОСХЕМОЙ К155ЛА3

Микросхема К155ЛА3 находит широкое применение в практике радиолюбителя. С нее и начнем знакомство.

Внешний вид и УГО этой микросхемы показаны на рис. 7.9. Конструктивно она представляет собой пластмассовый корпус прямоугольной формы с 14 пластинчатыми выводами (некоторые микросхемы этой серии имеют по 16 и даже 24 вывода), расположенными вдоль обеих длинных сторон корпуса. Сверху на корпусе есть условный ключ — небольшая круглая метка, означающая местоположение вывода 1. От него ведут отсчет остальных выводов. Если смотреть на микросхему сверху — со стороны маркировки, — то отсчитывать выводы нужно против движения часовой стрелки, а если снизу — по часовой стрелке. Такое правило распространено на все микросхемы.

Микросхема К155ЛА3 состоит из 4 логических элементов 2И-НЕ (цифра 2 указывает число входов каждого элемента), питающихся от общего внешнего источника напряжения постоянного тока. Каждый ее логический элемент работает самостоятельно. Выделить элементы нетрудно по номерам выводов, проставленным на графическом схемном обозначении микросхемы. Так,

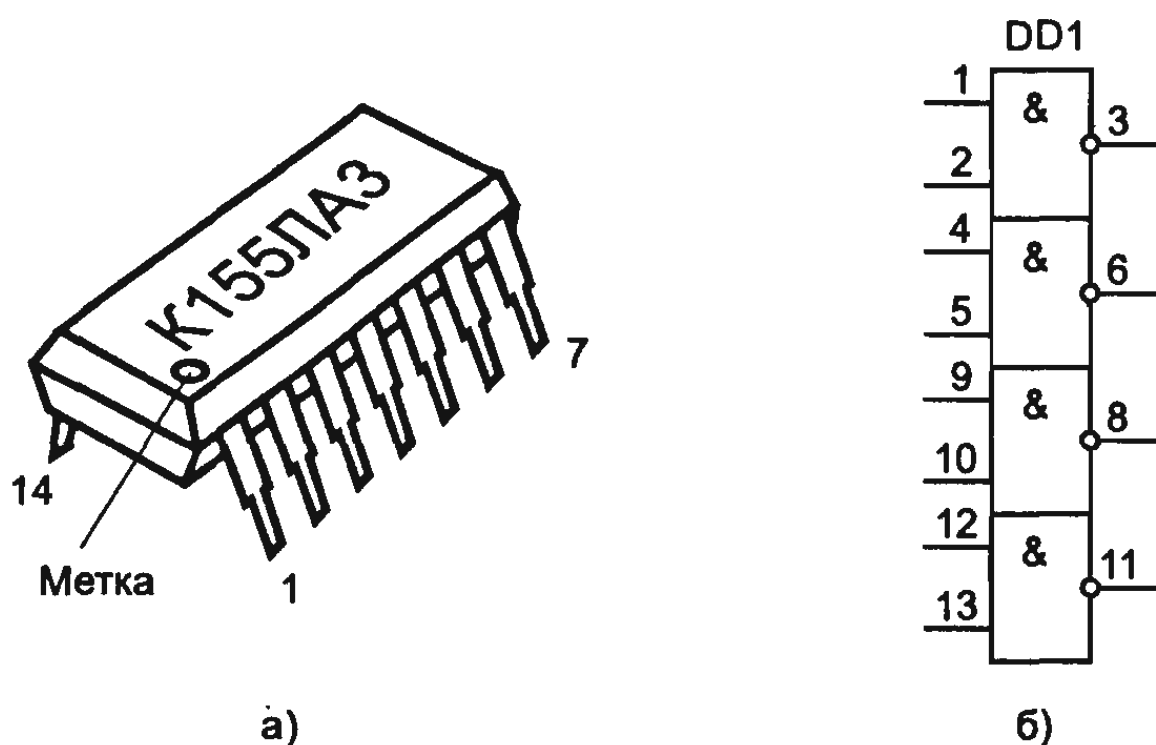


Рис. 7.9. Внешний вид и УГО микросхемы К155ЛА3

входные выводы 1,2 и выходной вывод 3 относятся к одному из ее элементов, например, первому, входные 4, 5 и выходной 6 — ко второму элементу и т. д. Необозначенные на рис. 7.9,б выводы 7 и 14 микросхемы служат для подачи питания на все элементы. Эти выводы не принято изображать на схеме, чтобы ее не загромождать линиями питания, а также потому, что элементы обычно располагают на принципиальной электрической схеме устройства не слитно, как на рис. 7.9,б, а отдельно в разных участках. Цепи же питания элементов остаются общими. Причем для микросхемы К155ЛА3 вывод 14 должен быть соединен с плюсовым, а вывод 7 — с минусовым полюсами источника питания.

Микросхема К155ЛА3, как и все другие микросхемы этой серии, рассчитана на питание от источника постоянного тока напряжением $5 \text{ В} \pm 5\%$. Можно использовать и батарею гальванических элементов, например, 3336, но в процессе опытов ее напряжение будет уменьшаться, что, естественно, скажется на режиме работы микросхемы, а при определенной разрядке батареи микросхема вообще перестанет нормально работать. Поэтому желательно использовать блок питания, обеспечивающий стабильное напряжение 5 В.

Макетную панель, необходимую для проведения опытов, можно сделать из стеклотекстолита, гетинакса или другого листового изоляционного материала толщиной 1,52 мм — это будет линия питания. По всей оставшейся площади через каждые 10 мм насверлите отверстия диаметром 0,81 мм, в которые по мере необходимости будете вставлять отрезки луженого провода. Снизу по углам панели прикрепите невысокие ножки-подставки и приступайте к опытам.

Микросхему разместите в любом месте макетной панели выводами вниз, предварительно отогнув их узкие концы так, чтобы они плотно прилегли к панели. Отрезками монтажного провода вывод 14 микросхемы соедините с плюсовой, а вывод 7 — с минусовой (общей) линиями питания. Чтобы при пайке не перегреть микросхему, мощность паяльника не должна превышать 40 Вт, а продолжительность пайки выводов — 23 с.

Подключите источник питания. Вольтметром постоянного тока с относительным входным сопротивлением не менее 5 кОм/В (аво́метром) измерьте напряжение на всех логических выводах элементов. Для этого минусовый щуп вольтметра соедините с общей линией, а плюсовым поочередно коснитесь входных выводов

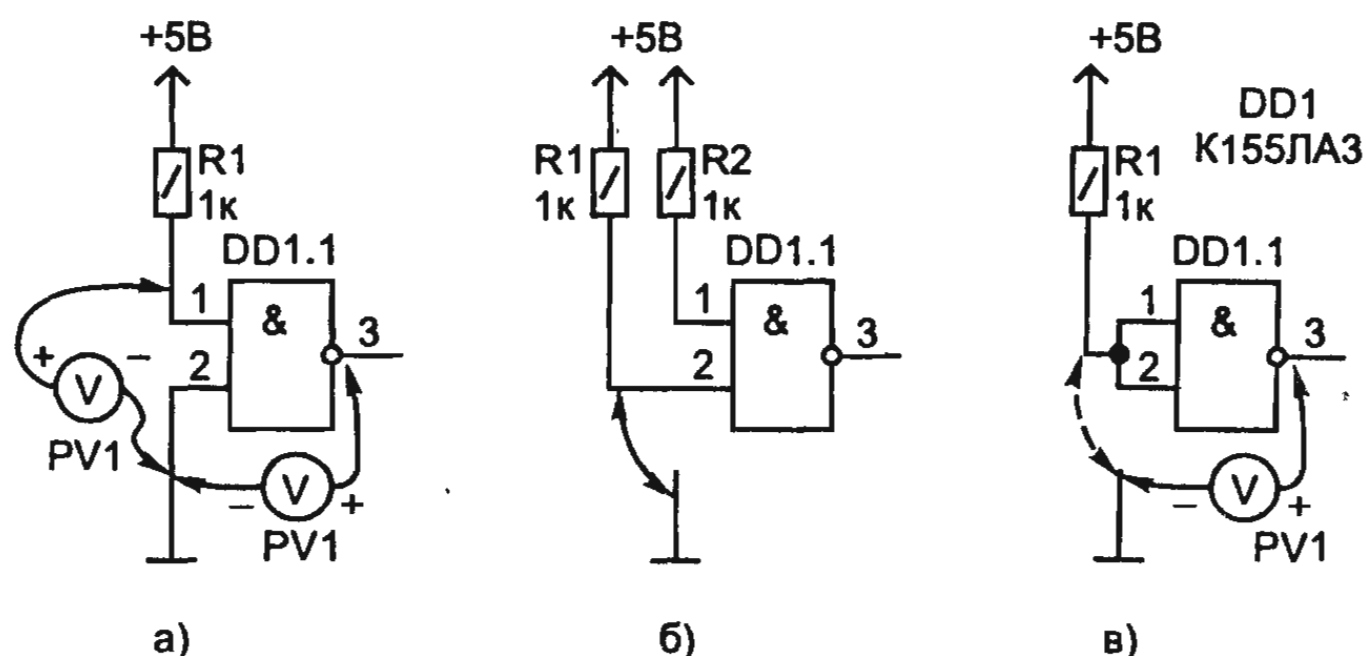


Рис. 7.10,а,б,в. Опытная проверка логики действия элемента 2И-НЕ (К155ЛА3)

1, 2, 4, 5, 9, 10, 12, 13, а затем выходных выводов 3, 6, 8, 11. При напряжении источника питания 5 В вольтметр должен показать на входных выводах элементов около 1,4 В, а на выходных — около 0,3 В. Если это не так, значит микросхема неисправна.

Опытную проверку логики действия элементов 2И-НЕ микросхемы можно начать с любого из них, предположим, с первого — DD1.1 с выводами 1—3 (рис. 7.10). Сначала один из входных выводов, например вывод 2, соедините с общей минусовой линией, а вывод 1 — с плюсовой, но через резистор сопротивлением 11,5 кОм (на рис. 7.10,а — R1). К выходному выводу 3 элемента DD1.1 подключите вольтметр PV1. Вольтметр покажет напряжение, равное примерно 3,54 В, т. е. соответствующее высокому уровню.

Затем измерьте вольтметром напряжение на входном выводе 1, он также покажет высокий уровень напряжения. Отсюда вывод: когда на одном из входов элемента 2И-НЕ высокий уровень напряжения, а на другом низкий, на выходе будет высокий уровень напряжения.

Теперь и входной вывод 2 элемента соедините через резистор сопротивлением 11,5 кОм с плюсовой линией и одновременно проволочной перемычкой — с общей (рис. 7.10,б). Измерьте напряжение на выходном выводе. На нем, как и в предыдущем случае, будет высокий уровень напряжения. Следя за стрелкой авометра, удалите проволочную перемычку, чтобы и на втором входе элемента появился высокий уровень напряжения. На выходе элемента будет напряжение около 0,3 В, соответствующее низкому уровню. Следовательно, элемент из единичного состояния переключился в нулевое.

Той же проволочной перемычкой замкните первый вход на общую линию. На выходе при этом сразу появится высокий уровень напряжения. А если любой из входных выводов периодически замыкать на общую линию, как бы имитируя подачу на него напряжения низкого уровня, с такой же частотой следования на выходе элемента будут появляться электрические импульсы и будет колебаться стрелка вольтметра.

О чем говорят проведенные опыты? Они подтверждают логику действия элемента 2И-НЕ, проверенную ранее на его электрическом аналоге: при подаче напряжения высокого уровня на оба входа на выходе элемента появляется напряжение низкого уровня.

Еще один опыт: отключите оба входных вывода элемента от других деталей и проводников. На выходе будет низкий уровень напряжения. Так и должно быть, потому что неподключение входных выводов равнозначно подаче на них высокого уровня напряжения и, следовательно, установке элемента в нулевое состояние. *Не забывайте в будущем об этой особенности логических элементов ТТЛ микросхем!*

Следующий опыт — проверка действия того же логического элемента 2И-НЕ при включении его инвертором, т. е. как элемент НЕ. Замкните между собой оба входных вывода и через резистор сопротивлением 11,5 кОм соедините их с плюсовой линией питания (рис. 7.10,в). Вольтметр покажет низкий уровень напряжения. Не отключая резистора от этой линии, замкните объединенный вход на минусовую линию (показано штриховыми стрелками) и одновременно проследите за реакцией вольтметра. Он покажет высокий уровень напряжения. Таким образом, вы

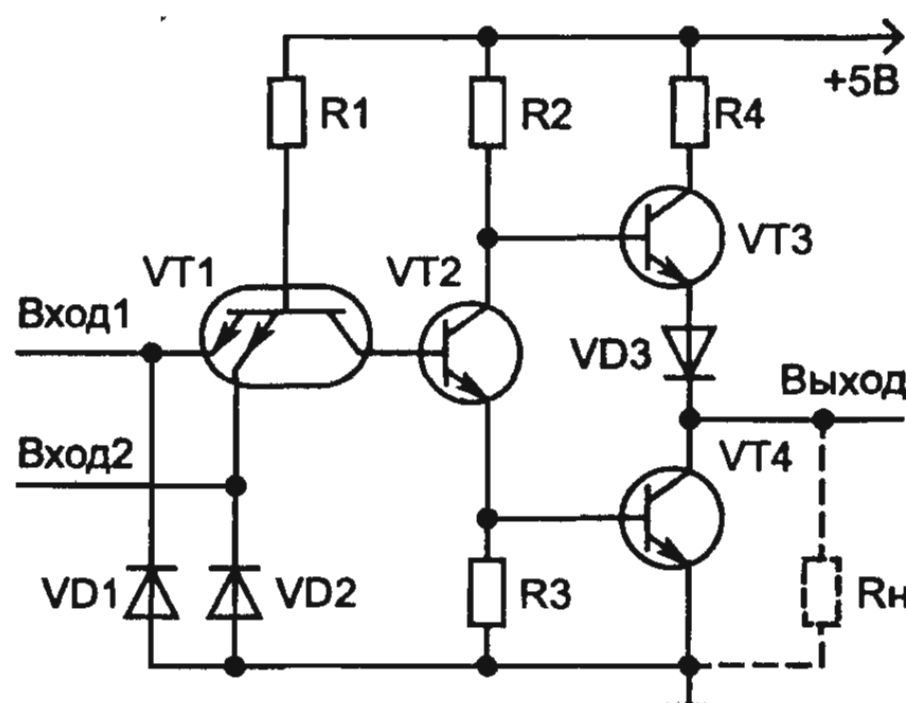


Рис. 7.11. Принципиальная схема логического элемента 2И-НЕ

убедитесь, что сигнал на выходе инвертора всегда противоположен входному.

Теперь давайте рассмотрим принципиальную электрическую схему логического элемента 2И-НЕ. Он состоит из четырех транзисторов структуры *n-p-n*, трех диодов и пяти резисторов (рис. 7.11). Связь между транзисторами непосредственная. Резистор R_n , показанный штриховыми линиями, символизирует нагрузку, подключенную к выходу элемента. Подобные электронные устройства цифровой техники называют микросхемами транзисторно-транзисторной логики, или сокращенно ТТЛ. В этом отражен тот факт, что входные логические операции (или, как часто говорят — входную логику) выполняет многоэмиттерный транзистор (первая буква Т), усиление и инверсию сигнала — тоже транзисторы (вторая буква Т).

Входной транзистор VT1, включенный по схеме с общей базой, — двухэмиттерный. Причем эмиттеры соединены с общим проводом питания через диоды VD1, VD2 — они защищают транзистор от случайного попадания на эмиттеры напряжения отрицательной полярности. Транзистор VT2 образует усилитель с двумя нагрузками: эмиттерной (резистор R3) и коллекторной (резистор R2). Снимаемые с них противофазные сигналы (противоположные по уровню: если на коллекторе высокий уровень напряжения, на эмиттере — низкий) поступают на базы выходных транзисторов VT3 и VT4. Таким образом, выходные транзисторы во время работы всегда находятся в противоположных состояниях — один закрыт, а второй в это время открыт. Этому способствует и диод VD3.

При наличии на одном или обоих входах элемента напряжения низкого уровня (например, при соединении их с общим проводом) транзистор VT1 будет открыт и насыщен, транзисторы VT2 и VT4 закрыты, а транзистор VT3 открыт и через него, диод VD3 и нагрузку R_n течет ток — элемент в единичном состоянии. В том же случае, когда на оба входа будет подан высокий уровень напряжения, транзистор VT1 закроется, а транзисторы VT2 и VT4 откроются и тем самым закроют транзистор VT3. При этом ток через нагрузку практически прекратится, так как элемент примет нулевое состояние.

Низкий уровень напряжения на выходе логического элемента равен напряжению на коллекторе открытого транзистора VT4 и не превышает 0,4 В. Высокий же уровень напряжения на выходе логического элемента (когда транзистор VT4 закрыт) меньше напря-

жения источника питания на значение падения напряжения на транзисторе VT3 и диоде VD3 — не менее 2,4 В. Фактически же напряжение логических уровней низкого и высокого на выходе элемента зависит от сопротивления нагрузки и может несколько отличаться от указанного выше.

Переход элемента из единичного состояния в нулевое происходит скачкообразно при переходе его входного напряжения через значение около 1,2 В, называемое пороговым.

При монтаже аппаратуры для повышения устойчивости работы микросхем их свободные входы должны быть подключены к источнику питания микросхемы через резистор с сопротивлением 1 кОм. К одному резистору допускается подключение не более 20 свободных входов. Для защиты от низкочастотных помех — необходимо предусмотреть установку и подключение к шинам питания на плате оксидных конденсаторов (из расчета не менее 0,1 мкФ на один корпус микросхемы). Для защиты от высокочастотных помех — керамические конденсаторы (емкость не менее 2000 пФ на один корпус микросхемы). Рекомендуются размещать на площади печатной платы из расчета один конденсатор на группу не более десяти микросхем.

Следует запомнить несколько полезных советов:

- в тех случаях, когда требуется развязка между элементами схемы, то есть требуется обеспечить, чтобы одна часть схемы не влияла на работу другой части схемы, применяют развязывающий элемент (буфер). В качестве развязывающего элемента можно использовать логические элементы И или ИЛИ, объединив (закоротив) их входы;
- в тех случаях, когда логические элементы И-НЕ, ИЛИ-НЕ в схеме не все использовались, их можно применить в качестве инверторов. Такой способ более удобен, нежели установка дополнительных интегральных микросхем с инверторами; иногда в схеме необходима всего одна операция инвертирования, тогда проще использовать в качестве инвертора транзистор.

7.3. КРАТКО О МИКРОСХЕМАХ СЕРИИ КМОП

Очень широко в радиолюбительской практике применяются микросхемы серии МОП и КМОП—К176, К561 и 564. Микросхемы К176 по принципу работы и конструктивному оформлению

аналогичны микросхемам серии К155. Так, например, микросхема К176ЛА7, как и микросхема К155ЛА3, содержит в своем корпусе четыре логических элемента 2И-НЕ. Но всегда следует помнить: *аналогичные по функциональному назначению микросхемы серий К176 и К155 не взаимозаменяемы!* Дело в том, что микросхемы серии К176 рассчитаны на номинальное напряжение питания $9\text{ В} \pm 5\%$, хотя и сохраняют работоспособность при напряжении в пределах 4,512 В. И напряжение логических уровней у них неодинаково. При напряжении питания 9 В напряжение низкого уровня, соответствующее логическому 0, не более 0,3 В (для микросхемы серии К155 — не более 0,4 В), а высокого уровня — не менее 8,2 В (для микросхемы К155 — не менее 2,4 В). Все это и некоторое другое не позволяют непосредственно подключать микросхемы серии К176 к микросхемам серии К155 и, следовательно, использовать их для совместной работы в одной конструкции.

Основное достоинство микросхем серии К176 — их экономичность. По сравнению с микросхемами серии К155 они потребляют от источника питания энергии во много раз меньше. Например, микросхема К176ИЕ2 — счетчик импульсов — потребляет от источника питания ток около 100 мкА, а ток, потребляемый микросхемой К155ИЕ2 (тоже счетчиком импульсов), достигает 50 мА. Объясняется это тем, что основой микросхемы серии К176 служат полевые транзисторы структуры МОП (металл-окисел-полупроводник), а не биполярные транзисторы, как в микросхемах ТТЛ. В связи с этим изменяется и уровень сигналов, подаваемых на управляющие входы микросхем.

Не следует забывать еще одну особенность микросхем серии К176: *на них губительно действуют электростатические заряды!*

Вот несколько советов, предупреждающих эти неприятности.

1. При хранении выводы микросхемы должны быть обернуты фольгой.

2. Чтобы исключить случайный пробой полевых транзисторов микросхемы статическим электричеством во время монтажа, статические потенциалы электропаяльника, паяемой детали и тела самого монтажника должны быть уравнены и сведены к минимуму.

3. Целесообразно паяльник подключать к сети через разделительный трансформатор, а металлическую пластину, закрепленную на ручке паяльника голым проводом, соединить с заземлением (металлическими трубами) через резистор сопротивлением 1 МОм. Мощность

паяльника должна быть в пределах 25...40 Вт. Время пайки каждого вывода не должно превышать 3 с.

4. Пайку микросхем серии К176 следует начинать с выводов питания, временно включив между проводами питания на плате резистор сопротивлением 1...2 кОм.

5. И еще одно предупреждение: напряжение питания устройства на микросхемах серии К176 необходимо включать до подачи на его вход управляющих сигналов.

УГО микросхемы К176ЛА7 показано на рис. 7.12. Оно отличается от микросхемы К155ЛА3 только нумерацией выводов двух средних (по схеме) логических элементов 2И-НЕ. Плюсовой провод источника питания соединяют с выводом 14, а минусовой — с выводом 7.

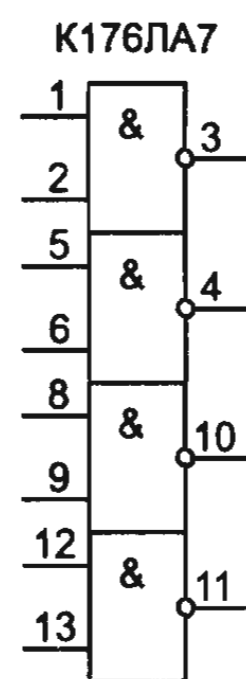


Рис. 7.12. УГО микросхемы К176ЛА7

7.4. ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

7.4.1. Автомат «бегущий огонь»

Предлагаемая на рис. 7.13 схема автомата «бегущий огонь» отличается от других ранее опубликованных схем простотой настройки и изготовления. В ней микросхема DD1 служит генератором, а DD2 — счетчиком с встроенным дешифратором. Скорость переключения светодиодов меняется при помощи переменного резистора R2. Для автомата «бегущий огонь» можно использовать любые светодиоды, например типа АЛ307. Резистор R3 можно не ставить, если используется питание меньше 12 В. Микросхема К561ИЕ8 это выдерживает.

Из автомата «бегущий огонь» можно получить игрушку «Казино», если пронумеровать светодиоды, расположить их по кругу и поставить тумблер S1. Для разделения на сектора можно использовать разноцветные светодиоды. Для дальнейшего упрощения схемы игрушки можно вместо генератора на микросхеме DD1 использовать антенну — кусок любого провода длиной 10...50 см (рис. 7.14). Игрушка работоспособна вблизи электропроводки, но при достаточной длине провода антенны функционирует практически везде в квартире.

Для маленьких детей, любящих играть с игрушечными автомобилями, неплохим подарком станет светофор, реализованный на

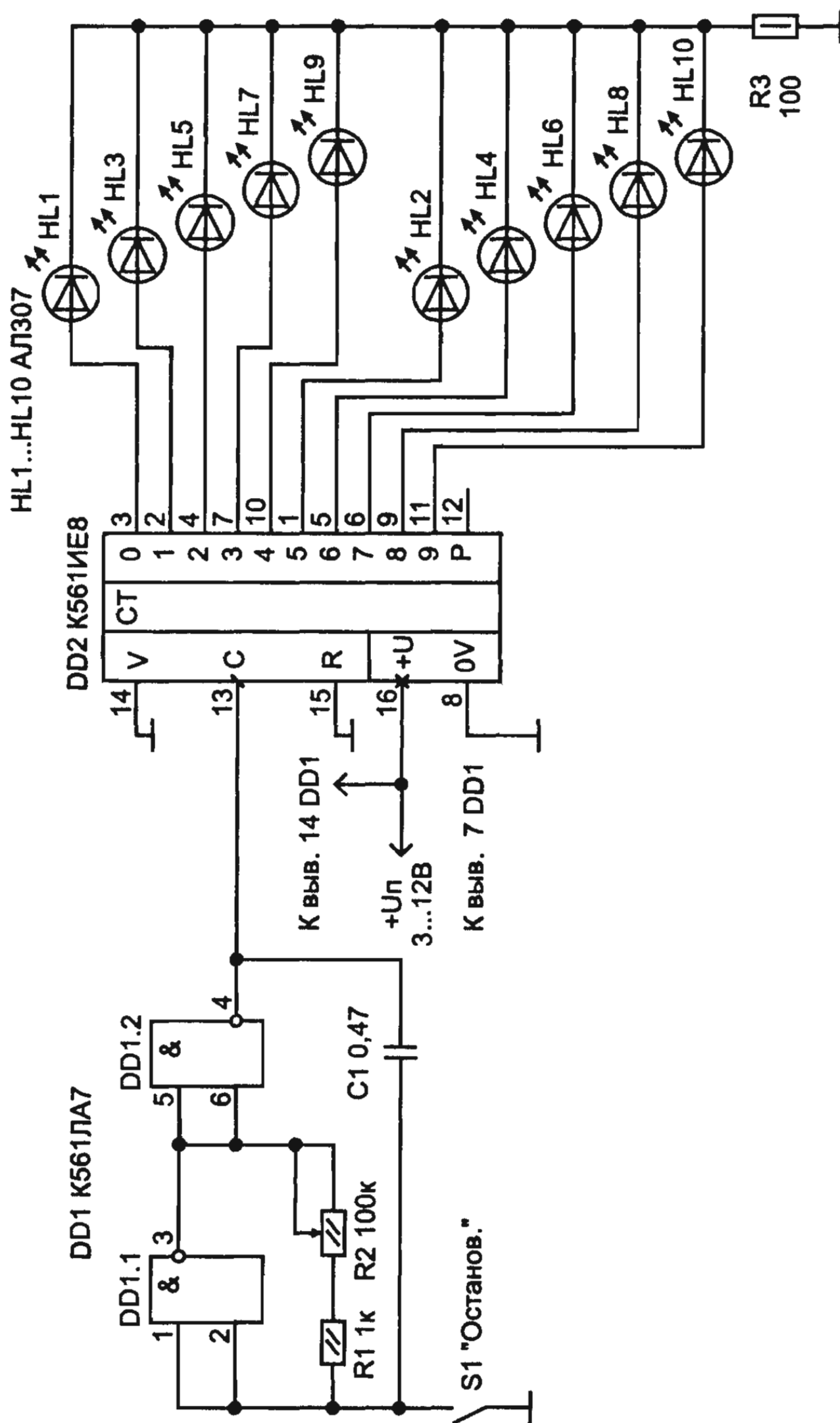


Рис. 7.13. Схема автомата «Бегущий огонь»

хорошо известной микросхеме К561ЛА7 (рис. 7.15). Помимо, прочего, эта игрушка несет в себе полезную воспитательную нагрузку — учит малышей обращать внимание на светофор в реальной жизни. Времязадающая цепь R2, C2 определяет частоту переключения зеленого и красного светодиодов, а цепь C1, R1 определяет время горения желтого светодиода.

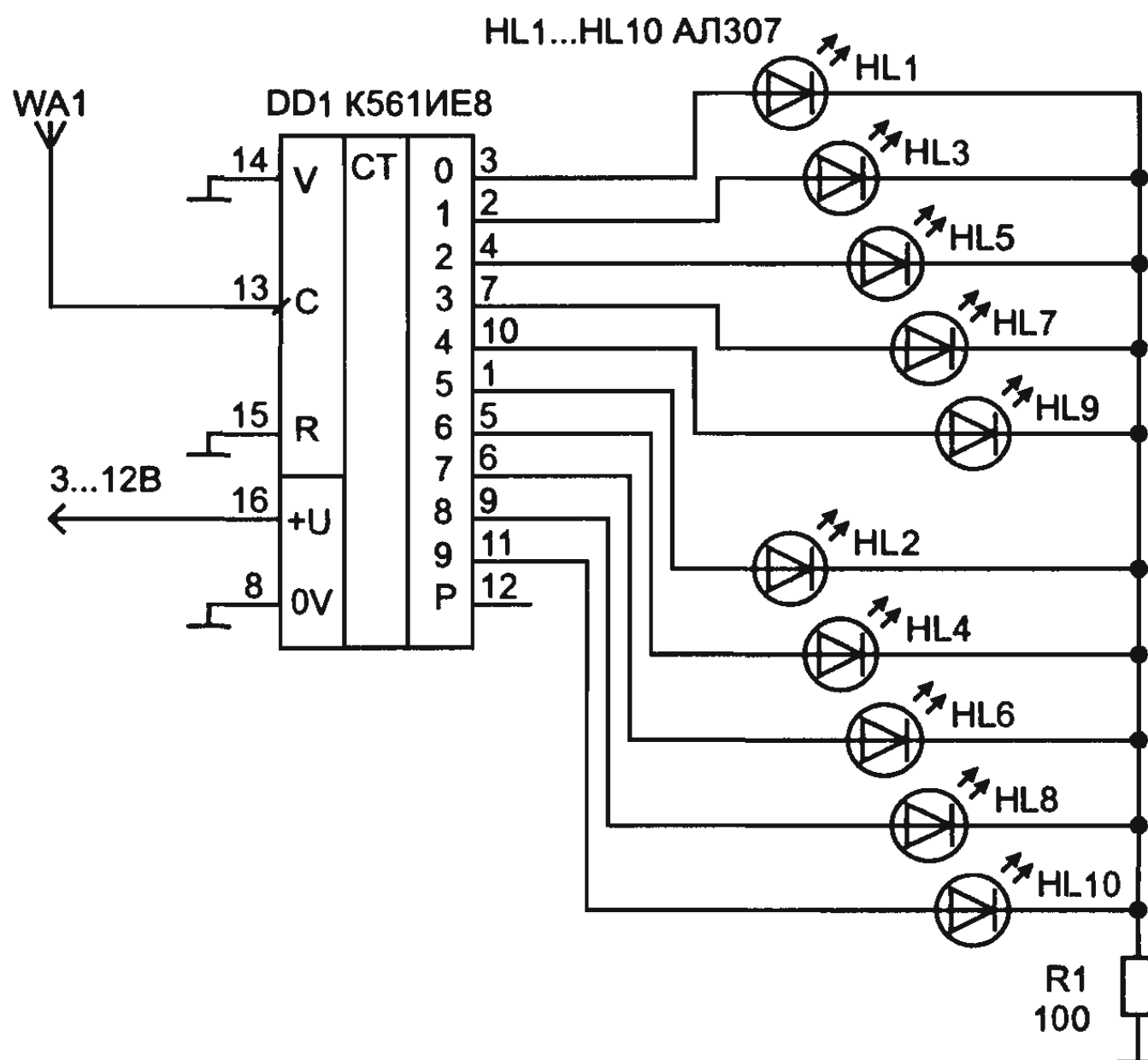


Рис. 7.14. Игрушка «Казино»

Попытка реализовать такой светофор на микросхеме К561ЛП2 не принесла успеха вследствие малой мощности выходных каскадов этой микросхемы. Зато на более современной микросхеме К1554ЛП5 светофор можно сделать с большим количеством светодиодов и, следовательно, более ярким, как показано на рис. 7.16.

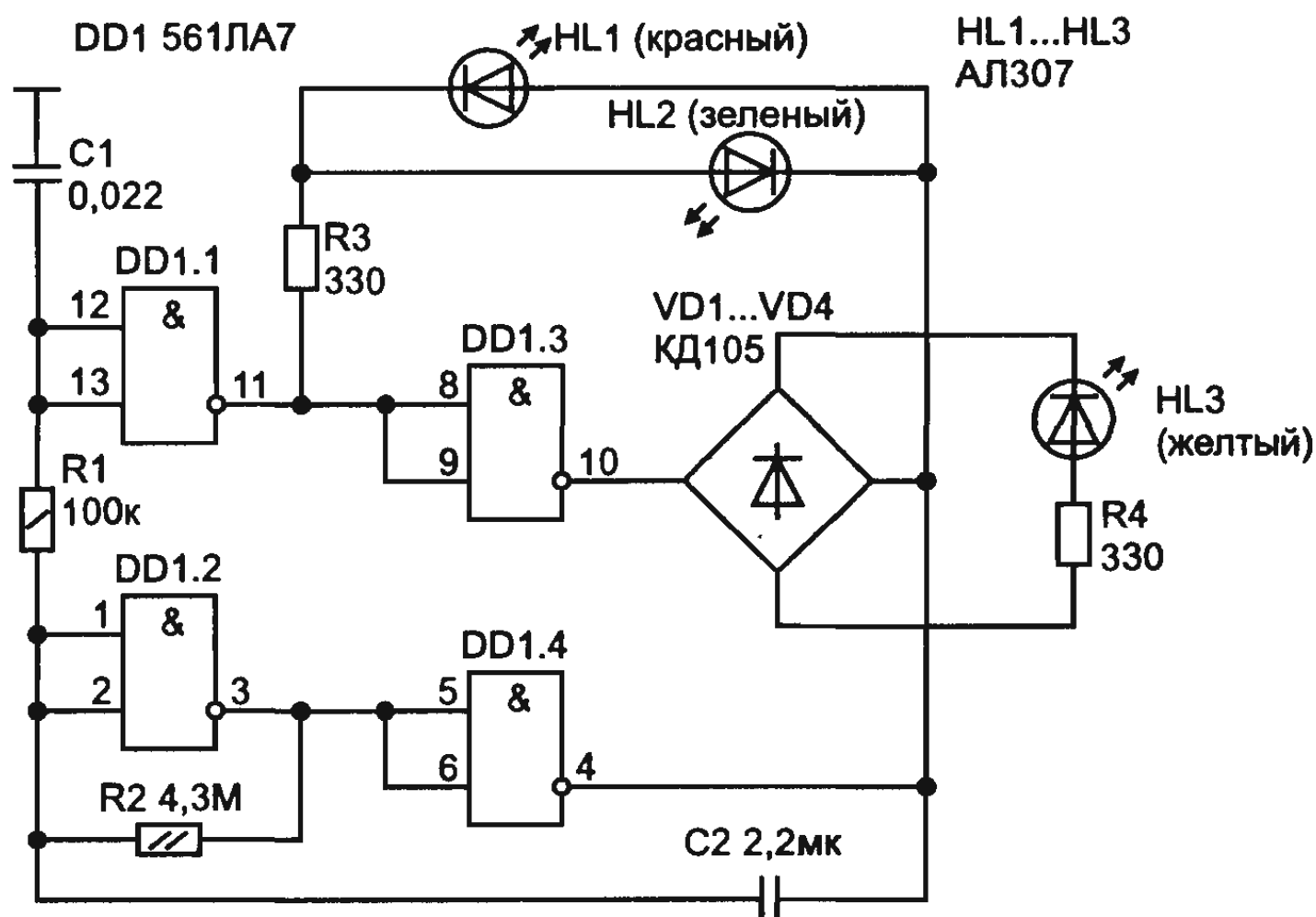


Рис. 7.15. Схема игрушки «Светофор» на микросхеме К561ЛА7

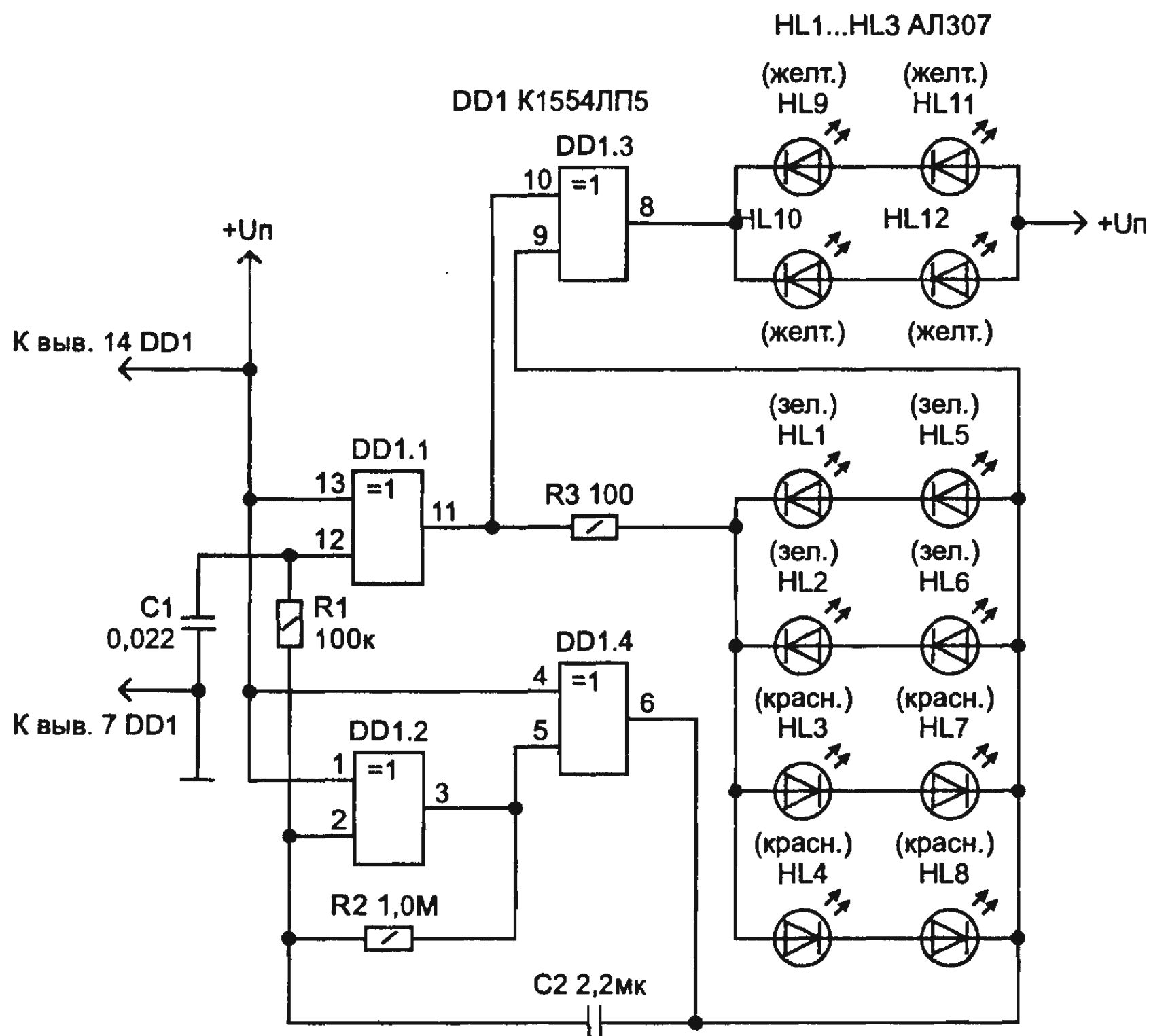


Рис. 7.16. Схема игрушки «Светофор» на микросхеме K1554LP5

7.4.2 Электронный мини-кегельбан [8]

Электронный вариант мини-кегельбана в одинаковой мере интересен как начинающим радиолюбителям, так и опытным. Устройство несложно в изготовлении и может быть выполнено в виде компактной конструкции, удобной для пользования в домашних условиях, при поездках за город. Не лишне будет предупредить юных радиолюбителей, чтобы они не приносили игру в школьные классы. Название игры выбрано условно, но оно отражает ее основные моменты. При бросании шара в настоящем кегельбане можно сбить все кегли или только часть их. В электронном варианте мини-кегельбана при нажатии и отпускании кнопки, имитирующей бросание «шара», будет высвечиваться различное число светодиодов, указывающее на число сбитых «кеглей».

Принципиальная схема устройства приведена на рис. 7.17. Ее реализация в практическую конструкцию не требует особых по-

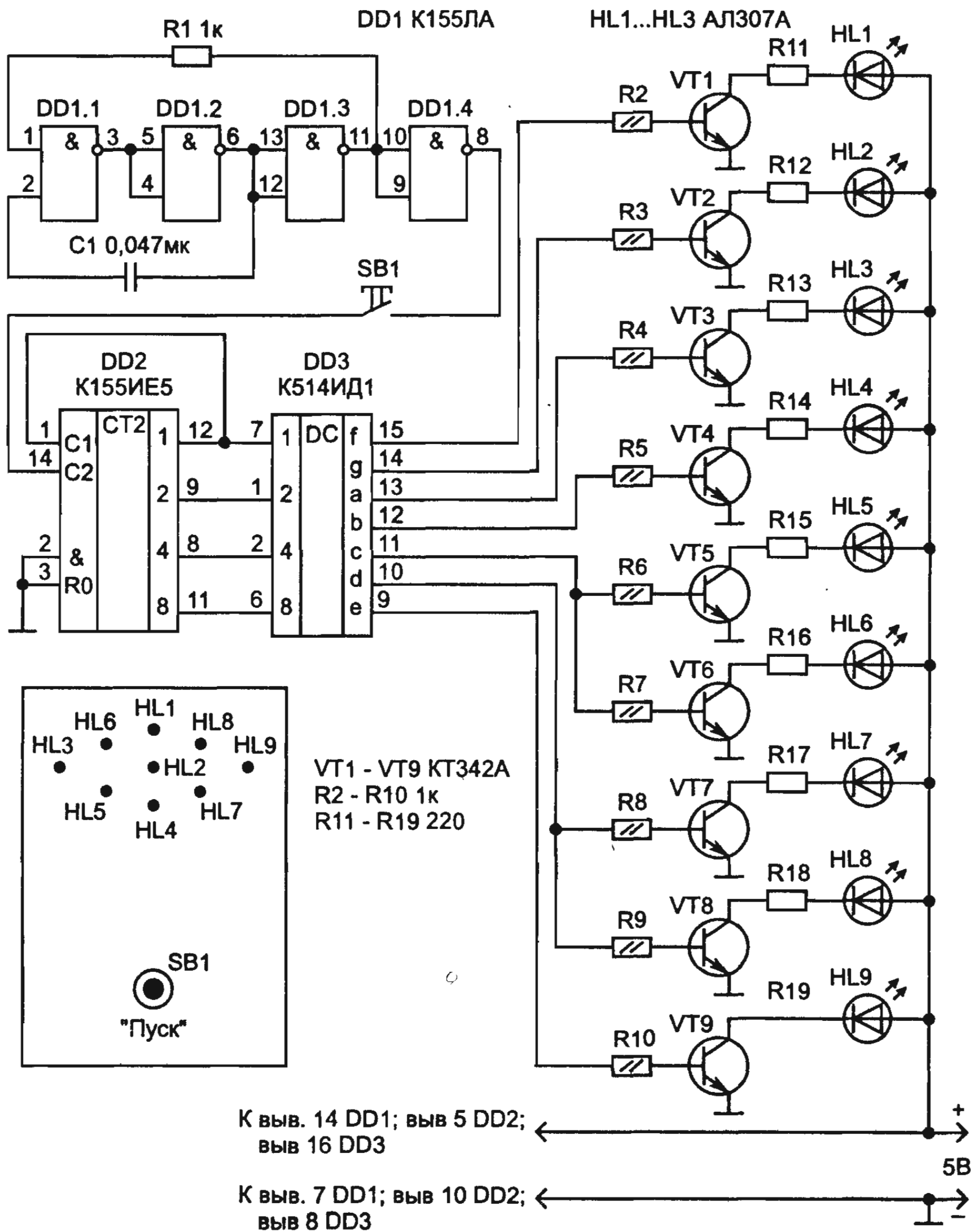


Рис. 7.17. Схема игрушки «Электронный миникегельбан»

знаний и дефицитных радиоэлементов — необходимы три широко распространенные цифровые микросхемы, по девять транзисторов и светодиодов, да еще несколько резисторов.

Четыре логических элемента микросхемы DD1 образуют генератор прямоугольных импульсов с частотой, определяемой элементами R1 и C1. С вывода 8 элемента DD1.4 сигнал через кнопку SB1 подают на микросхему DD2 — двоичный счетчик с выходом в

коде 1-2-4-8. При отпускании кнопки SB1 счетчик запоминает состояние, которое было при приходе последнего импульса от генератора.

Микросхема DD3 (в своей основе дешифратор семисегментного светодиодного индикатора) управляет работой дискретных светодиодных индикаторов HL1— HL9 через буферные транзисторы VT1—VT9. На выходе микросхемы DD3 к выводам 10 и 11 подключены по паре цепей индикации. Таким образом возможны 16 состояний элементов индикации, которые отображают различные варианты попаданий при бросании шара в кегельбане.

На игровом поле корпуса устройства располагают кнопку SB1, нажатие на которую имитирует бросание шара, и девять светодиодов (кегли), размещенных в соответствии с рисунком в левой части.

Питание устройства осуществляется от стабилизированного источника тока с напряжением 5 В, но устройство сохраняет работоспособность и при питании от батареи с напряжением 4,5 В.

Примечание: в устройстве можно применить отечественные микросхемы К155ЛА3 (DD1), К155ИЕ5 (DD2), К514ИД1 (DD3), транзисторы КТ342А и светодиоды АЛ307А. При выполнении конструкции с автономным питанием следует применить батарею типа 3336.

7.4.3. Ультразвук против грызунов [9]

Различные устройства, излучающие ультразвук, уже пытались применять для отпугивания комаров, москитов, мокрецов и других кровососущих насекомых. К сожалению, они не всегда оказывались действенными. Об этом, в частности, уже сообщалось. И дело, вероятно, вовсе не в том, что ультразвук в принципе не эффективен, а в том, что известные звукоизлучающие устройства обычно работают лишь на одной, строго фиксированной частоте. Поясним это. Представьте себе, что вместо ультразвука устройство излучает звуковые колебания, а объект «отпугивания» — сам человек. Тогда постоянно звучащий тон, хотя и надоедлив, но вполне терпим. Иное дело, если тон переменный, например, звук двух- или трехтональной сирены либо сирены с периодически изменяющейся частотой. Воздействие таких источников звука на животных, не говоря уже о человеке, неизмеримо сильнее. Эффективность возрастает, если частота модуляции звуковых коле-

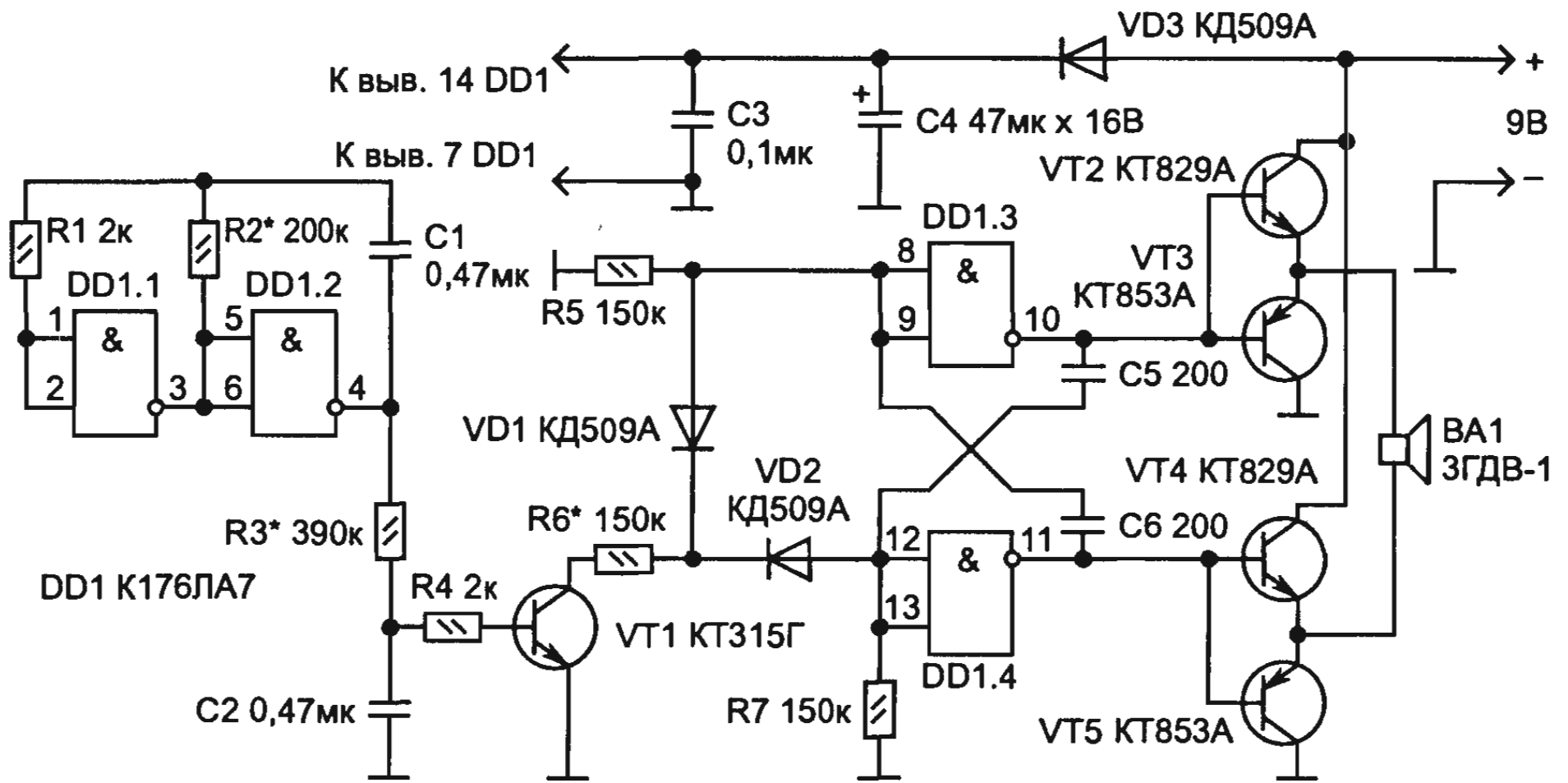


Рис. 7.18. Схема устройства против грызунов

баний совпадает с частотой некоторых жизненно важных биоритмов. Подобные сирены способны вызвать даже у диких животных чувство тревоги, испуга и страха. Вероятно, ультразвуковые излучатели отпугивающих устройств тоже должны воспроизводить колебания не постоянной, а каким-то образом промодулированной частоты. Поскольку на человека сильнее воздействует звук переменной высоты, то, видимо, на животных более эффективно будет влиять именно частотная модуляция ультразвука. По такому принципу, кстати, работает появившееся в продаже устройство «Сирена», предназначенное для отпугивания мышей, крыс, полевков и других грызунов. Предлагаемое устройство (рис. 7.18) представляет собой ультразвуковой генератор, частота колебаний которого промодулирована инфразвуковыми колебаниями частотой 6...9 Гц. Генератор инфразвуковой частоты образуют элементы DD1.1, DD1.2, резисторы R1, R2 и конденсатор C1. Цепочка из резисторов R3, R4, R6, конденсатора C2, диодов VD1, VD2 и транзистора VT1 предназначена для периодического «увода» частоты ультразвукового генератора — симметричного мультивибратора, собранного на элементах DD1.3, DD1.4, резисторах R5, R7 и конденсаторах C5, C6. Его частота периодически, с частотой 6...9 Гц, изменяется от 25 до 50 кГц. Транзисторы VT2—VT5, каждый из которых включен эмиттерным повторителем, образуют двухтактный мостовой усилитель, нагрузкой которого служит динамическая головка BA1 — она излучает ульт-

развук с частотной модуляцией. Диод VD3 и конденсаторы C3, C4 — это фильтр в цепи питания микросхемы DD1. Диод VD3, кроме того, предохраняет микросхему от выхода из строя в случае ошибочной полярности включения источника питания всего устройства.

Каков принцип работы ультразвуковой сирены? Если, допустим, эмиттерный переход транзистора VT1 замкнуть проволочной перемычкой, он будет постоянно закрыт, поэтому диоды VD1 и VD2 тоже будут закрыты, а ультразвуковой генератор станет работать с постоянной частотой около 25 кГц. Поскольку номиналы резисторов R5, R7 и конденсаторов C5, C6, входящих в мульти-вibrator, равны между собой, этот генератор формирует строго симметричные прямоугольные импульсы, обеспечивающие головке BA1 работу без «перекоса». Это — низшая частота работы устройства. Если теперь верхний (по схеме) вывод резистора R3 переключить на плюсовой проводник источника питания, а перемычку с эмиттерного перехода транзистора VT1 удалить, то транзистор постоянно будет в открытом состоянии. В этом случае диоды VD1 и VD2 станут поочередно открываться с частотой 50 кГц — удвоенной частотой ультразвукового генератора, являющейся высшей частотой устройства.

В целом же устройство работает следующим образом. Когда сигнал низкого уровня на выходе элемента DD1.2 скачком сменяется высоким, примерно в течение 30 мс частота ультразвукового генератора изменяется (за счет плавного открывания транзистора VT1) с 25 до 50 кГц, после чего в течение 35 мс остается равной 50 кГц. Затем, когда сигнал высокого уровня на том же выходе элемента DD1.2 снова сменяется низким, генератор в течение 30 мс уменьшает свою частоту (из-за плавного закрывания транзистора VT1) с 50 до 25 кГц, после чего 35 мс формирует импульсную последовательность низшей частоты. Далее работа устройства циклически повторяется. Частоту инфразвукового генератора можно изменять подборкой резистора R2, время нарастания и спада частоты ультразвукового генератора — подборкой резистора R3, а значение высшей частоты устройства — резистора R6. При необходимости изменения низшей частоты (обычно в сторону ее уменьшения вплоть до 20 кГц) одновременно подбирают резисторы R5 и R7, соблюдая при этом равенство их номиналов. Чтобы оценить на слух работу такого «беззвучного» устройства, частоту ультразвукового генератора придется уменьшить.

7.4.4. Комбинированный бета-гамма радиометр [10]

Радиометры предназначены, как правило, для регистрации гамма-излучения — несомненно опасного, но далеко не единственного спутника радиоактивного загрязнения местности. К числу биологически опасных видов излучений и частиц можно отнести рентгеновские, гамма-излучения, бета-частицы (электроны, позитроны), протоны, нейтроны, альфа-частицы, продукты деления, «горячие» частицы и т. д.

Радиометр (рис. 7.19) позволяет одновременно контролировать гамма- и бета-излучения и состоит из управляемых ключей DA1.1—DA1.4, звукового генератора DD1.1, DD1.2 и выходного каскада (схема ИЛИ-НЕ) на DD1.3. Индикация импульсов от бета- и гамма-счетчиков (BD1 и BD2) осуществляется отдельно — светодиодами VD1 и VD4, а также звуковым сигналом (580 и 830 Гц) через телефонный капсюль ТК-67 или пьезокерамический излучатель BF1. Чувствительность радиометра (порог срабатывания управляемых ключей, выполненных на микросхеме K561KT3) можно плавно регулировать потенциометром R5. Стабилитроны VD2, VD3 предназначены для защиты входных цепей ключевых элементов. Постоянная времени входных цепей (C_6R_6 ;

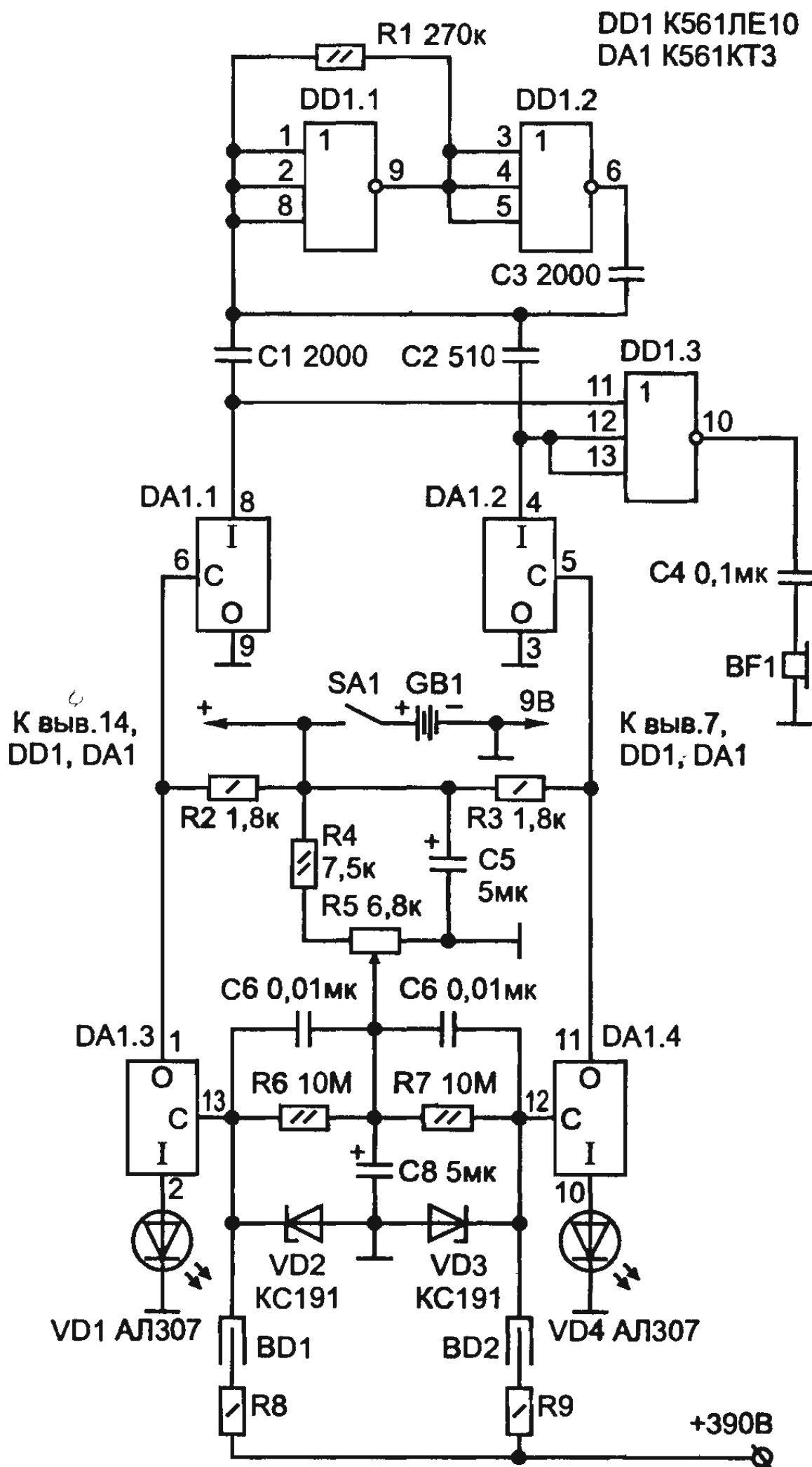


Рис. 7.19. Схема комбинированного бета-гамма радиометра

С7R7) определяет длительность импульсов звука и вспышек света. Потребляемый устройством ток не превышает единиц мА. Микросхемы DD1, DA1 можно заменить их аналогами из серий К164, К176, К564.

В качестве бета-счетчика, например VD1, можно использовать счетчики СТС-5, СТС-6, СБМ-10, СИ-9БГ; гамма-счетчика (VD2) — счетчики СИ-xx1, где xx — 11, 13, 19...22, 24, 25 и другие. Величина сопротивления резисторов R8 и R9 определяется по паспорту выбранного счетчика (обычно 1...20 МОм). При наладке устройства для имитации импульса от счетчика допускается подавать +9 В на катоды стабилитронов VD2, VD3. Высокое напряжение (390 В) для питания счетчиков можно получить от преобразователя напряжения для фотовспышек (с домотанной высоковольтной обмоткой), либо собрав преобразователь напряжения по одной из многочисленных известных схем соответствующего назначения. При использовании в качестве VD1, VD2 двух бета- или двух гамма-счетчиков, закрепленных на штанге на некотором удалении друг от друга, можно одновременно контролировать уровень радиации на поверхности почвы и на заданном удалении от нее. Число каналов регистрации можно увеличить. В этом случае при использовании поглощающих экранов различной толщины возможна оценка спектра излучения по энергиям. Поскольку бета-счетчики, как правило, чувствительны и к гамма-излучению, при измерениях необходимо делать соответствующую поправку. Калибровку радиометра желательно производить по эталонным бета- и гамма-источникам, либо промышленным радиометром.

7.4.5. Индикатор радиации

Измерить уровень радиационного излучения можно не только дорогостоящим прибором заводского изготовления. Простейшее устройство (рис. 7.20) по силам сделать и своими руками, если у вас есть счетчик (датчик излучения) типа СБМ-20. Питается оно от сети 220 В. На диодах VD1, VD2 и конденсаторах С1, С2 выполнен однополупериодный выпрямитель, собранный по схеме удвоения напряжения. Поскольку на конденсаторах С1, С2 формируется постоянное напряжение, примерно равное 310 В на каждом, общее напряжение выпрямителя составляет приблизительно 620 В. Однако фактически используются далеко не все 620 В. Дело в том, что резисторы R5 и R3 образуют делитель напряжения,

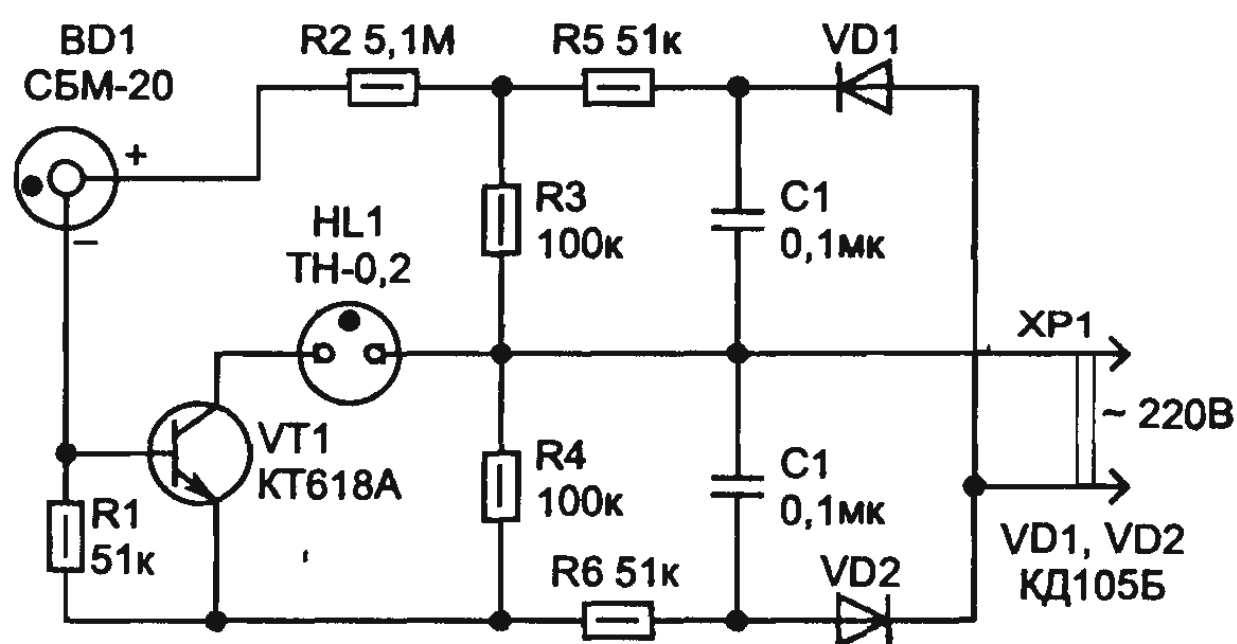


Рис. 7.20. Схема индикатора радиации

сформированного на конденсаторе $C1$, а резисторы $R6$ и $R4$ — на конденсаторе $C2$. Именно поэтому на резисторах $R3$ и $R4$ создается напряжение по 200 В. Таким образом, счетчик Гейгера-Мюллера $BD1$ (датчик излучения) питается напряжением 400 В, в то время как неоновая лампа $HL1$ (индикатор излучения) — всего 200 В. Последняя зажигается лишь при открытом транзисторе $VT1$, а открывается она, когда радиационное излучение ионизирует газ внутри датчика $BD1$. Резистор $R1$ способствует надежному закрытию транзистора $VT1$ при отсутствии радиационного излучения, а резистор $R2$ ограничивает базовый ток этого транзистора при наличии излучения.

Когда источника радиации поблизости нет, естественный радиационный фон вызывает в счетчике Гейгера-Мюллера в течение одной минуты 20...30 электрических импульсов. Следовательно, транзистор $VT1$ должен на короткое время открываться — индикаторная лампа $HL1$ вспыхивает через 2...3 секунды, правда, без строгой периодичности. При повышении уровня радиации вспышки лампы $HL1$ учащаются. Это можно проверить, поднося к счетчику обычную елочную игрушку, покрытую фосфором. Когда же уровень радиации очень высок, лампа $HL1$ горит непрерывно.

Чтобы не только видеть показания, но и слышать, последовательно с лампочкой $HL1$ включают электромагнитный капсюль (телефон). Его громкость вполне удовлетворительна, если сопротивление обмотки превышает 1 кОм.

Вместо счетчика типа СБМ-20 допустимы и другие, например СБМ-11, СБМ-21, СТС-20, СТС-5. Высоковольтный транзистор КТ618А взаимозаменяем с КТ605Б, КТ605БМ, КТ604Б или КТ940А, а диоды КД105Б — с КД105В, КД105Г, КД209А, КД209Б, КД209В. В качестве неоновой лампы взамен ТН-0,2 можно применить, скажем, ТН-0,3, ИНС-1, МН-5 или даже стартерную лам-

пу от люминесцентного светильника. Все резисторы здесь типа МЛТ-0,5 или ОМЛТ-0,5. Конденсаторы должны иметь номинальное напряжение не менее 400 В. Датчик излучения — счетчик Гейгера-Мюллера — следует прикрыть лишь тонкой пластинкой из пластмассы или пластиковой пленкой.

7.4.6. Звучащий брелок [11]

Сравнительно высокая чувствительность брелка достигается благодаря использованию в микрофонном усилителе транзистора с большим статическим коэффициентом передачи тока базы (КТ3102Е), а повышенная громкость «отклика» — применением пьезокерамического излучателя ЗП-1. В режиме «ожидания» работает лишь одна половина ЗП-1, а на «отклик» — обе (в это время на вторую половину излучателя подается напряжение с размахом, равным удвоенному напряжению источника питания). Недостатком же такого варианта исполнения устройства является менее красивый однотональный звук «отклика» (вместо прерывистого).

Источник питания — три аккумулятора Д-0,06, соединенные последовательно; ток потребления в режиме «ожидания» не превышает 115 мкА, в режиме «отклика» — 195 мкА.

Брелок (рис. 7.21) состоит из трех основных узлов: микрофонного усилителя на транзисторе VT1, одновибратора, собранного на элементах DD1.1, DD1.2 микросхемы К564ЛА7 (DD1), и генератора колебаний звуковой частоты на элементах DD1.3 и DD1.4 той же микросхемы. Функции микрофона и звукового излучателя выполняет пьезокерамический излучатель HA1.

В режиме ожидания на вход элемента DD1.1 через резистор R3 подается положительное напряжение источника питания GB1. На выходе элемента DD1.2 будет напряжение высокого уровня, кото-

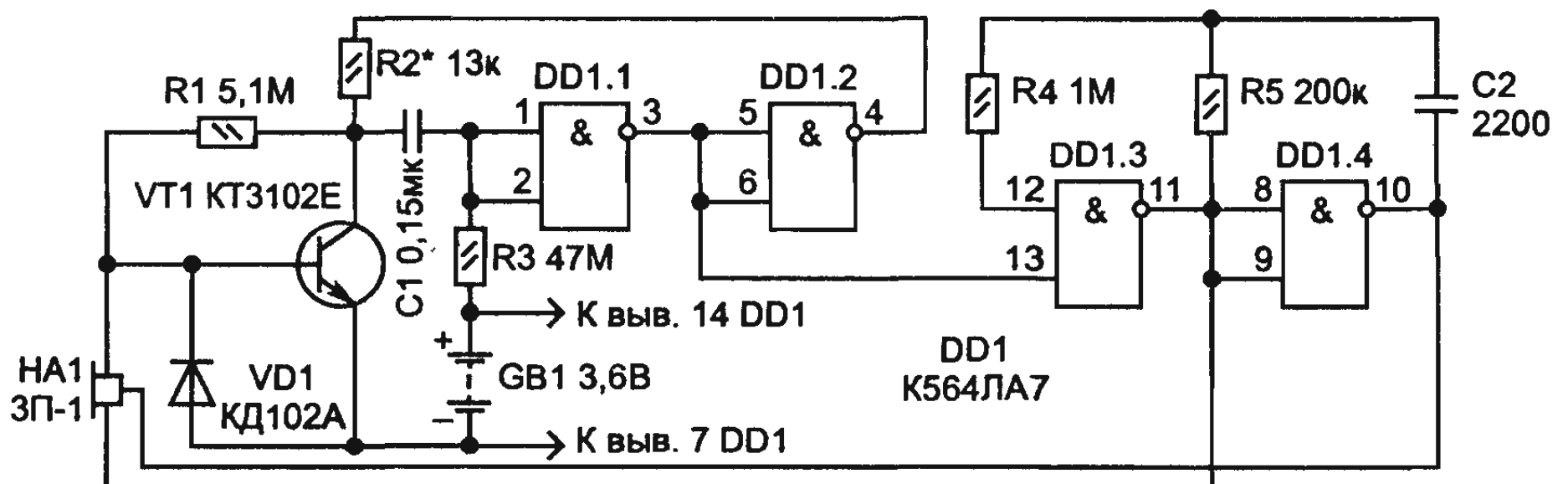


Рис. 7.21. Схема звучащего брелка

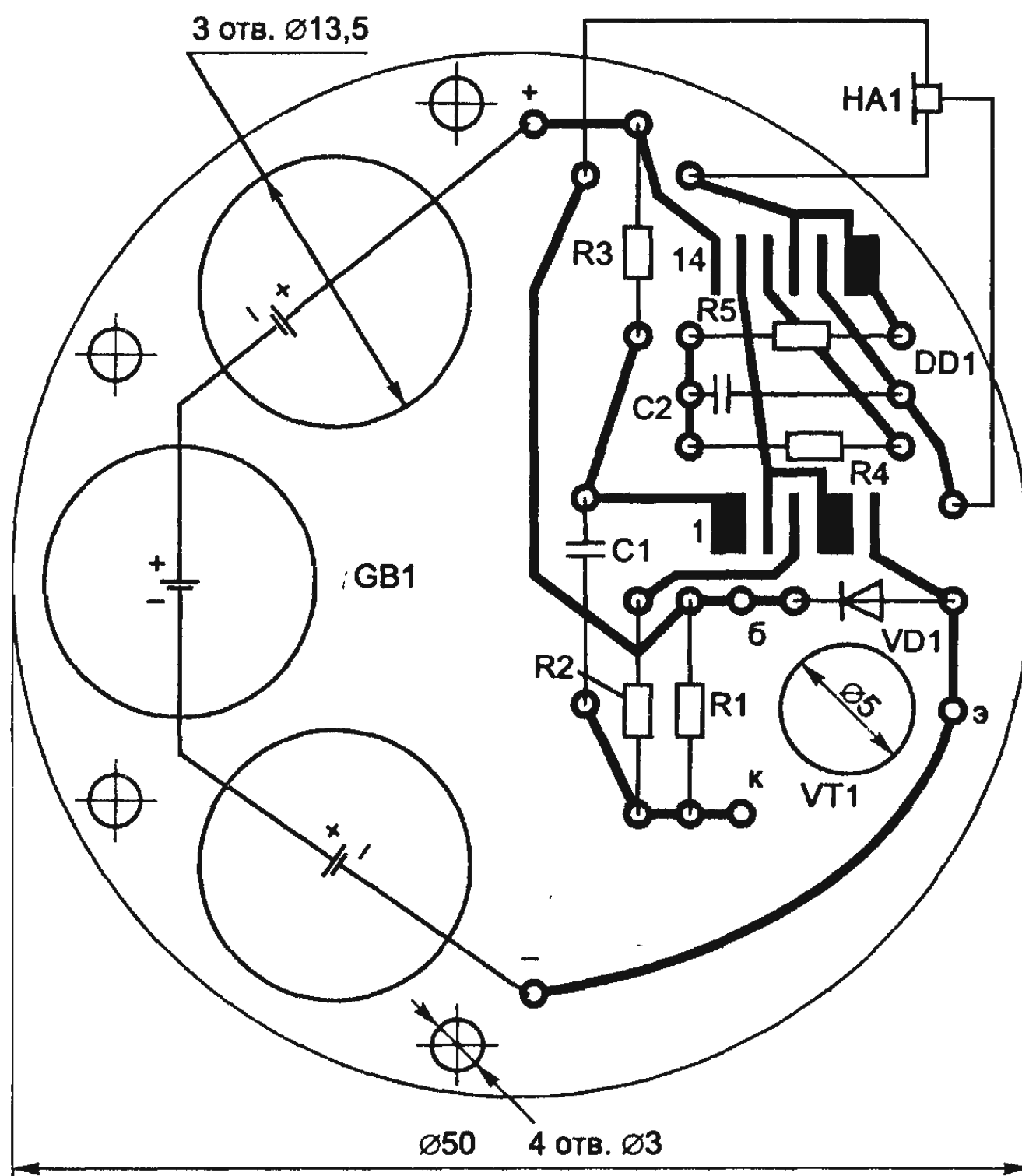


Рис. 7.22. Печатная плата звучащего брелка

рое через резистор R2 поступает на коллектор транзистора VT1 («включает» микрофонный усилитель). В это время конденсатор C1 практически разряжен (напряжение на нем близко к 0), а одновибратор находится в ждущем режиме. Напряжение низкого уровня, поступающее на вывод 13 элемента DD1.3 с выхода элемента DD1.1, запрещает работу звукового генератора. При этом на выходе элемента DD1.4 возникает сигнал низкого уровня, в результате чего излучатель верхней (по схеме) половиной оказывается подключенным к «общему» приводу.

Громкий хлопок в ладоши или свист излучатель ЗП-1 преобразует в напряжение звуковой частоты, первый же положительный полупериод которого открывает транзистор VT1. Появляющийся при этом спад напряжения на коллекторе транзистора воздействует через конденсатор C1 на входной элемент DD1.1 одновибратора. Срабатывая, одновибратор выходным (вывод 4 элемента DD1.2) напряжением низкого уровня отключает микрофонный усилитель, а сигналом высокого уровня, поступающим на вывод

13 элемента DD1.3 с выхода элемента DD1.1, разрешает работу звукового генератора — брелок переходит в режим отклика.

Работа на отклик длится до тех пор, пока напряжение на правой (по схеме) обкладке конденсатора С1 относительно минусового провода источника питания не достигнет высокого уровня. В этот момент элементы одновибратора переключаются в исходное состояние, и брелок снова переходит в режим ожидания. А так как нижняя (вторая) половина излучателя включена между входом и выходом элемента DD1.4, то и амплитуда колебаний звуковой частоты на ней в два раза больше, чем на первой. Следовательно, и громкость звучания этой половины больше.

Диод VD1 нужен для снятия постоянной составляющей с обкладок излучателя HA1. Все детали устройства можно смонтировать на печатной плате диаметром 50 мм (рис. 7.22), выполненной из фольгированного стеклотекстолита толщиной 1,5 мм. Аккумуляторы Д-0,06, вставленные в отверстия диаметром 13,5 мм, прижимаются к плате с помощью винтов М3 пластинами из жести, которые одновременно соединяют аккумуляторы последовательно в батарею. Корпус транзистора углубляют в отверстие диаметром 5 мм, а микросхему размещают и монтируют на плате со стороны печатных проводников. Брелок можно поместить как в металлический, так и в пластмассовый корпус. В данном варианте, например, корпусом служит пластмассовая «кастрюлька» и «конфорка газовой плиты» из «отработавших» свое детских игрушек. Вместо транзистора КТ3102Е можно применить аналогичные другие с коэффициентом передачи тока более 500, например, КТ3102Г, КТ342В, КТ373В. Микросхема DD1 может быть серии К561 или К176, если, конечно, позволяют габариты корпуса. Резисторы и конденсаторы — малогабаритные. Диод КД102А заменим любым из серий КД220, КД221, КД222. Налаживание сводится в основном к подбору резистора R2 таким образом, чтобы напряжение на коллекторе VT1 было равно примерно половине напряжения источника питания и брелок не самозапускался. Если это все же происходит, необходимо подобрать резистор R2 меньшего сопротивления. Иногда для устранения самозапуска бывает достаточно поменять местами подключение проволочных выводов излучателя ЗП-1. Но лучше, если каемка, идущая по его периметру, будет закреплена в корпусе жестко или через эластичную прокладку. Подбором конденсатора С1 и резистора R3 можно установить желаемую длительность звучания отклика, а подбором конденсатора С2 и резистора R5 — его тональность.

7.4.7. Переключатель гирлянд на светодиодах [12]

Простейшая гирлянда к небольшой елочке настольного типа может быть составлена из пар разноцветных светодиодов и подключена к автомату, собранному на двух микросхемах (рис. 7.23). На элементах DD1.1—DD1.3 выполнен задающий генератор, частота следования импульсов которого зависит от емкости конденсатора C1 и сопротивления резистора R1 и при указанных на схеме номиналах этих деталей составляет 5 Гц. С выхода генератора (вывод 8 микросхемы DD1) импульсы поступают на счетный вход счетчика DD2. С выходов счетчика сигналы в двоичном коде поступают на светодиоды HL1—HL16, заставляя их загораться и гаснуть в соответствии с последовательностью двоичного кода. По сути дела светодиоды являются индикаторами состояния счетчика. Светодиоды HL1, HL2 и HL9, HL10 работают в противофазе, т. е. когда на выходе 1 счетчика (вывод 3) уровень логического 0, горит вторая пара светодиодов, а когда появляется уровень логической 1, вспыхивает первая пара светодиодов, а вторая гаснет. Аналогично работают остальные пары светодиодов, создавая впечатление хаотичного мерцания.

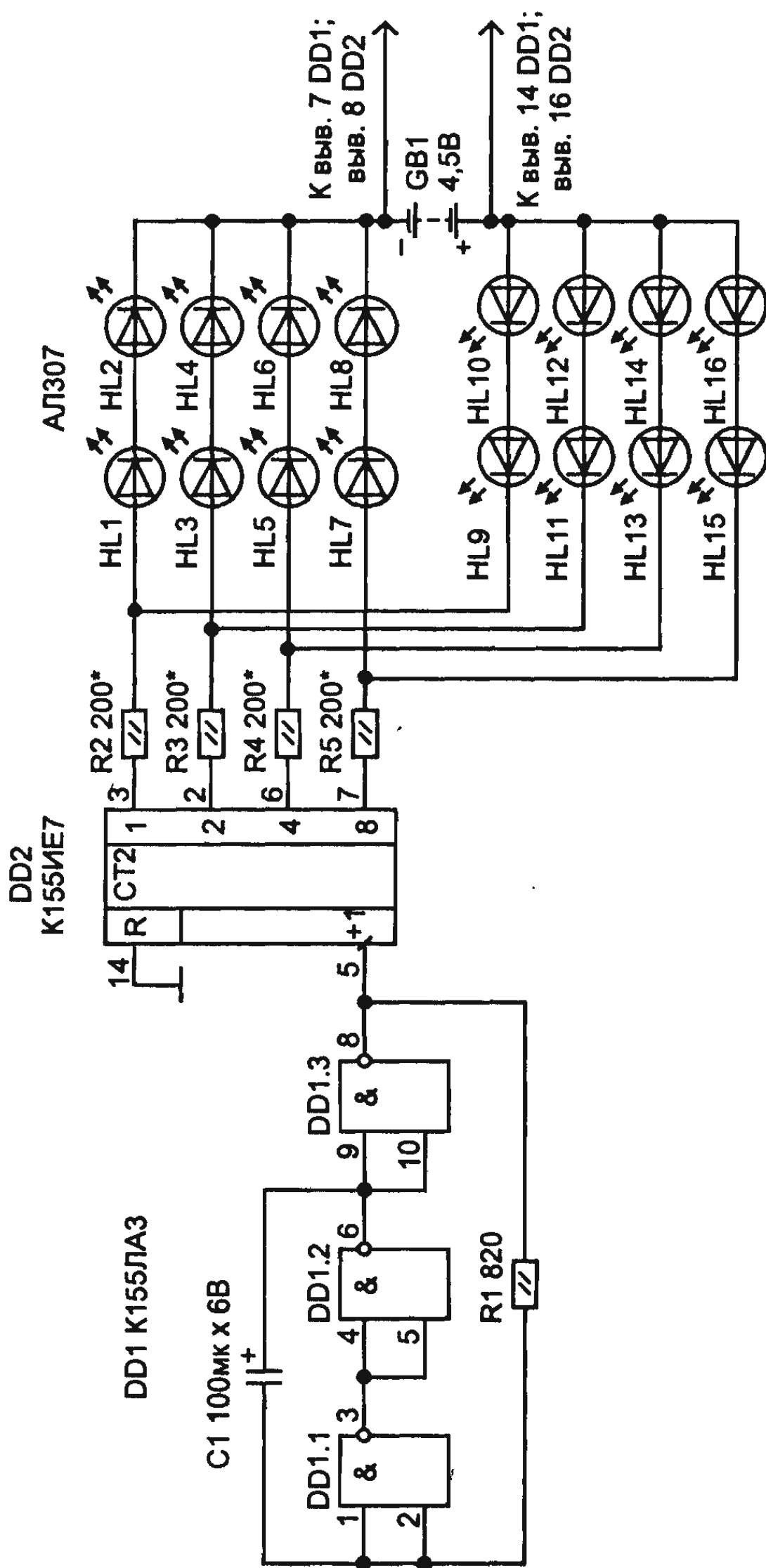


Рис. 7.23. Схема переключателя гирлянд на светодиодах

На месте DD1 может быть использована, кроме К155ЛА3, микросхема К155ЛН1 или К155ЛА4 при внесении соответствующих изменений в монтаж. Счетчик DD2 — К155ИЕ7 или К155ИЕ6, резисторы — МЛТ-0,125, оксидный конденсатор — К50-6. Светодиоды HL1-HL4, HL9-HL12 — АЛ307БМ (красные); HL5, HL6, HL13, HL14—АЛ307В (зеленые); HL7, HL8, HL15, HL16—АЛ307ЕМ (желтые). Возможны и другие сочетания светодиодов в зависимости от ваших запасов. Под используемые светодиоды подбирают резисторы R2—R5, учитывая, что прямой ток для АЛ307БМ и АЛ307ЕМ составляет 10 мА, а для АЛ307В — 20 мА. Питают автомат от любого источника постоянного тока (в том числе и сетевого блока питания) напряжением не ниже 4,5 В, рассчитанного на нагрузку током не менее 100 мА.

7.4.8. Светодинамическое устройство «бегущий огонь» [13]

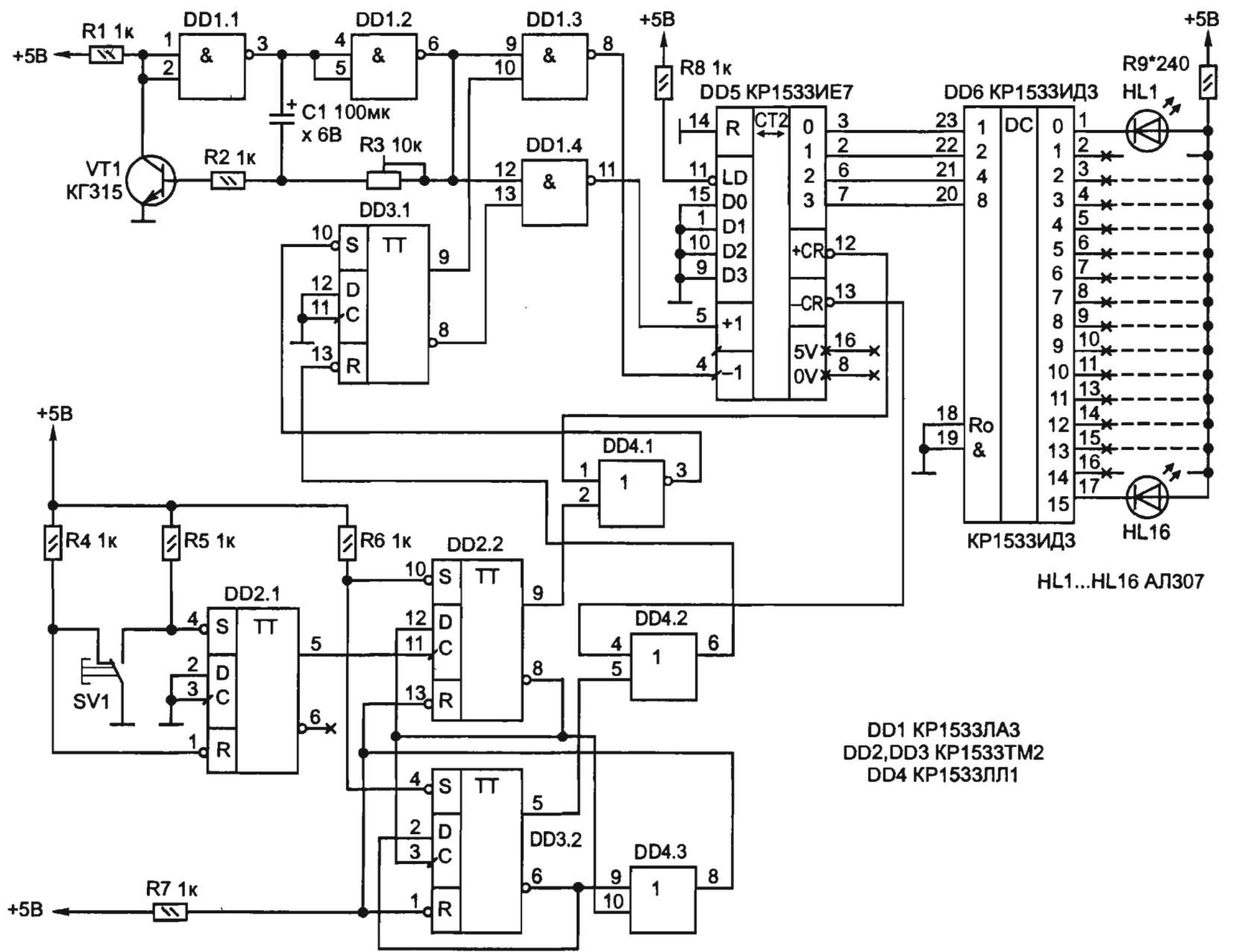
Предлагаемое светодинамическое устройство (рис. 7.24) предназначено для установки в салон автомобиля, либо в звуковоспроизводящую аппаратуру. Возможны и другие варианты реализации устройства. Схемы подобных устройств известны давно, но благодаря применению реверсивного счетчика удалось реализовать режим, обеспечивающий попеременное изменение направления переключения светодиодов. При этом режимы однонаправленного переключения светодиодов сохранены, что расширяет функциональные возможности устройства.

Выбор одного из трех режимов работы устройства осуществляется последовательными нажатиями кнопки SB1.

При включении устройства триггеры DD2.2 и DD3.2 устанавливаются в случайное состояние. Уровни с их прямых выходов определяют режим работы устройства. Генератор на элементах DD1.1, DD1.2 возбуждается на рабочей частоте порядка 10...20 Гц, которую при указанном номинале резистора R3 можно изменять начиная от 5 Гц. При использовании микросхемы К555ЛА3 резистор R1 из схемы устройства можно исключить.

Особенностью данного генератора, многократно описанного в литературе, является сохранение сравнительно большого периода колебаний при небольшой емкости конденсатора С1. Частоту колебаний можно изменять от 1 Гц, если установить резистор R3 но-

Рис. 7.24. Схема светодинамического устройства «Бегущий огонь»



миналом 82 кОм. Рассмотрим работу устройства в режиме двунаправленного переключения светодиодов.

В этом случае триггеры DD2.2 и DD3.2 находятся в нулевом состоянии, а триггер DD3.1 — в случайном. Предположим, триггер DD3.1 при подаче напряжения питания установился в нулевое состояние, тогда элемент DD1.4 «пропускает» импульсы на суммирующий вход счетчика DD5, состояния которого дешифруются микросхемой DD6 и отображаются светодиодами HL1...HL16. Так как счетчик DD5 работает в режиме сложения, при переполнении на его выходе переноса (вывод 12) возникает уровень логического нуля, который поступает на вход элемента ИЛИ DD4.1, а с его выхода воздействует на вход «S» триггера DD3.1, переводя его в единичное состояние. Теперь высокий уровень с прямого выхода триггера воздействует на вход элемента DD1.3, обеспечивая тем самым работу счетчика в режиме вычитания. При достижении нулевого состояния на 13-ом выводе счетчика DD5 формируется уровень логического нуля, который воздействует на вход элемента DD4.2, а с его выхода — на вход «R» триггера. Описанный процесс повторяется до момента нажатия кнопки SB1. При нажатии кнопки SB1 триггер DD2.2 устанавливается в единичное состояние, триггер DD3.2 состояние не меняет. В таком состоянии первый же импульс с выхода переполнения — вывода 13 счетчика, «пройдя» через элемент DD4.2, устанавливает триггер DD3.1 в нулевое состояние, которое сохраняется до следующего нажатия кнопки SB1. Светодиоды переключаются в одном направлении. При третьем нажатии кнопки SB1 триггеры DD2.2 и DD3.2 устанавливаются в единичное состояние. При этом уровни логического нуля с их инверсных выходов воздействуют на входы элемента DD4.3, уровень логического нуля с выхода которого устанавливает триггеры DD2.2 и DD3.2 в нулевое состояние, воздействуя на входы «R».

Работоспособность устройства сохраняется при снижении напряжения источника питания до 4 В, что немаловажно при питании устройства от аккумуляторов. При желании можно установить не 16, а 10 светодиодов, заменив счетчик К1533ИЕ7 на К1533ИЕ6, а дешифратор К1533ИД3 — на КК155ИД1.

7.4.9. Радиоприемник без катушек индуктивности [14]

Известно, что на входе радиоприемника ставят резонансный контур, служащий для выделения сигнала требуемой частоты и подавления сигналов других частот, мешающих радиоприему. Ос-

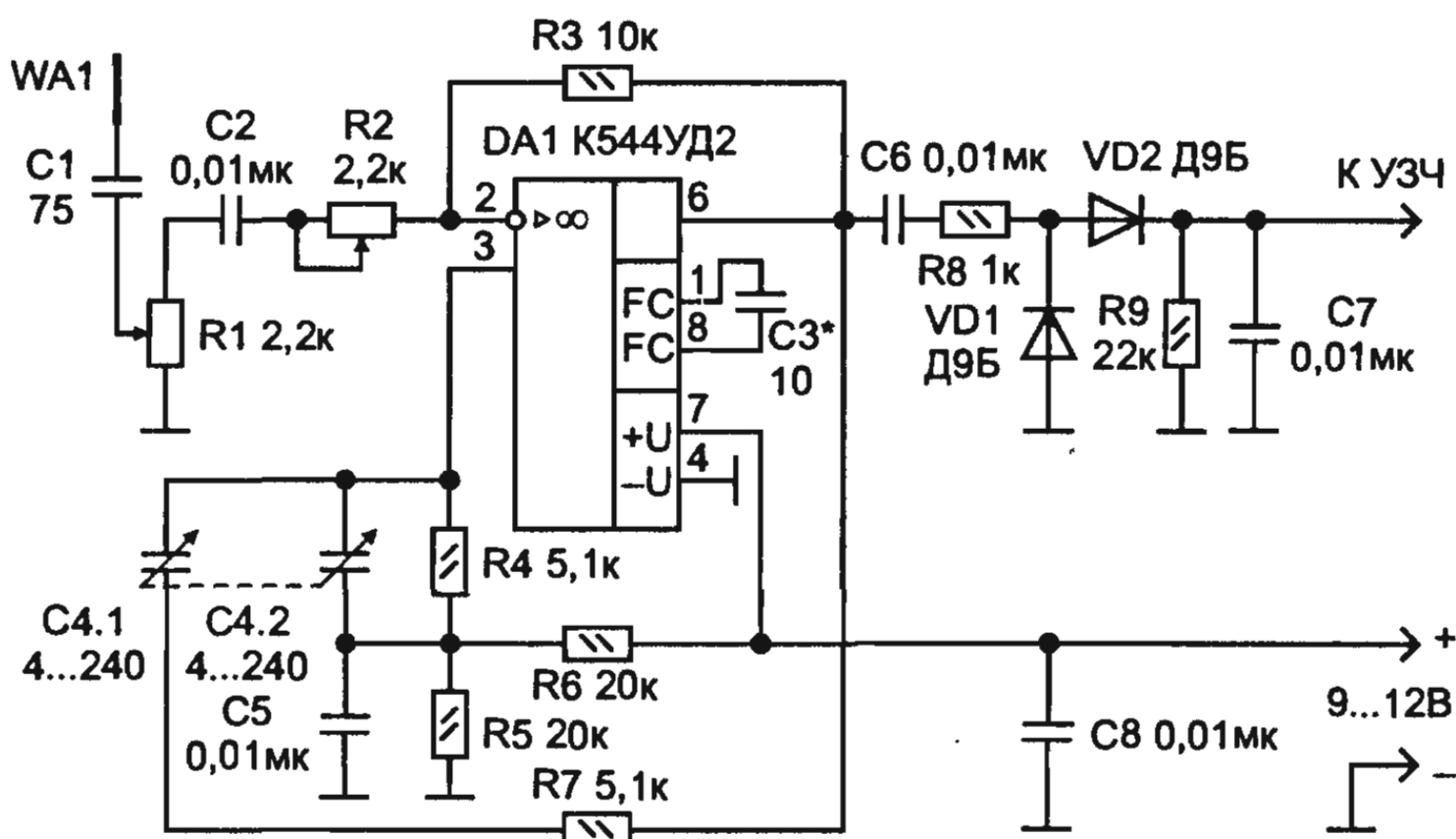


Рис. 7.25. Схема радиоприёмника без катушек индуктивности

новной элемент такого контура — катушка индуктивности, с намоткой которой у начинающего радиолюбителя нередко возникают проблемы.

Однако можно вообще обойтись без катушки индуктивности, если использовать во входных цепях приемника активные фильтры на операционном усилителе (ОУ) и RC-цепи. Но в этом случае вместо магнитной антенны придется применять простейшую электрическую антенну — отрезок провода длиной 0,7...1,5 м. Пользоваться же таким приемником можно только для приема наиболее мощных отдаленных и местных радиостанций СВ и ДВ диапазонов.

Схему радиочастотного тракта такого варианта приемника — без катушек индуктивности — вы видите на рис. 7.25. Он представляет собой усилительный каскад на операционном усилителе, охваченный отрицательной и положительной обратной связью. Цепь отрицательной обратной связи (ООС) образуют делитель напряжения $R3R2R1$, а цепь положительной обратной связи (ПОС) — так называемый мост Вина, в который входят резисторы $R7, R6$ и блок конденсаторов переменной емкости (КПЕ) $C4$. Если глубина обратной связи через мост Вина больше, чем через делитель напряжения $R3R2R1$, то каскад возбуждается и становится генератором электрических колебаний. А если наоборот, то каскад станет работать как селективный (избирательный) усилитель и обеспечивать максимальное усиление на частоте, определяемой параметрами моста Вина. Чем ближе режим работы каскада к порогу генерации, тем больше его усиление и уже частотная полоса пропускания.

На сигналы радиостанций приемник настраивают блоком КПЕ С4. Усиленный радиочастотный сигнал, снимаемый с выхода операционного усилителя (вывод 6), детектируется диодами VD1 и VD2, включенными по схеме удвоения напряжения, фильтруется конденсатором С7 и далее подается на вход УЗЧ для последующего усиления и преобразования в звук. Полосу пропускания радиочастотного тракта регулируют резистором R2, а чувствительность — резистором R1.

Такое устройство, смонтированное на плате размерами 60×50 мм (рис. 7.26), можно использовать в виде приставки к радиоаппарату, в котором есть УЗЧ, например, к магнитофону, электрофону.

Операционный усилитель DA1 может быть К544УД2А, К544УД2Б, К140УД11, К574УД1, блок КПЕ С4 — любой малогабаритный с максимальной емкостью секций 200300 пФ. Конденсаторы постоянной емкости — КЛС, КМ; диоды VD1 и VD2 — любые детекторные или импульсные, лучше германиевые. Резисторы R1 и R2 — СПЗ-3, СПО, остальные — ВС, МЛТ.

Налаживание проводят в такой последовательности: к выходу детекторного каскада подключить головные телефоны. Движок резистора R1 установить в среднее положение, резистора R2 — в

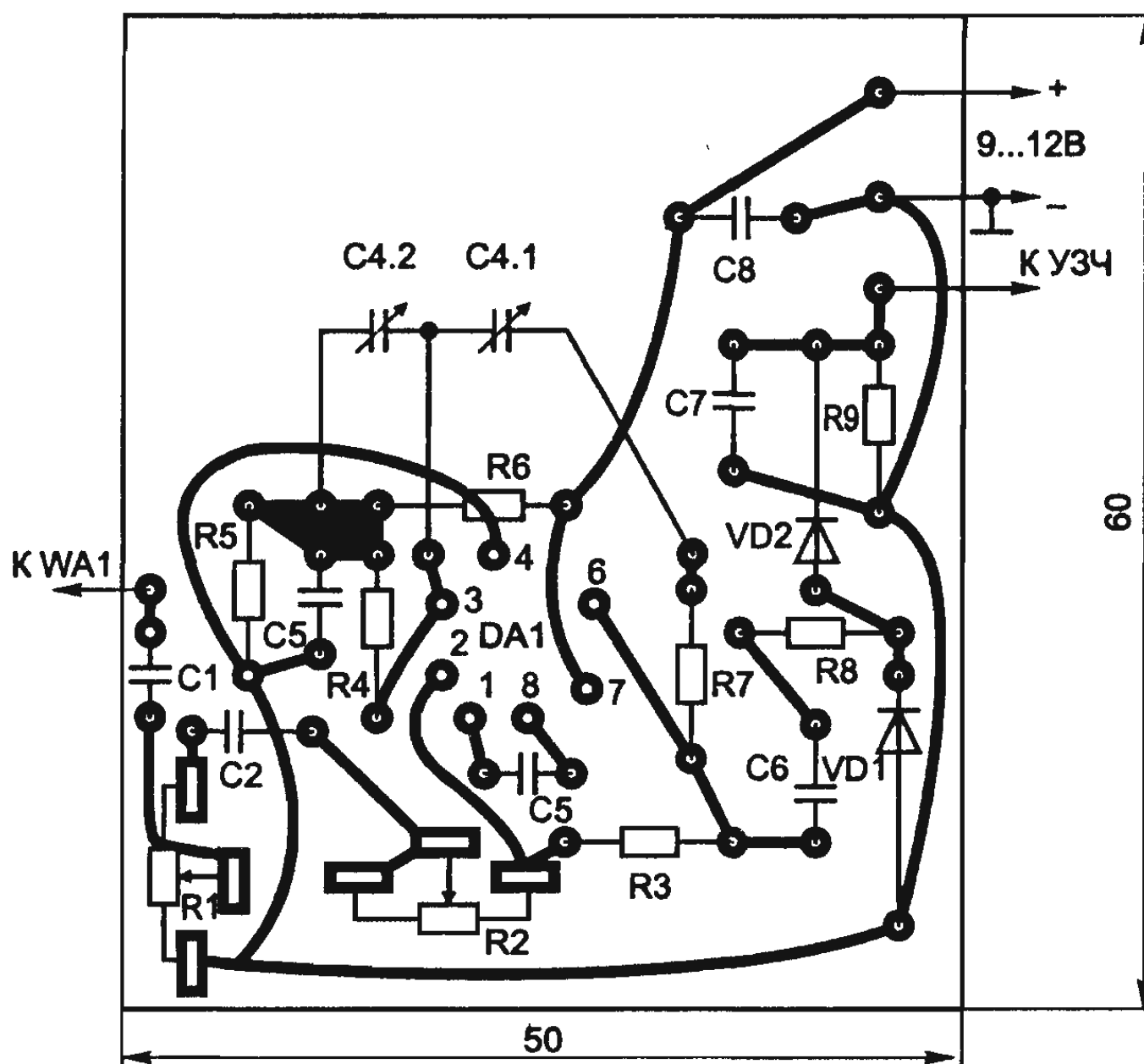


Рис. 7.26. Печатная плата приёмника без катушек индуктивности

крайнее левое (по схеме) положение и подключить антенну. Изменяя емкость секций блока КПЕ, настройте приставку на радиостанцию, прием которой возможен в вашей местности. Если сигнал не прослушивается, то понемногу уменьшайте сопротивление резистора R2, смещая движок вправо, и повторно добивайтесь настройки до необходимого качества радиоприема.

Если при максимальной емкости блока КПЕ каскад возбуждается при любом сопротивлении резистора R2, следует увеличить его сопротивление в два раза, а если и это не помогает, то попробуйте подобрать емкость конденсатора С3 в пределах 10...30 пФ.

Какие изменения можно внести в приставку? Если подходящего блока КПЕ нет, замените его сдвоенным переменным резистором, например СП-III. В этом случае цепь положительной обратной связи монтируйте по схеме на рис. 7.27. При номиналах резисторов и конденсаторов, указанных на схеме, приемник будет перестраиваться и работать устойчиво только в диапазоне ДВ.

Приставку можно использовать для приема 2-й и 3-й программ проводного вещания. Для этого ее подключают к радиотрансляционной сети через дополнительную приставку-переходник, схема которой приведена на рис. 7.28, одновременно увеличив сопротивление резисторов моста Вина (R4 и R7 — на рис. 7.25) до 10 кОм или емкость конденсаторов С4 и С9 (рис. 7.28) до 300 пФ.

Приставка может быть с фиксированной настройкой на одну радиовещательную станцию. В этом случае конденсаторы переменной емкости и переменные резисторы заменяют постоянными. Номиналы элементов моста Вина R (R4, R7) и С (С4.1, С4.2) можно определить по формуле:

$$f = 1/2\pi RC,$$

где f — частота настройки. Номиналы резисторов выбирайте в пределах 5,1...15 кОм.

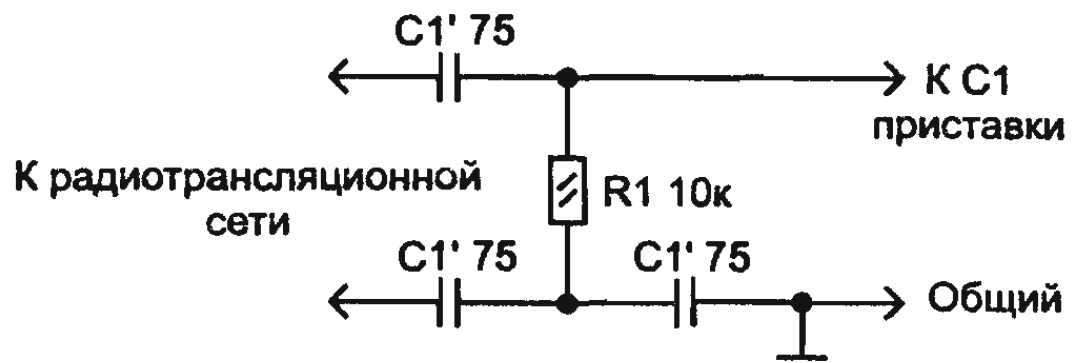


Рис. 7.27. Вариант схемы приёмника без катушек индуктивности

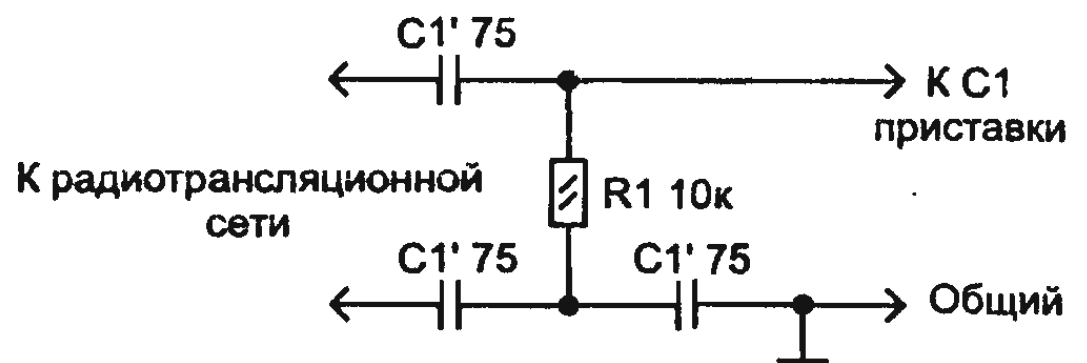


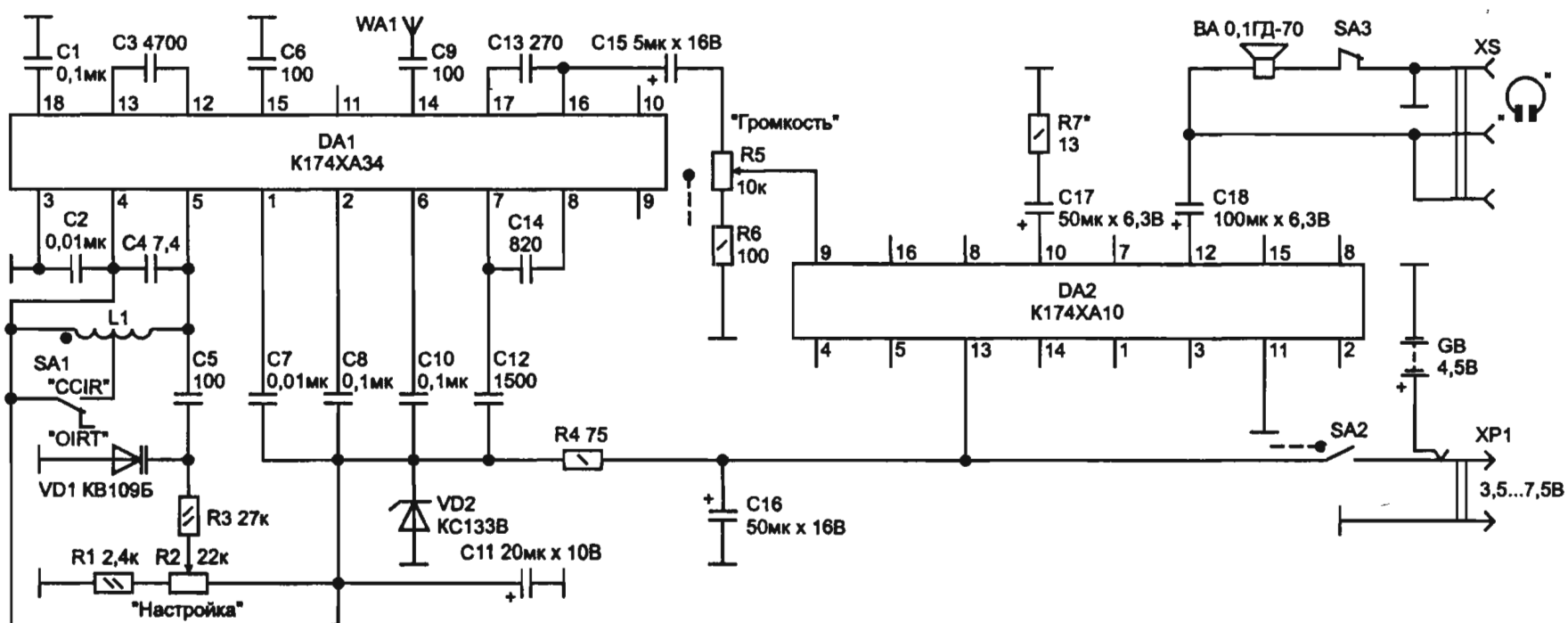
Рис. 7.28. Использование приёмника для приёма 2-й и 3-й программ проводного вещания

7.4.10. УКВ-приемник на два диапазона [17]

Приемник содержит (рис. 7.29) всего-навсего один настраиваемый контур. Тем не менее обеспечивается уверенный прием сигналов УКВ-радиостанций в двух диапазонах: 6473 МГц и 87,5108 МГц. Предлагаемая конструкция проста в изготовлении и налаживании. А малые габариты в сочетании с довольно высокими эксплуатационными качествами и техническими характеристиками делают ее поистине незаменимой для приема передач не только на территории России, стран СНГ, но и во время туристических поездок за границу. Питание приемника универсальное: от трех элементов А316 (аккумуляторов ЦНК-045) или от сети (например, через блок «Электроника Д2-10М» от микрокалькулятора). Подойдет и любой самодельный источник питания, имеющий на выходе стабилизированное напряжение 3,5...7,5 В при токе нагрузки не менее 50 мА. Работоспособность приемника сохраняется при разрядке батарей до 3 В. В приемнике предусмотрена возможность подключения головных телефонов «Электроника ТДС 13-2» или аналогичного типа. При этом отсоединяется динамик и улучшается качество звучания. Основу конструкции составляет микросхема К174ХА34. Разработанная специально для миниатюрной радиоаппаратуры, она представляет собой однокристалльный УКВ-приемник, который имеет в своем составе апериодический усилитель высокой частоты, смеситель, гетеродин, УПЧ и усилитель-ограничитель, фазоинвертор, ЧМ-демодулятор, предварительный УНЧ, систему шумопонижения и систему сжатия девиации. Сигнал, принятый антенной WA1, поступает на вход микросхемы через разделительный конденсатор С9. Элементы С4, L1, VD1 определяют частоту гетеродина, который работает на первой гармонике. Переключением секции катушки при помощи переключателя SA1 производится смена диапазона. Настройка на ту или иную радиостанцию осуществляется изменением частоты гетеродина при помощи варикапа VD1 и переменного резистора R2. Последний служит для корректировки нижней границы диапазона.

Преобразованный сигнал поступает на вход УПЧ, промежуточная частота которого около 70 кГц. Столь низкая промежуточная частота позволяет отказаться от контуров за счет использования активных фильтров, которые имеют достаточно высокую добротность. Фазоинвертор и ЧМ-демодулятор также собраны с помощью операционных усилителей и RC-цепей. При этом внешними элементами являются только конденсаторы С3, С7,

Рис. 7.29. Схема УКВ приёмника на два диапазона



C8, C10, C12, C14, а резисторы и операционные усилители имеются в составе микросхемы. Благодаря интегральной технологии и отсутствию катушек индуктивности уменьшены размеры приемника. Существенно упростилась и его наладка. А выбор относительно низкой промежуточной частоты позволил к тому же выигрышно использовать микросхему K174XA34 с током потребления, не превышающим 7 мА, в то время как, скажем, у микросхемы K174XA5 этот параметр менее экономичен. Закономерен вопрос: как же при $f_{\text{пр}} = 70$ кГц и девиации частоты ± 50 кГц удастся получить коэффициент нелинейных искажений (КНИ) ? 3%? А дело все в том, что в микросхеме K174XA34 имеется специальная система сжатия девиации примерно в 10 раз. Это и позволяет снизить КНИ при столь небольшой промежуточной частоте. Напряжение, подаваемое на варикап, поддерживается на требуемом уровне с помощью параметрического стабилизатора, собранного на элементах R4, VD2, C11. Это необходимо для того, чтобы при разрядке батарей не смещалась частота настройки приемника.

Хотя внутри микросхемы имеется свой стабилизатор, тем не менее ее приходится питать от параметрического. И все потому, что сетевой блок питания «Электроника Д2-10М» при токе менее 50 мА обеспечивает напряжение более 7 В. А это больше, чем максимально допустимое напряжение питания микросхемы K174XA34. Но вернемся к описанию работы приемника. Протектированный и усиленный сигнал НЧ поступает через делительный конденсатор C15 на регулятор громкости. А затем — на выходной УНЧ, в качестве которого используется низкочастотный усилитель микросхемы K174XA10. Схема включения УНЧ типовая и пояснений не требует. Что касается «нерационального» на первый взгляд использования микросхемы K174XA10, то здесь иной расклад. Главное — получить достаточно хорошие параметры при минимальных размерах и низком напряжении питания. И цель эта достигнута. Конечно, совсем не обязательно собирать усилитель низкой частоты по предлагаемой схеме. В конструкции приемника можно использовать и любой УНЧ на транзисторах, способный работать при напряжении питания от 3,5 до 7,5 В. Этот усилитель должен иметь к тому же чувствительность не хуже 100 мВ, входное сопротивление более 10 кОм, коэффициент нелинейных искажений менее 3 % и заданный диапазон воспроизводимых частот. Выключатель SA3 служит для отсоединения динамика при прослушивании прием-

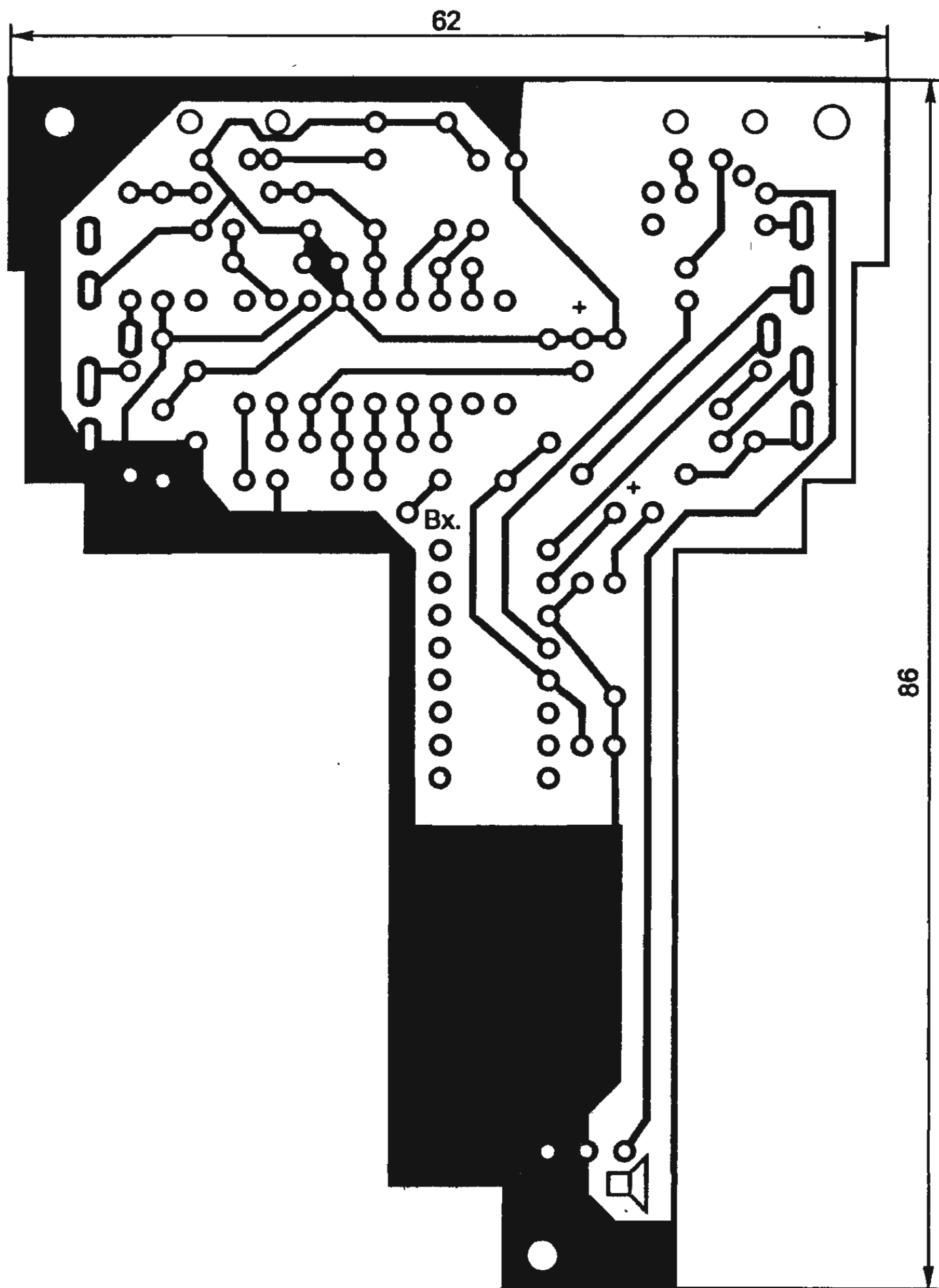


Рис. 7.30,а. Печатная плата УКВ приёмника

ника на головные телефоны или внешнюю акустическую систему с сопротивлением не менее 4 Ом. При подключении внешнего источника питания (через разъем ХР1) происходит отсоединение батарей. Если в качестве источника питания взяты не элементы А316, а аккумуляторы ЦНК-045, то желательно предусмотреть их подзарядку от блока питания через дополнительный гасящий резистор сопротивлением 20 Ом (на схеме не показан). Практически весь приемник собран на печатной плате из двустороннего фольгированного стеклотекстолита толщиной 1 мм. Чертеж ее приведен на рис. 7.30, а расположение элементов да-

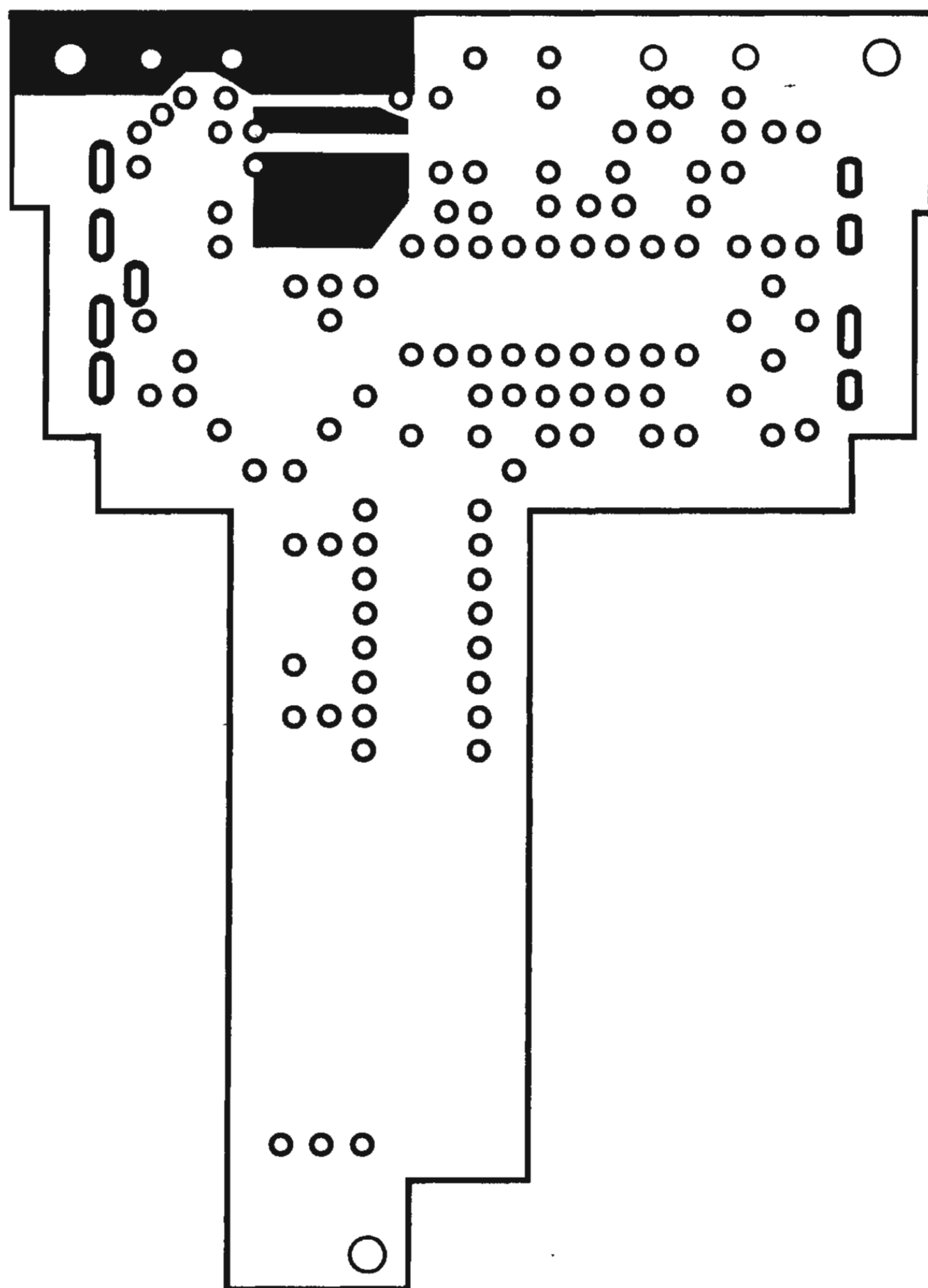


Рис. 7.30,б. Печатная плата УКВ приёмника

но на рис. 7.31. Корпус приемника изготовлен из того же материала, что и печатная плата. На левую боковую стенку выведен разъем ХР1 для подключения внешнего источника питания. Отверстия под ХS для подключения внешних головных телефонов, переключатели SA1, SA3 и телескопическая антенна WA расположены на верхней стенке корпуса. В передней стенке сделаны щелевые пропилы под ручки регулятора громкости и настройки. Необходимо учесть, что все элементы, определяющие частоту гетеродина, должны располагаться как можно ближе к выводу 5 микросхемы К174ХА34. А печатные проводники, соединяющие их, — иметь минимальную длину. В противном случае приемник будет работать неустойчиво.

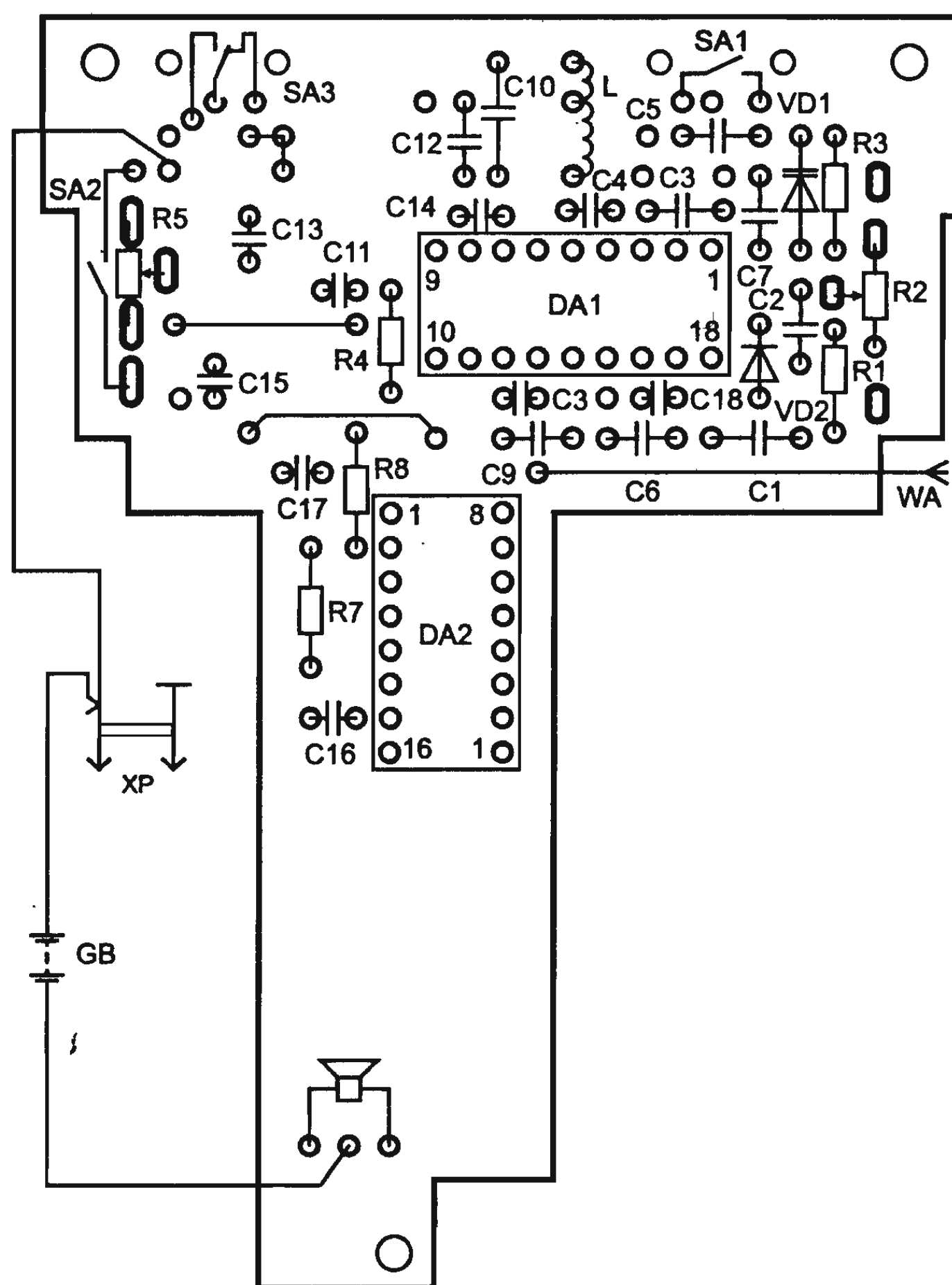


Рис. 7.31. Расположение элементов на печатной плате приёмника УКВ

7.4.11. Микроприемник на К174ХА36 [15]

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ К174ХА36

Напряжение питания, В — 3, 0;

Потребляемый ток (покоя), мА — 3;

Реальная чувствительность при отношении сигнал/шум 20 дБ на частоте 1 МГц, мкВ — 1;

Отношение сигнал/шум при входном напряжении 1 мВ, глубине модуляции 80 %, дБ — 5;

Напряжение звуковой частоты на выходе детектора, мВ — 300;

Коэффициент усиления предварительного ПУЗЧ — 5;

Максимальное напряжение входного сигнала при напряжении питания, мВ:

3 В 220,

6 В 500;

Масса микросхемы, г — 1,5.

Данная микросхема 174-й серии предназначена для малогабаритных экономичных радиоприемников с ДВ, СВ и КВ-диапазонами и с низким напряжением питания (2,1...9,0 В). Представляет собой однокристалльный АМ тракт с детектором и предварительным усилителем звуковой частоты (ПУЗЧ).

Микросхема состоит из регулируемого усилителя радиочастоты, двойного балансного смесителя, регулируемого усилителя ПЧ узлов системы АРУ, детектора АМ сигнала, стабилизаторов режимных токов, цепи управления светодиодным индикатором настройки и отключаемого ПУЗЧ с дифференциальным входом. Функциональная схема микросхемы, расположение выводов и типовое включение представлены на рис. 7.32.

В предлагаемой самодельной конструкции (рис. 7.33) использованы следующие детали. Постоянные резисторы — МЛТ-0,125, переменные — типа СПЗ-3. Конденсаторы — КТ, КД-1 (С4), К50-16 или К50-35 (С11, С15—С18), КМ5, КМ6. Динамик типа 0,1ГД-70; переключатели SA1, SA3 типа ПД9-5. Вместо стабилизатора КС133В более предпочтительным является использование 2С130Д-1. При этом можно добиться значительного снижения потребляемого тока. Несколько худшие результаты получаются при установке стабилизатора КС133Г — ток потребления в этом случае возрастает. Телескопическая антенна самодельная. Изготавливают ее из шариковой ручки-указки, у которой предварительно удаляют самое толстое звено. Конечно, вполне приемлемо

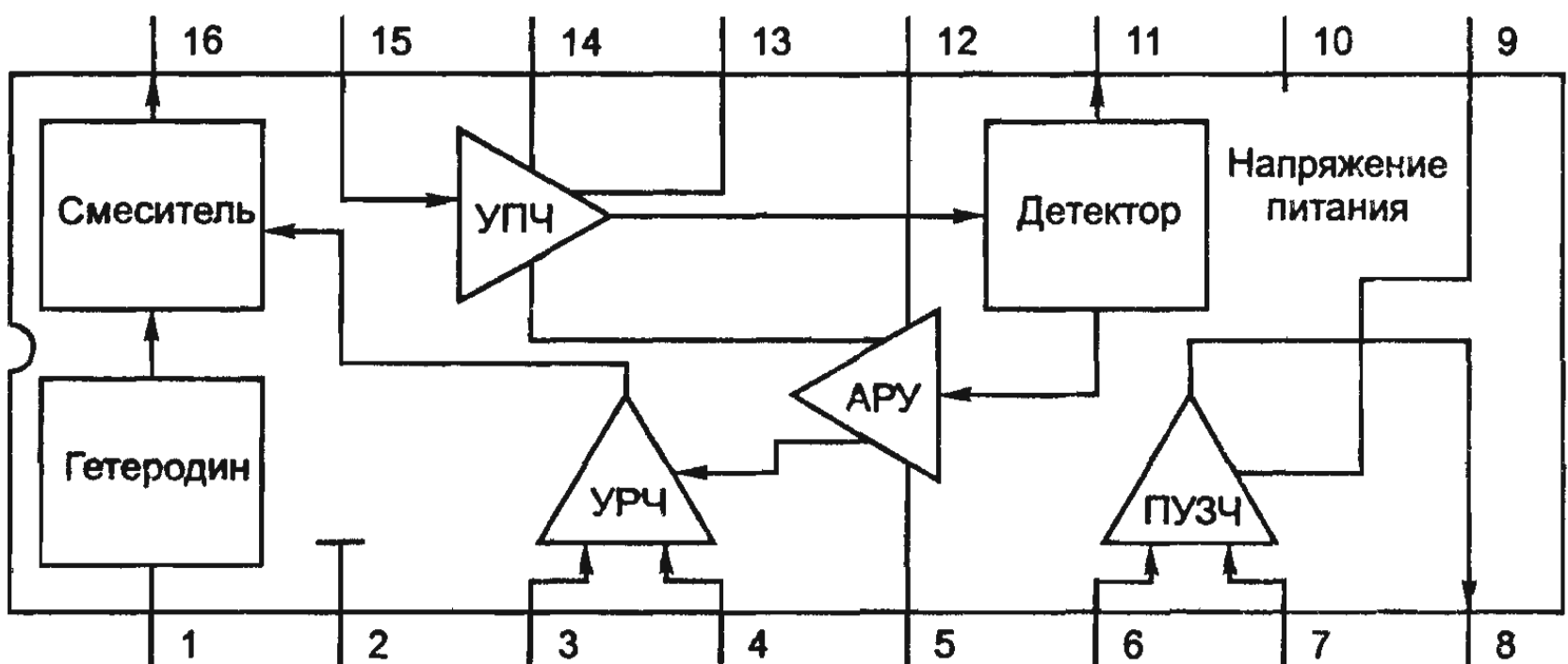


Рис. 7.32. Функциональная схема БИС К174ХА36

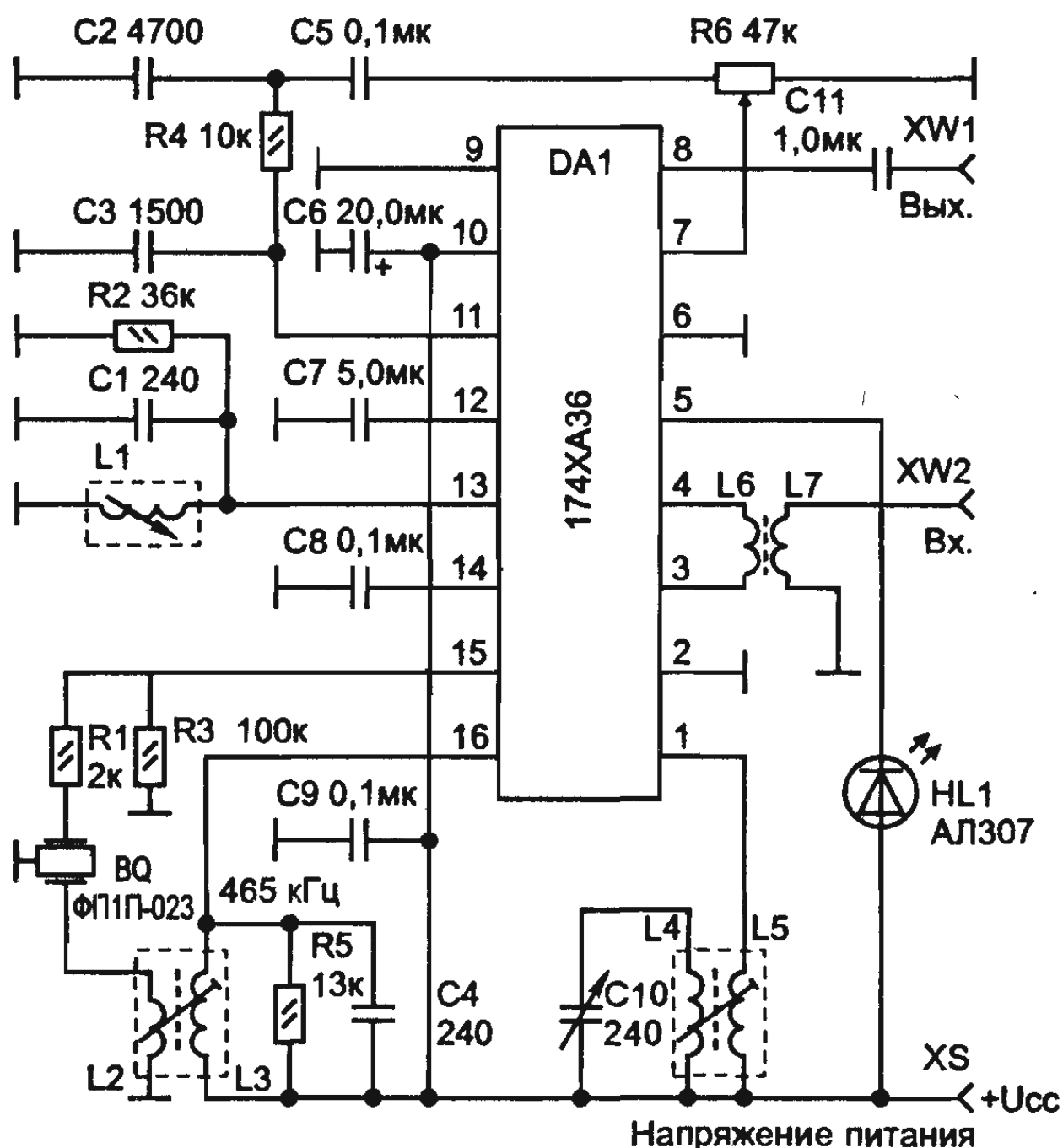


Рис. 7.33. Схема УКВ приёмника

использование и готовой телескопической антенны подходящего размера.

Катушка L1 — бескаркасная. Ее наматывают на винт М3×20 проводом ПЭВ2-0,35. Всего здесь 57 витков (считая от точки). Последний затем аккуратно вывинчивается.

Внимание! Катушку изготовлять строго по приведенному описанию. Любые отклонения здесь могут привести к тому, что принимаемый диапазон сместится в нерабочую область. Настроить в таком случае приемник можно будет только с помощью ЧМ-генератора (например, Г4-116 или аналогичного ему типа). Вместо микросхемы К174ХА34 можно пользоваться микросхемой КХА060. При этом придется изменить разводку печатной платы. В крайнем случае подойдет и гибридная микросхема КХА058, которая представляет собой кристалл УКВ-приемника. Надо иметь в виду: микросхемы-заменители при напряжении питания менее 4,5 В работают хуже, чем К174ХА34. А посему может возникнуть необходимость увеличить напряжение питания хотя бы до 6 В. (Лучше — до 9 В, заменив 3 элемента А316 одной батареей «Корунд».) Правда, при этом время непрерывной работы приемника

от одного комплекта батарей заметно снизится. Поскольку максимальное $U_{пит}$ вышеназванных микросхем не более 10 В, то их необходимо питать непосредственно от батарей, минуя стабилизатор VD2. Естественно, что при такой замене придется полностью переработать печатную плату. А возможно — и весь приемник. Самое главное заключается в том, что микросхема К174ХА34, работая в паре с низковольтным стереодекодером К174ХА35, позволяет осуществлять прием в режиме «стерео» (правда, только в системе ССIR). У других микросхем такой возможности не имеется. К сожалению, достать микросхему К174ХА35 сложно. Поэтому предлагается широкому кругу радиолюбителей упрощенный вариант приемника.

Перед началом наладки убедитесь, что в вашей местности возможен уверенный прием в обоих УКВ-диапазонах. Правильно собранный приемник из заведомо исправных деталей начинает работать сразу после включения. Желательно тут же проконтролировать ток покоя. Отклонение этого параметра более чем в 1,5 раза от того, что приведен в технических характеристиках, указывает на ошибки в монтаже или на неисправность элементов схемы. После включения приемника в динамике должен прослушиваться слабый шум, связанный с работой частотного детектора. Затем, подключив вольтметр к варикапу и плавно вращая ручку настройки, убедитесь, что напряжение на варикапе изменяется от 0,2 В до 3...3.5 В. Отключите вольтметр и осуществите настройку на УКВ-радиостанции. Если приемник принимает не все радиостанции, то, сжимая или растягивая витки катушки, сместите границы диапазона в нужную область. Указанную операцию необходимо проводить с двумя УКВ-приемниками, один из которых работает в верхнем диапазоне, а другой в нижнем. Причем начинать наладку надо с верхнего УКВ-диапазона. А затем, уже переключив приемник на нижний диапазон, повторять наладку, растягивая или сжимая при этом другую секцию катушки. Поскольку мощности у передатчиков, рассчитанных на диапазон 87,5—108 МГц, ниже, чем у тех, которые работают на 64—73 МГц, то для повышения дальности приема может возникнуть необходимость в увеличении длины антенны. Или потребуются даже наружная антенна, например, телевизионная. Для улучшения чувствительности приемника можно включить резистор сопротивлением 10 кОм между выводами 2 и 4 микросхемы К174ХА34 (резистор на схеме не указан). При этом, правда, будет отключена система бесшумной настройки приемника, но зато чувствительность возрастет примерно в 2 раза.

Однако место для этого резистора на плате не предусмотрено, его придется припаять непосредственно к печатным проводникам.

Какие еще доработки целесообразно здесь выполнить? Во-первых, используя типовую схему включения микросхемы К174ХА10, можно изготовить всеволновый миниатюрный приемник с низковольтным питанием. Во-вторых, каждый из указанных выше вариантов самоделки легко устанавливается практически в любой магнитофон, превращая последний в магнитолау.

Назначение катушек индуктивности: L1 — преддетекторный контур, частота настройки которого 465 кГц; L2 — катушка связи; L3 — индуктивность фильтра ПЧ, частота настройки контура 465 кГц; L4 — катушка гетеродина, частота настройки зависит от принимаемого диапазона и отличается от него на величину $f_{ПЧ} = 465$ кГц; L5 — катушка связи; L6, L7 — трансформатор связи.

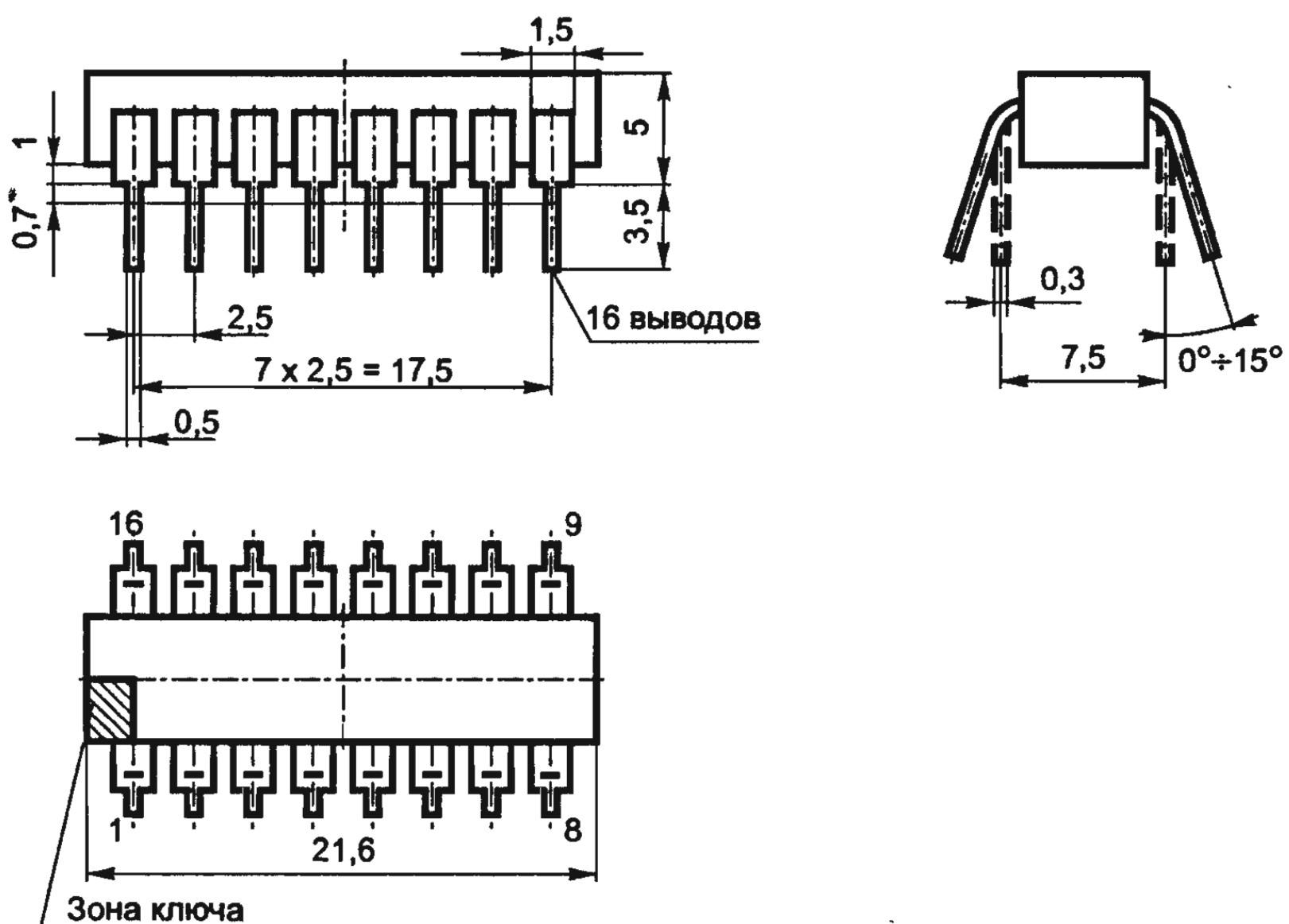


Рис. 7.34. Общий вид и габариты БИС К174ХА36

Вместо дефицитного и дорогостоящего пьезофильтра ФП1П-023 в схеме конкретной радиолобительской конструкции можно установить конденсатор КМ емкостью $C = 0,6—1,0$ мкФ. При этом несколько ухудшится отношение сигнал/шум. Микросхема выполнена в пластмассовом 16-выводном корпусе типа 238.16—1, общий вид и габариты которого представлены на рис. 7.34.

7.4.12. Пробник для проверки годности операционных усилителей [35]

ОУ широко используются радиолюбителями в конструкциях различных радиотехнических устройств. Причем в условиях растущей дороговизны на радиоэлементы приходится порой применять микросхемы, которые уже использовались ранее в работе. Чтобы быть уверенным в пригодности такого ОУ, его следует проверить, например, с помощью пробника.

Принципиальная схема пробника показана на рис. 7.35. Тестируемый ОУ подключают к гнездам разъема X1 (в качестве примера показано подключение ОУ К140УД2). Такое включение образует релаксационный генератор, вырабатывающий прямоугольные импульсы (меандр) с частотой 1...2 Гц. Напряжение питания поступает на генератор с параметрического стабилизатора R1VD1. Если ОУ окажется годным, генератор начнет работать, а светодиод HL1 — вспыхивать в такт с частотой генерируемых импульсов. В случае, если проверяемый ОУ окажется неисправным, генератор работать не будет, а светодиод, в зависимости от причины неисправности усилителя, будет либо гореть непрерывно, либо вовсе не вспыхнет.

В пробнике можно применить, кроме указанных на схеме, транзисторы КТ312А — КТ312В, КТ315А, КТ315В — КТ315И, КТ503А — КТ503Е, диоды КД521А — КД521Г, КД103А, КД103С, стабилитрон Д814Г. Разъем X1 — монтажная панель для микросхем, тип корпуса которых 2103.16. Детали устройства размещают на печатной плате (рис. 7.36), выполненной из одностороннего фольгированного стеклотекстолита толщиной 11,5 мм.

Правильно собранный пробник не нуждается в наладке. С помощью пробника можно проверить практически все наиболее ис-

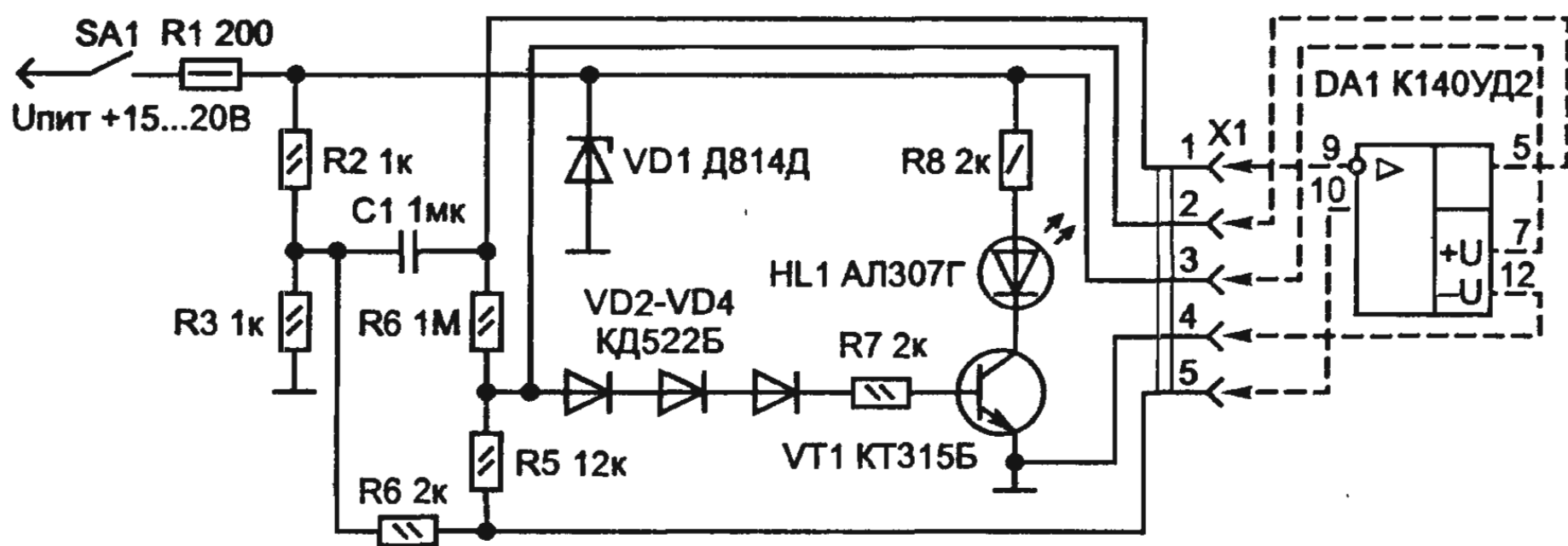


Рис. 7.35. Схема пробника для проверки годности операционных усилителей

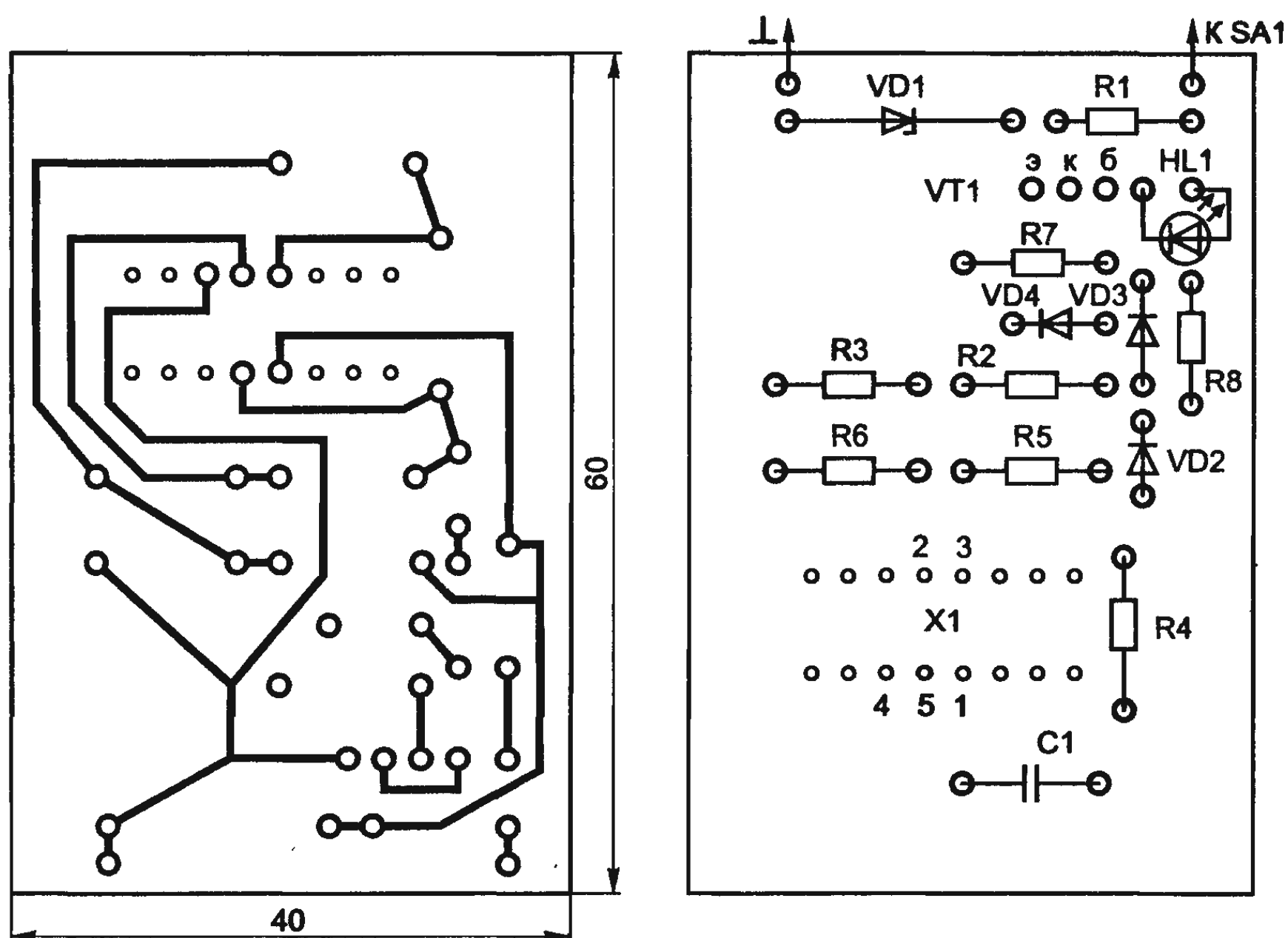


Рис. 7.36. Печатная плата пробника

пользуемые в практике ОУ, кроме тех, выходное сопротивление которых сравнимо или превышает сопротивление резистора R7, например, микромощные ОУ К140УД12, К153УД4.

7.4.13. Пробник для операционных усилителей [36]

В предлагаемом устройстве можно оперативно проверить работоспособность операционных усилителей (ОУ). Само устройство имеет всего шесть пассивных элементов (рис. 7.37) и при отключенной микросхеме совершенно не потребляет тока. Проверка происходит в режиме генерации звуковых колебаний. Подключение исправной микросхемы образует низкочастотный генератор прямоугольных импульсов с звуковым излучателем. В качестве последнего использованы головные телефоны с сопротивлением не менее 50 Ом. Делитель напряжения на резисторах R3 и R4 формирует напряжение на неинвертирующем входе, а на элементах R1 и C1 — линейно изменяющееся напряжение на инвертирующем входе. Генератор начинает работать как регенеративный компаратор напряжений при вполне определенном их соотношении на входах. Конденсатор C1 заряжается через резистор R1 до тех пор, пока на-

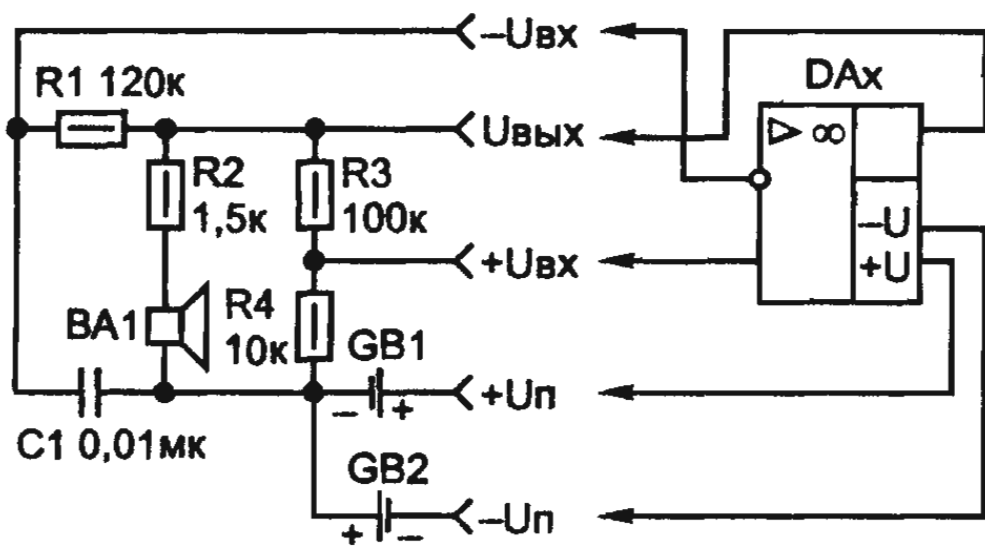


Рис. 7.37. Схема пробника для операционных усилителей

пряжение на нем не достигнет положительного значения, определяемого соотношением резисторов R3 и R4. Когда полярность напряжения на выходе микросхемы изменится на противоположную, конденсатор C1 начинает разряжаться через резистор R1 до тех пор, пока не станет отрицательным.

В этот момент компаратор переключится, и процесс повторяется.

Резистор R2 ограничивает ток через звуковой излучатель при неисправном ОУ.

Питание устройства производят от двух батарей с напряжением 9 В.

Некоторые современные ОУ могут работать с минимальным напряжением $\pm 1,53$ В, но они, как правило, допускают работу и с напряжением ± 9 В. Именно в таком режиме и проверяются эти ОУ в данном пробнике. Однако, если важна проверка работы микросхемы при пониженном напряжении питания, то необходимо будет предусмотреть включение такого источника тока или создать блок питания с различными значениями выходных напряжений. В настоящее время ОУ выпускают с различными конструкциями корпусов (пластмассовые прямоугольные, металлостеклянные, цилиндрические), числом и расположением выводов. Чтобы устройство пробника стало более универсальным, целесообразно на передней панели расположить несколько панелей включения соответственно тем микросхемам, которые радиолюбитель предполагает проверять. И учтите, что некоторые ОУ даже при одинаковой конструкции корпуса могут иметь отличающуюся нумерацию функционально однозначных выводов, — это потребует применения нескольких панелей включения с обязательным указанием возле них типономинала проверяемой микросхемы. Все панели электрически могут быть соединены параллельно соответствующими контактами.

7.4.14. Логический ТТЛ-пробник [16]

Предлагается описание конструкции несложного пробника, определяющего четыре статических состояния цифрового устройства. Наличие встроенного генератора расширяет его функциональные возможности.

Логический пробник — неотъемлемая часть лаборатории специалиста по цифровой технике. Во многих случаях пользоваться им удобнее, чем вольтметром или даже осциллографом. Пробник не дает избыточной информации, малые размеры и удобное расположение индикаторов уменьшают вероятность промаха при подключении щупа прибора к различным точкам проверяемого устройства. Пробник способен зафиксировать одиночный импульс, что с помощью другой универсальной аппаратуры сделать почти невозможно.

Обычно пробники позволяют определять два статических состояния выходов логических микросхем — «0» (0...0,4 В) или «1» (2,4...5 В) и наличие импульсов. Некоторые пробники способны выделять промежуточный уровень напряжения 0,4...2,4 В и постоянно индицируют его как неопределенный или используют для гашения индикации основных логических уровней.

В отличие от известных, предлагаемый пробник, схема которого приведена на рис. 7.38, выделяет четыре статических состояния исследуемой цепи: обрыв, низкий уровень (лог. 0), свободный (неприсоединенный) вход и высокий уровень (лог. 1). С помощью такого устройства можно также фиксировать одиночные импульсы и импульсные последовательности, оценивать скважность и крутизну фронтов импульсов, а также благодаря наличию встроенного генератора проводить проверку работы триггеров, счетчиков, последовательных и параллельных регистров. Для этого не потребуются какие-либо дополнительные приборы.

Выделение логических уровней проводится входными транзисторами VT1—VT3. При подаче на вход устройства напряжения лог. 0 открывается транзистор VT1, на выходе элемента DD2.2 устанавливается низкий уровень и загорается светодиод HL1 («0»). Для определения состояния обрыва цепи и гашения логических индикаторов используется зона входных напряжений, где появление сигнала при проверке исправных микросхем наименее вероятно: 0,6...1,0 В. Если щуп пробника никуда не присоединен, что соответствует состоянию «обрыв цепи», входное напряжение составляет около 0,7 В, все транзисторы закрыты, все индикаторы статических состояний погашены.

Если входное напряжение превысит уровень 1,0 В, откроется транзистор VT2 и включится индикатор промежуточного состояния HL4 («0»). Это позволяет надежно фиксировать свободный вход TTL-микросхемы, напряжение на котором составляет около 1,5 В. Как только напряжение в исследуемой цепи достигнет уров-

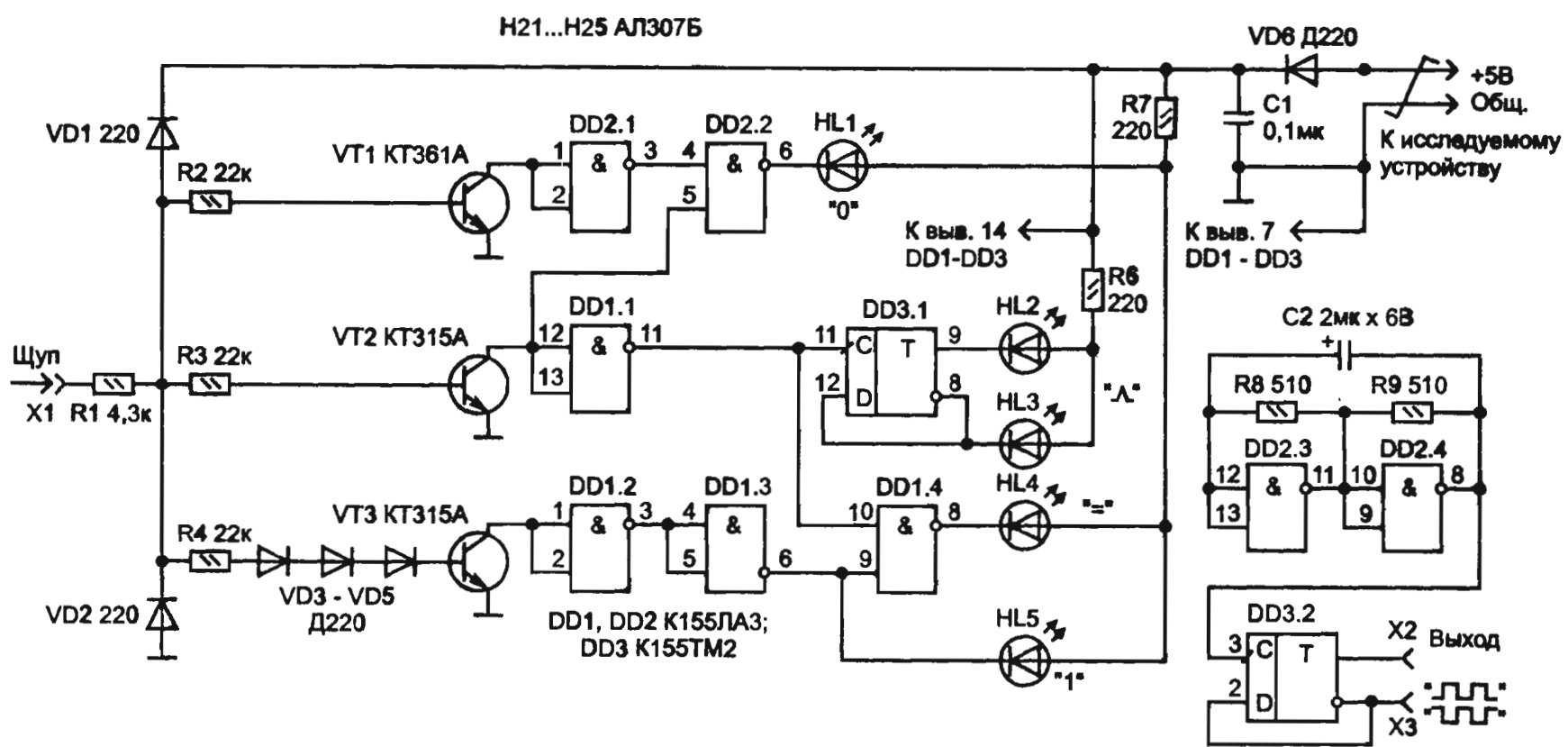


Рис. 7.38. Схема логического ТТЛ-пробника

ня 2,4 В, открываются диоды VD3—VD5 и транзистор VT3, на выходе элемента DD1.3 устанавливается низкий логический уровень, меняет свое состояние элемент DD1.4, гаснет светодиод HL4 и загорается светодиод HL5 («1»).

Наличие защитной входной цепи, состоящей из резистора R1 и диодов VD1, VD2, позволяет без ущерба для пробника контролировать состояние выходов микросхем с открытым коллектором, нагрузка которых питается напряжением до 24 В, или состояние выхода операционных усилителей, если они используются в качестве преобразователей входных сигналов для цифровых микросхем.

Положительные стороны данного схемного решения: нет отвлекающей индикации при фактически отключенном входе пробника, возможность более полно оценить состояние исследуемой микросхемы, а также отсутствие необходимости настройки входных цепей (так как выделение уровней переключения в основном связано с материалом кристаллов, характеристиками транзисторов VT1—VT3 и диодов VD3—VD5, имеющими малый разброс).

К недостаткам устройства можно отнести уровень фиксируемого лог. 0, несколько не соответствующий техническим условиям. Существует и вероятность принять перегруженный выход или «притянутый» через резистор к общей шине вход микросхемы за обрыв цепи, если напряжения на них попадут в интервал 0,6...1,0 В. Но даже при такой ошибке индикация обрыва при подключении входа пробника к выводу работающей микросхемы должна насторожить и заставить проверить состояние подозрительной цепи другими средствами, например вольтметром или осциллографом.

Пробник способен фиксировать как одиночные импульсы, так и непрерывные серии импульсов. Традиционно для фиксации одиночного импульса используется RS-триггер, на один вход которого подается исследуемый сигнал, а на другой — импульс сброса. Серии импульсов обычно фиксируют с помощью одновибратора, запускаемого по фронту или спаду сигнала и растягивающего входной импульс для облегчения визуального восприятия индикации. В предлагаемом устройстве применено другое решение. При превышении входным напряжением уровня 1,0 В открывается транзистор VT2, а сигнал на выходе элемента DD1.1 переходит из состояния лог. 0 в состояние лог. 1. Это приводит к изменению состояния выходов триггера DD3.1, включенного в счетном режиме. К прямому и инверсному выходам триггера DD3.1 подключены светодиоды HL2, HL3. Один из них постоянно светится, индицируя подключе-

ние пробника к цепям питания. При приходе одиночного импульса этот светодиод гаснет и загорается другой. Серия импульсов на входе пробника заставляет светодиоды поочередно мигать.

Достоинства такого устройства — простота и универсальность. Нет нужды в отдельной кнопке и операции сброса RS-триггера фиксации одиночного импульса. Кроме того, отпадает необходимость в отдельном индикаторе включения питания. Правда, имеются и недостатки. Самый существенный из них — невозможность выделить приход последовательности коротких импульсов, если их число четно. Глаз не в состоянии зафиксировать быструю смену состояния индикаторов, а их статическое состояние до и после прихода четного числа импульсов одинаково,

Существенно расширяет функциональные возможности пробника встроенный генератор импульсов. Он собран на элементах DD2.3, DD2.4. На триггере DD3.2, включенном в счетном режиме, выполнен формирователь импульсов, обеспечивающий на своих выходах меандр с крутыми фронтами и частотой около 150 Гц.

Диод VD6 защищает микросхемы пробника от ошибочной полярности при подключении питания, а конденсатор C1 снижает уровень высокочастотных помех.

Конструктивно пробник выполнен на двусторонней печатной плате. В качестве разъемов X1—X3 можно использовать одиночные гнезда от разъемов типа 2РМ или подобных. Щуп изготовлен из ручной швейной иглы подходящего диаметра с удаленным ушком и подогнанным по размеру разъема X1 хвостовиком. Подгонку хвостовика выполняют с помощью мелкозернистого шлифовального камня или шлифовальной бумаги. Для удобства пользования на иглу одевается отрезок поливинилхлоридной изоляции от провода подходящего диаметра. Использование в качестве щупа иглы позволяет легко прокалывать лаковое покрытие при проверке плат промышленного назначения, а наличие разъема X1 — быстро заменять щуп на клипсу и освободить руки при сохранении контроля над выбранной точкой проверяемой схемы. К корпусу пробника никаких специфических требований не предъявляется: он может быть изготовлен из подходящего по размеру футляра (для зубной щетки или авторучки). Разъемный корпус позволит хранить в нем щуп-иглу.

Схемное решение пробника разрабатывалось с учетом использования минимального количества деталей и максимальной простоты печатной платы при сохранении всех функциональных возможностей. Если при этом нет каких-либо ограничений, для по-

вышения устойчивости работы устройства рекомендуется объединить свободные входы микросхемы DD3 и через резистор 1...2 кОм соединить их с линией питания.

В некоторых случаях при использовании вместо короткого щупа клипсы с проводом длиной более 10...15 см может наблюдаться склонность к возбуждению элемента DD2.1. Устраняют ее установкой резистора сопротивлением около 5 кОм между входами элемента и линией питания. То же полезно сделать и для входов элементов DD1.1 и DD1.2.

Если при повторении пробника будут использованы микросхемы TTL-серий с малым потреблением мощности, для нормальной работы встроенного генератора может потребоваться увеличение сопротивления резисторов R8, R9.

Теперь коротко о приемах работы с пробником. Допустим, цоколевка и функции проверяемой логической TTL-микросхемы не известны. В этом случае поступают следующим образом. Подав на микросхему питание (для логических микросхем практически всегда +5 В подают на вывод с максимальным номером, а с общим проводом соединяют вывод с вдвое меньшим номером), с помощью пробника сразу отделите свободные входы от выходов. Если выходы будут в состоянии лог. 0 — это, скорее всего, микросхема с базовой функцией «И-НЕ», если лог. 1, то «ИЛИ-НЕ».

Для простых микросхем не трудно установить принадлежность входов и выходов каждому элементу. Подключив вход пробника к определенному выходу исследуемой микросхемы, подавайте сигнал от встроенного генератора на входы, фиксируя прохождение серии импульсов по одновременному свечению светодиодов HL2, HL3. Если при этом одинаково ярко светятся светодиоды «0» и «1», то у проверяемой микросхемы классический выходной каскад, а когда светится только «0» — открытый коллектор. При более сложной логической функции микросхемы можно восстановить ее таблицу истинности, но для этого придется затратить больше труда на коммутацию входов.

Полная проверка работоспособности D-триггеров, например распространенных ТМ2, проводится так: сигнал с выхода встроенного генератора подают на вход С триггера. Замыкая на общую шину вход D, проследите за изменениями сигналов на прямом и обратном выходах. На прямом выходе он должен совпадать с сигналом на входе D, на обратном — быть ему инверсным. Следующий шаг — проверка работы установочных входов триггера. Подключите установочные входы к разным выходам встроенного генератора.

При нормальном функционировании микросхемы на обоих выходах триггера будет наблюдаться последовательности импульсов. При отключении одного из установочных входов выходы триггера должны принять статическое состояние, соответствующее оставшемуся подключенным к генератору входу установки.

Аналогичным образом проверяется работа параллельных регистров и регистров сдвига. Сигнал с генератора подается на вход С, а затем меняется состояние входов данных микросхемы с одновременной регистрацией изменения состояния ее выходов. Для проверки работоспособности счетчиков сигнал с выхода генератора подают на счетный вход, контролируя его прохождение на выходах. В некоторых случаях, если переключение светодиодов HL2, HL3 становится заметно на глаз, удается проверить правильность работы каскадов многоуровневых счетчиков.

При проверке работы генераторов, собранных на цифровых микросхемах, с помощью предлагаемого пробника можно оценить крутизну фронтов и скважность сигнала. Скважность сигнала определяют, сравнивая яркость свечения индикаторов «0» и «1», крутизну — по интенсивности свечения индикатора «=». Чем яркость меньше, тем крутизна больше. Удостовериться в этом можно, анализируя сигналы в разных точках встроенного генератора. На входе элемента DD2.3 напряжение имеет форму треугольных импульсов с крутым фронтом и почти линейным спадом. При подключении входа пробника к этой точке индикаторы «0», «1» и «=» будут светиться практически с одинаковой интенсивностью. На выходе элемента DD2.4 импульсы имеют заметное время нарастания, и яркость свечения индикатора «=» здесь меньше. При подсоединении входа пробника к любому из выходов триггера DD3.2 индикатор «=» гаснет совсем, а индикаторы «0» и «1» светятся с одинаковой интенсивностью.

7.5. ПОЛЕЗНЫЕ СОВЕТЫ

7.5.1. Подключение динамической головки к элементам ТТЛ [18]

В последнее время для звуковой сигнализации в логических схемах используются чаще всего пьезоизлучатели. Однако они не всегда имеются под рукой, а в то же время у многих валяются в ящиках среди разного хлама небольшие динамики от карманных

приемников или же «целые куски» от неисправных наушников «Walkman» — их можно использовать!

На рис. 7.39 приведена двухтактная схема подключения динамической головки, которая, несмотря на свою простоту, обеспечивает достаточно большую силу звука. В ней лучше всего использовать микросхему, содержащую в корпусе инвертирующие элементы (И-НЕ, ИЛИ-НЕ).

Сигнал звуковой частоты можно получить от простейшего генератора прямоугольных импульсов.

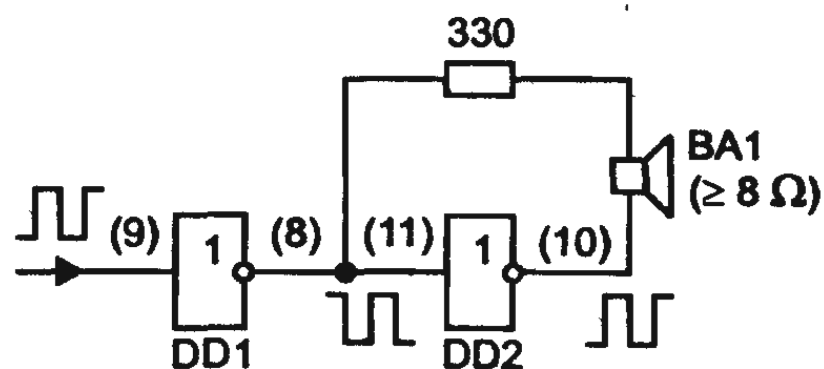


Рис. 7.39. Схема подключения динамической головки к элементам ТТЛ

7.5.2. В заключение несколько практических советов по изготовлению самодельных печатных плат

1. Нанесение рисунка контактных площадок для выводов микросхемы в корпусах 401.14-3 или 401.14-4 (например, серий 133 или 134) является трудоемкой операцией. Значительно облегчит эту работу приспособление, которое легко изготовить из корпуса вышедшей из строя микросхемы соответствующей серии. К корпусу припаивают ручку из отрезка медной проволоки, а выводы микросхемы формуют, как для монтажа на плате. Если теперь выводы окунать в лак и приложить к фольгированной стороне заготовки платы, можно получить оттиск, соответствующий расположению выводов. Таким образом можно легко и быстро «отпечатать» на заготовке платы необходимое число контактных площадок под выводы микросхемы. Разводку выводов на плате выполняют как обычно — рейсфедером или пером.

2. В качестве защитного слоя при травлении печатной платы можно использовать полихлорвиниловую изоляционную ленту. Кусок ленты 1012 см накладывают липкой стороной на чистое органическое стекло, скальпелем по линейке отрезают полоски требуемой ширины, а затем переносят их пинцетом на подготовленную пластину фольгированного материала и приклеивают в соответствии с рисунком платы.

3. Удобный скребок для ретуширования нанесенного тушью или нитрокраской рисунка печатной платы получится, если в зажим цангового карандаша вставить кусочек лезвия безопасной

бритвы. Если необходимо работать прогнутым лезвием, надо выбрать цангу с нечетным числом губок.

4. Если при разработке рисунка печатной платы трудно обойтись без пересечения проводников, то один из проводников разрезают, а на концах разрыва предусматривают контактные площадки с отверстиями в плате. После изготовления печатной платы в отверстия контактных площадок впаивают проволочную перемычку.

5. Травление печатных плат в домашних условиях можно производить в полиэтиленовом пакете. Для этого помещают плату в пакет и заливают раствором хлорного железа. Края платы закругляют, чтобы их острыми углами не повредить пакет. Покачивая в процессе травления, перемешивают раствор. Если необходимо травить при повышенной температуре раствора, пакет помещают в сосуд с горячей водой, удерживая за края.

6. Очистить кювету, в которой многократно проводилось травление, можно с помощью электролита из щелочных аккумуляторов: кювету на несколько часов заливают раствором, после чего промывают в проточной воде.

7.6. ЗАДАЧИ

1. Логический элемент ИЛИ можно преобразовать для выполнения логической функции И-НЕ, если к его входам добавить

2. Добавляя инверторы ко входам логических элементов И, можно реализовать логическую функцию

3. Добавляя инверторы ко всем входам и выходу логического элемента И, можно реализовать логическую функцию

4. Составьте логические схемы с использованием логических элементов И, ИЛИ и НЕ для следующих булевых выражений:

а) $\bar{A} \cdot B \cdot \bar{B} + A \cdot B = Y;$

б) $\bar{A} \cdot \bar{C} + A \cdot B \cdot C = Y.$

5. Используя логические элементы И, ИЛИ и НЕ, составьте логические схемы для следующих булевых выражений:

а) $(A + B) \cdot (\bar{A} + \bar{B}) = Y;$

б) $(\bar{A} + B) \cdot \bar{C} = Y.$

Глава 8

Автогенераторы

Автогенераторами называют электронные цепи, формирующие напряжение (ток) требуемой формы. В данной главе рассмотрены автогенераторы гармонических (синусоидальных) и прямоугольных колебаний.

8.1. УСЛОВИЯ САМОВОЗБУЖДЕНИЯ АВТОГЕНЕРАТОРОВ

На рис. 8.1 приведена структурная схема автогенератора, которая состоит из усилителя с коэффициентом усиления K и звена положительной обратной связи с коэффициентом обратной связи β . В качестве усилителя в автогенераторах могут применяться различные усилители: на транзисторах, интегральных микросхемах и др. Звеном обратной связи являются частотно-зависимые цепи: RL -контуры и RC -четырёхполюсники.

Если считать, что напряжения $u_{вх}$ и $u_{вых}$ близки к синусоидальным, то стационарный устойчивый режим в автогенераторе, при котором амплитуды $U_{м.вх}$ и $U_{м.вых}$ имеют неизменные значения, будет возможен только при выполнении условия, называемого условием самовозбуждения:

$$K\beta = 1; \quad (8.1)$$

$$\varphi + \psi = 0; 2\pi; \quad (8.2)$$

где K и β — модули коэффициентов усиления и передачи соответственно усилителя и звена обратной связи, а φ и ψ — сдвиг фаз между выходными и входными напряжениями усилителя и звена обратной связи.

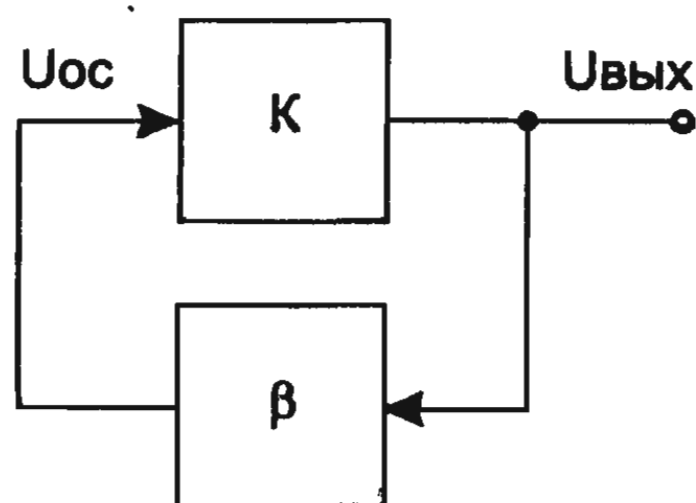


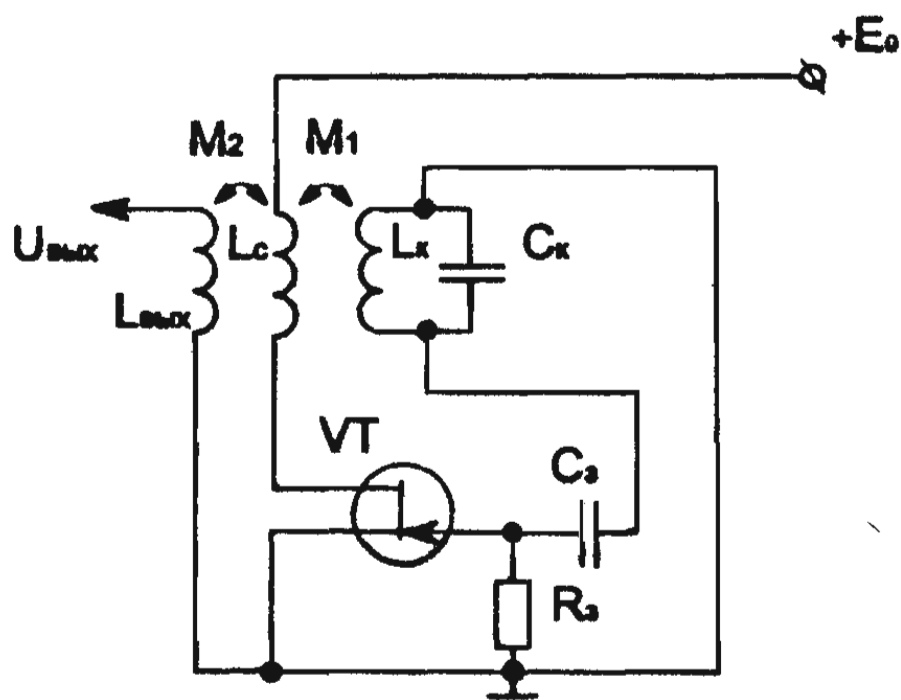
Рис. 8.1. Структурная схема автогенератора

Равенство (8.1) называется *условием баланса амплитуд*, а равенство (8.2) — *условием баланса фаз*. Условие баланса фаз означает, что в стационарном режиме сумма фазовых сдвигов выходных напряжений усилителя и звена обратной связи в автогенераторе равна нулю или целому числу 2π , что свидетельствует о наличии в рассматриваемом устройстве положительной обратной связи.

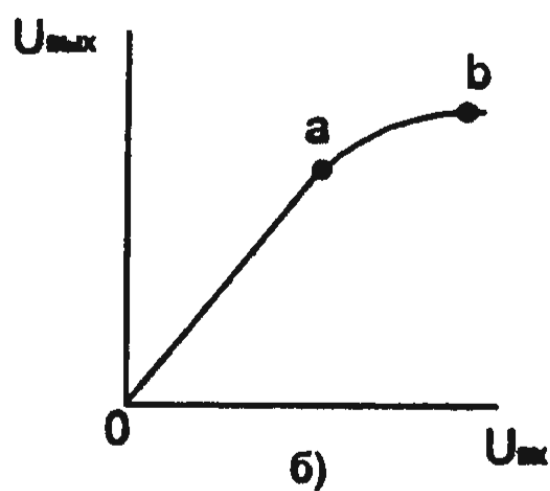
Условие баланса амплитуд соответствует тому, что потери энергии в автогенераторе восполняются звеном положительной обратной связи от источника питания автогенератора. Для получения стационарных устойчивых колебаний в автогенераторе условие (8.1) должно удовлетворять соотношению

$$K\beta \geq 1. \quad (8.3)$$

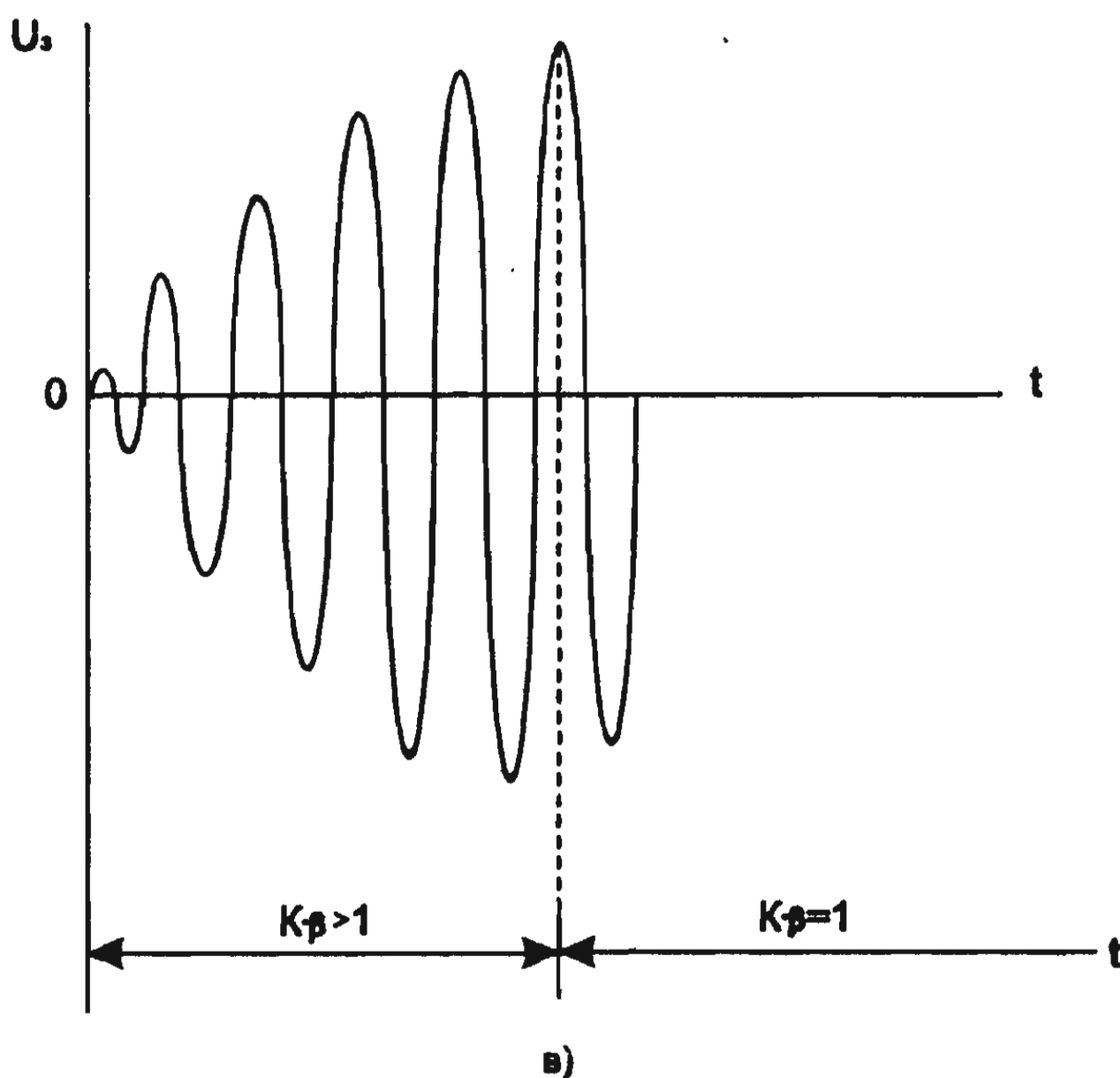
Процесс возникновения колебаний в автогенераторе рассмотрим на примере генератора синусоидальных колебаний, схема которого изображена на рис. 8.2,а. В этом автогенераторе усилитель собран на полевом транзисторе и включен по схеме с общим истоком. Звеном обратной связи является катушка L_c , включенная в стоковую цепь транзистора и индуктивно связанная с катушкой L_k резонансного контура $L_k C_k$. Первоначально колебания в автогенераторе возникают или из-за флуктуации тока в транзисторе, колебательном контуре, или при подаче напряжения питания. По этим причинам при условии $R_{эк} < \sqrt{L_k C_k}$ ($R_{эк}$ — эквивалентное активное сопротивление контура, определяющее активные потери) появляются слабые колебания с частотой $\omega = 1 / \sqrt{L_k C_k}$, которые в отсутствие положительной обратной связи должны были бы прекратиться из-за потерь энергии в контуре. Но при наличии положительной обратной связи этого не происходит. Действительно, появившееся на контуре напряжение u_k усиливается транзистором. Эти колебания через катушку L_c , индуктивно связанную с катушкой L_k , вновь возвращаются в колебательный контур. Размах колебаний постепенно нарастает (рис. 8.2,б), что соответствует условию $K\beta > 1$. По мере роста амплитуды напряжения в цепи затвора усилителя из-за нелинейности его амплитудной характеристики (участок ab на рис. 8.2,б) коэффициент усиления начинает уменьшаться и произведение $K\beta$ становится равным единице. При этом появляются колебания с постоянной и автоматически поддерживаемой на требуемом уровне амплитудой, что соответствует установившемуся стационарному режиму автоколебаний.



а)



б)



в)

Рис. 8.2. Генератор синусоидальных колебаний

Условие баланса амплитуд в автогенераторе сводится к тому, что на резонансной частоте ω_0 потери энергии в контуре компенсируются энергией, вносимой в колебательный контур источником питания E_c через катушку L_c . Отметим, что баланс амплитуд обуславливает неизменную амплитуду стационарных колебаний.

Условие баланса фаз в рассматриваемом автогенераторе осуществляется при сдвиге фаз выходного напряжения усилителя и звена обратной связи на 180° , что видно из (8.2): $\varphi = -\psi$. Практически это условие выполняется соответствующей намоткой индуктивных катушек L_c и L_k (направления намотки витков катушек резонансного контура и стоковой цепи должны быть противоположными). Так же как и баланс амплитуд, баланс фаз поддерживается в автогенераторе автоматически. Каждый из сдвигов фаз в условии (8.2) зависит от частоты по-разному, но для появления автоколебаний существует только одна частота, на которой выполняется условие баланса фаз, равная резонансной частоте контура. Таким образом, условие баланса фаз определяет частоту генерируемых колебаний.

В автогенераторах широко применяется автоматическое смещение рабочей точки на характеристиках, позволяющее выбрать необходимый режим усиления усилителя. В рассматриваемом автогенераторе в цепь затвора включено звено R_3C_3 для создания на затворе отрицательного смещения U_{30} относительно истока. При появлении положительной полуволны напряжения контура u_k через затвор проходит ток i_3 , который заряжает конденсатор C_3 . В результате на затворе появляется отрицательный потенциал относительно истока. В отрицательный полупериод напряжения u_k ток i_3 равен нулю и конденсатор C_3 разряжается через резистор R_3 , поддерживая на затворе отрицательный потенциал. Если выполнить условие $R_3C_3 \gg T$, где T — период автоколебаний, то конденсатор не будет успевать заметно разряжаться и, следовательно, напряжение смещения U_{30} будет практически постоянным. Соответствующий выбор значений сопротивления R_3 и емкости C_3 обеспечивает работу автогенератора в требуемом режиме усиления. Для данной схемы резистор R_3 имеет сопротивление в несколько мегаом, а конденсатор — емкость около 100 пФ.

Если условия самовозбуждения выполняются не только для одной частоты, а для нескольких частот или какой-то полосы частот, то появляются колебания сложной формы (в том числе прямоугольной), состоящей из нескольких гармонических составляющих или большого числа гармоник.

Автогенераторы по виду элементов, входящих в звенья обратной связи, подразделяются на *LC-автогенераторы (высокочастотные)* и *RC-автогенераторы (низкочастотные)*.

8.2. LC-АВТОГЕНЕРАТОРЫ

LC-автогенераторы синусоидальных колебаний выполняют обычно на однокаскадном усилителе, в котором LC-контур включают как звено положительной обратной связи последовательно с транзистором или параллельно ему. Второй вид включения LC-звена был рассмотрен в § 8.1.

Этот тип автогенератора имеет существенное преимущество, заключающееся в том, что элементы колебательного LC-контура находятся под низким напряжением. Такой автогенератор довольно часто применяется в устройствах промышленной электроники. Однако большим к.п.д. и большей мощностью генерируемых колебаний обладает автогенератор, схема которого изображена на рис. 8.3, где LC-контур включен по-

следовательно с транзистором по отношению к источнику питания. Элементы LC-контура находятся под более высоким напряжением, чем в рассмотренном автогенераторе. Это приводит к тому, что конденсатор той же емкости надо выбирать большего размера. Чтобы избавиться от этого недостатка и сохранить достоинства, которые отмечались, LC-контур включают через разделительный конденсатор C_p параллельно (рис. 8.4). Конденсатор C_p не пропускает постоянную составляющую тока в индуктивную катушку L_k . Дроссель L_p предотвращает короткое замыкание контура по переменной составляющей через источник питания E_c . Такой ге-

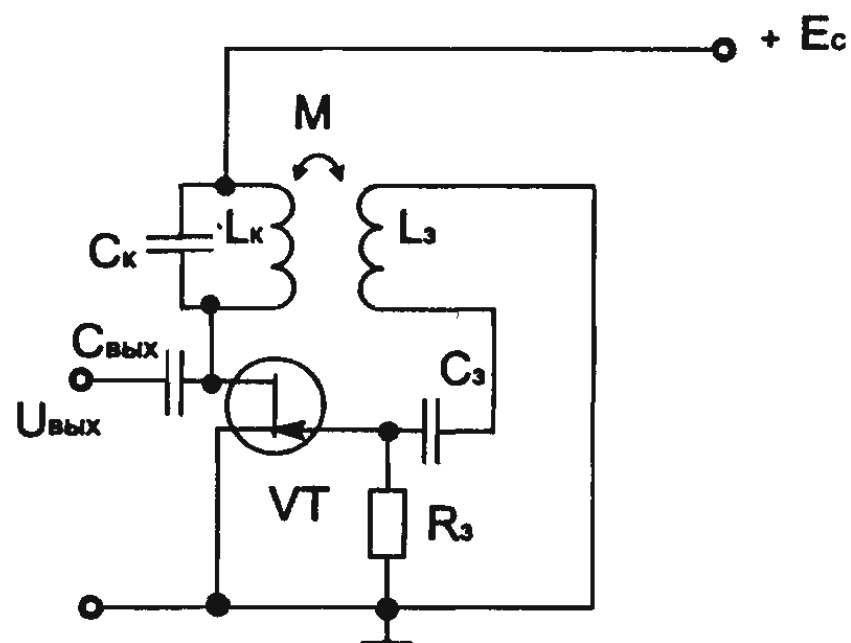


Рис. 8.3. Схема генератора синусоидальных колебаний, в котором LC-контур включен последовательно с транзистором

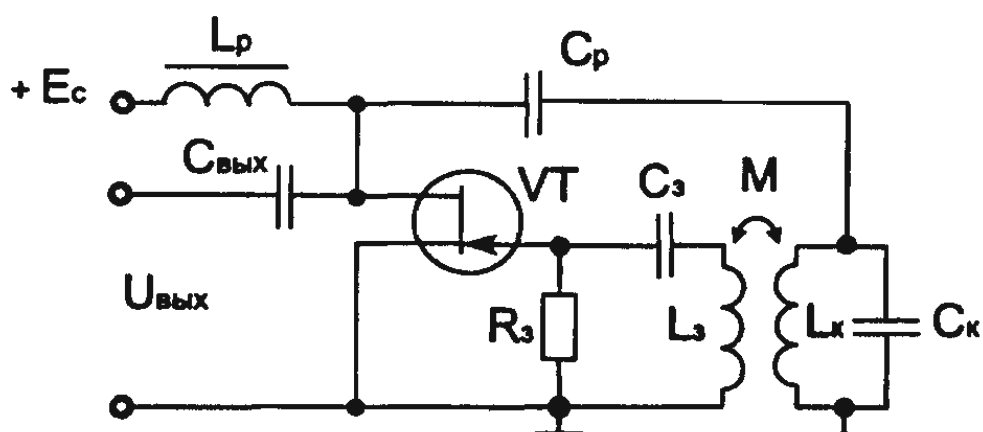


Рис. 8.4. Схема генератора синусоидальных колебаний, в котором LC-контур включён параллельно с транзистором

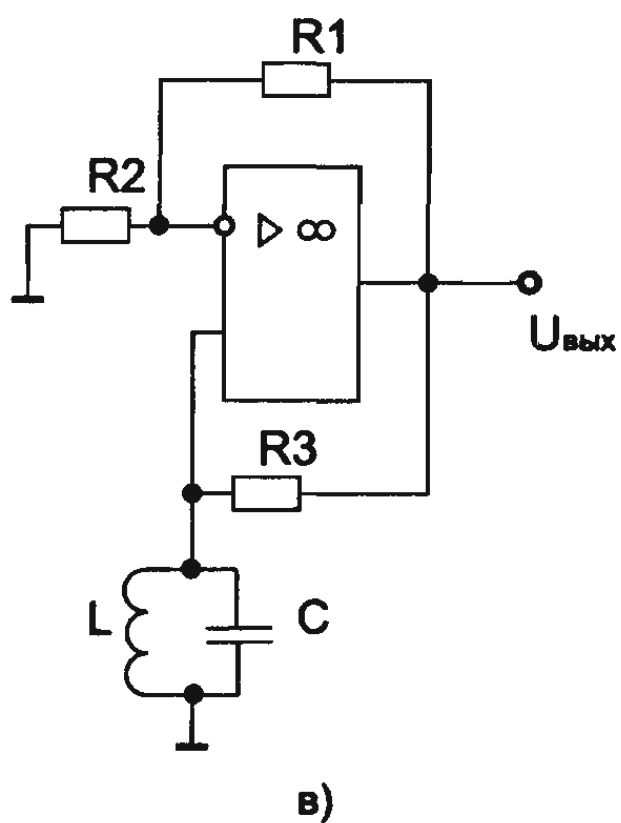
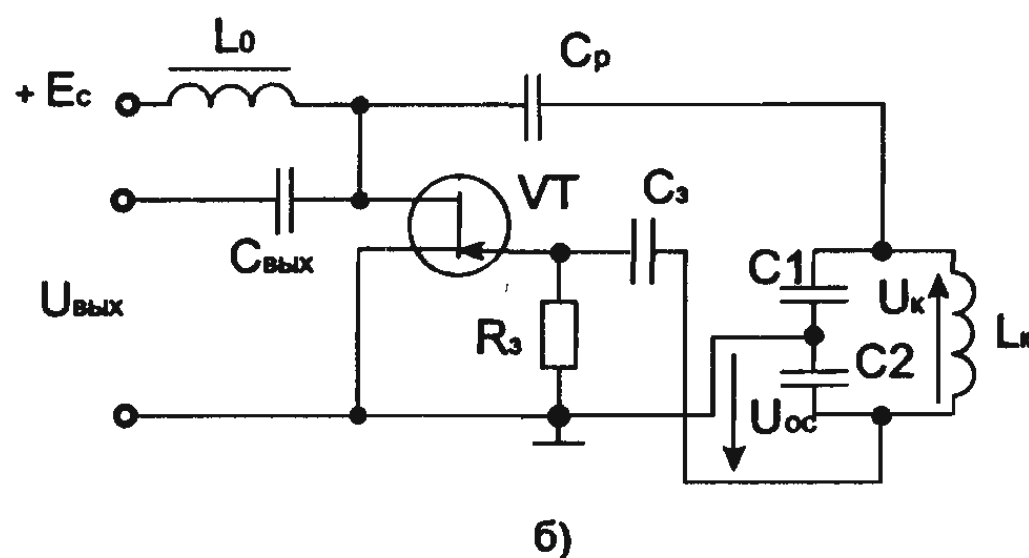
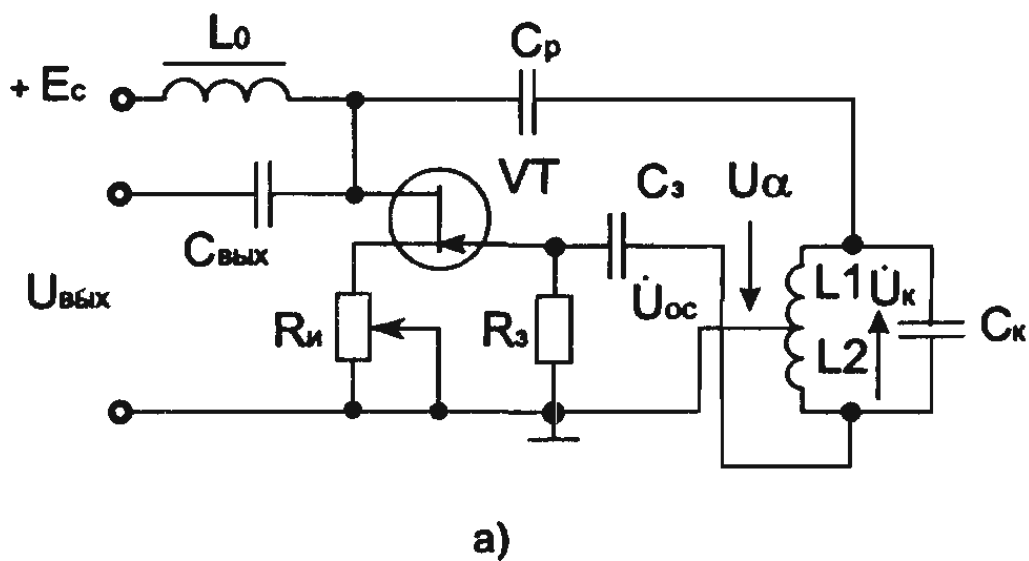


Рис. 8.5. а) LC — генератор, собранный по схеме индуктивной трёхточки; б) LC — генератор, собранный по схеме емкостной трёхточки; в) схема генератора синусоидальных колебаний на операционном усилителе

нератор называют *генератором с параллельным питанием* в отличие от *генератора с последовательным питанием*. Разновидностью последнего типа автогенератора является *трехточечный автогенератор*, в котором LC-контур включается не двумя точками, как обычно, а тремя.

Различают два типа трехточечных автогенераторов: *индуктивный трехточечный автогенератор* («индуктивная трёхточка») и *емкостный трехточечный автогенератор* («емкостная трёхточка»). Включение LC-контура тремя точками позволяет снимать сигнал обратной связи непосредственно с резонансного контура.

На рис. 8.5,а изображена схема индуктивного, а на рис. 8.5,б — емкостного трехточечного автогенератора. Анализ обеих схем показывает, что для создания колебательного контура, настроенного в резонанс, необходимо, чтобы реактивные проводимости противоположных ветвей контура при идеальных конденсаторах и индуктивных катушках были равны:

для индуктивной трёхточки

$$\frac{1}{\omega_0(L1 + L2)} = \omega_0 C_k.$$

для емкостной трехточки

$$\frac{\omega_0 C_1 C_2}{(C_1 + C_2)} = \frac{1}{\omega_0 L_k}$$

Условие баланса фаз в трехточечных автогенераторах выполняется благодаря тому, что напряжение обратной связи U_{oc} (рис. 8.5) и напряжение на контуре U_k по отношению к шине «—» E_c (знак \perp) находятся в противофазе. Условие баланса амплитуд на заданной частоте создается регулированием значений индуктивностей L_1 , L_2 или емкостей C_1 , C_2 .

В автогенераторах могут наблюдаться искажения синусоидальной формы колебаний, что означает соблюдение условий самовозбуждения для гармонических составляющих, близких к основной гармонике с частотой ω_0 . Подобное явление обычно наблюдается в устройствах, у которых добротность контуров мала. Чтобы исключить указанное явление, необходимо применять контуры с добротностью не менее 100. Кроме того, искажение формы генерируемых колебаний может происходить при большом коэффициенте обратной связи β : чем больше β , тем больше будет искажена форма генерируемых колебаний. Действительно, несмотря на ослабление контуром других гармонических составляющих, близких к резонансной, для них все же будет выполняться условие баланса амплитуд. Регулировать величину β довольно затруднительно, поэтому обычно вводят отрицательную обратную связь. Например, в схеме рис. 8.5,а в истоковую цепь включают переменный резистор $R_{и}$. Изменением сопротивления этого резистора можно добиться оптимального значения коэффициента передачи звена отрицательной обратной связи, а следовательно, хорошей синусоидальной формы генерируемых колебаний.

Изменение частоты автоколебаний осуществляется изменением емкости конденсатора C_k колебательного контура в схеме рис. 8.5,а, а в схеме рис. 8.5,б — изменением индуктивности катушки колебательного контура L_k , что не всегда удобно, так как при этом нужно перемещать сердечник катушки или изменять число ее витков. Поэтому чаще применяют автогенератор с индуктивной трехточкой. Изменение емкости конденсатора обычно осуществляют механическим перемещением одной из обкладок воздушного конденсатора. В последнее время в качестве конденсатора колебательного контура используют варикап, емкость которого изменяется

путем изменения постоянного напряжения, подаваемого на варикап, что значительно упрощает перестройку частоты автоколебаний.

Отметим, что LC-автогенераторы выполняются и на операционных усилителях, но на частотах не выше 15 МГц. Это объясняется тем, что выпускаемые в настоящее время операционные усилители на частотах выше 15 МГц имеют, как правило, коэффициент усиления, равный единице. Принципиальная схема такого автогенератора изображена на рис. 8.5, в. Резисторы R1 и R2 образуют цепь отрицательной обратной связи. Резонансный LC-контур включен как звено положительной ОС.

8.3. RC-АВТОГЕНЕРАТОРЫ

Для получения гармонических колебаний низкой и инфранизкой частот (от нескольких сотен килогерц до долей герц) применяют автогенераторы, у которых в качестве звеньев обратных связей используются RC-четырёхполюсники. Такие автогенераторы получили название *RC-автогенераторов*. Применение RC-четырёхполюсников вызвано тем, что LC-контур на таких частотах становятся громоздкими, а такой электрический параметр, как добротность, ниже необходимых требований. С помощью RC-ав-

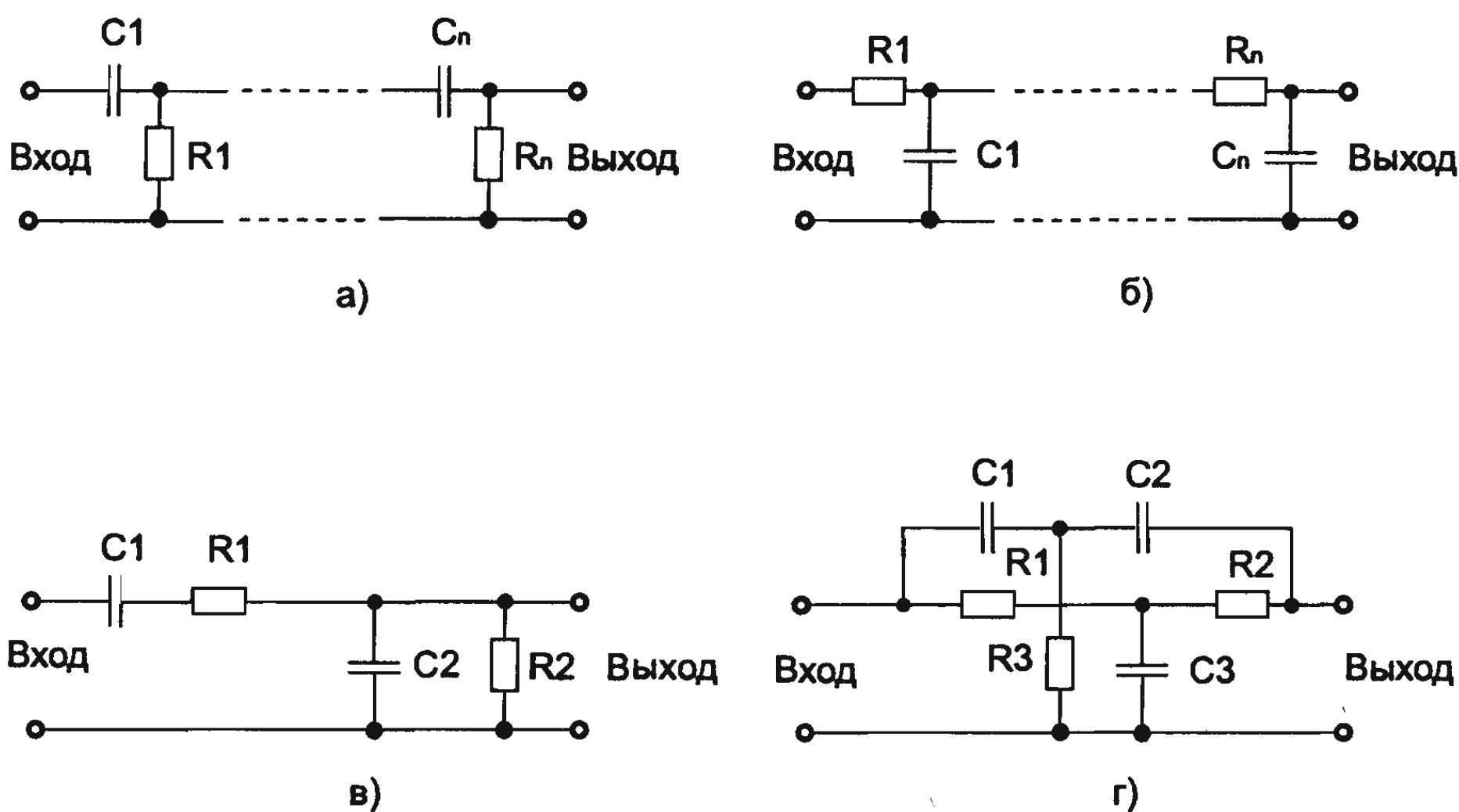


Рис. 8.6. Частотно — зависимые RC-цепи

тогенераторов можно получать колебания и высокой частоты вплоть до 10 МГц, однако преимущества RC-автогенераторов проявляются именно на низких и инфранизких частотах. В этом частотном диапазоне за счет применения резисторов и конденсаторов RC-автогенераторы обладают более высокой стабильностью, имеют меньшие габариты, массу и стоимость, чем LC-автогенераторы. Для создания RC-автогенераторов широко используют биполярные транзисторы, а в последнее время полевые транзисторы и операционные усилители в интегральном исполнении.

В соответствии со структурной схемой автогенератора, изображенной на рис. 8.1, RC-автогенератор также содержит усилитель (обычно однокаскадный или двухкаскадный) и звено обратной связи, являющееся частотно-зависимой RC-цепью. Как правило, такими частотно-зависимыми цепями являются Г-образные RC-цепи (рис. 8.6, а, б), мост Вина (рис. 8.6, в) и двойной Т-образный мост (рис. 8.6, г).

RC-автогенератор с Г-образным RC-звеном обратной связи представляет собой однокаскадный усилитель, охваченный положительной обратной связью (рис. 8.7, а). Как известно, в однокаскадном усилителе без обратной связи входное и выходное напряжения сдвинуты по фазе на 180° . Если выходное напряжение этого усилителя подать на его вход, то получится 100%-ная отрицательная обратная связь. Для соблюдения баланса фаз, т. е. для введения положительной обратной связи в усилителе, выходное напряжение, прежде чем подать его на вход усилителя, необходимо сдвинуть по фазе на 180° . Если считать, что входное сопротивление усилителя очень большое, а выходное очень малое, а этим условиям отвечают в наибольшей степени усилители на полевых транзисторах, то фазовый сдвиг на 180° можно осуществить с помощью трех одинаковых RC-звеньев, каждое из которых изменяет фазу на 60° . Расчеты показывают, что баланс фаз в звене происходит на частоте $f_0 = 1/(15,4 RC)$, а баланс амплитуд — при коэффициенте усиления усилителя $K \geq 29$.

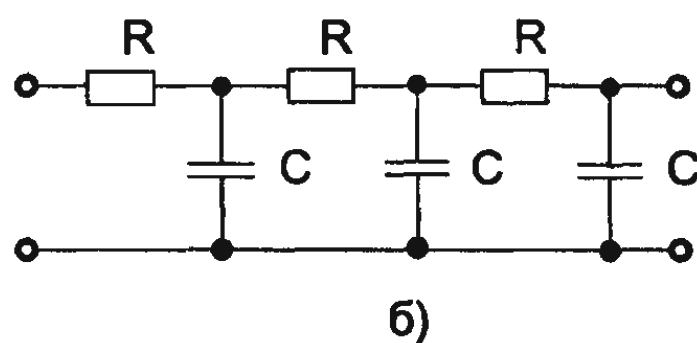
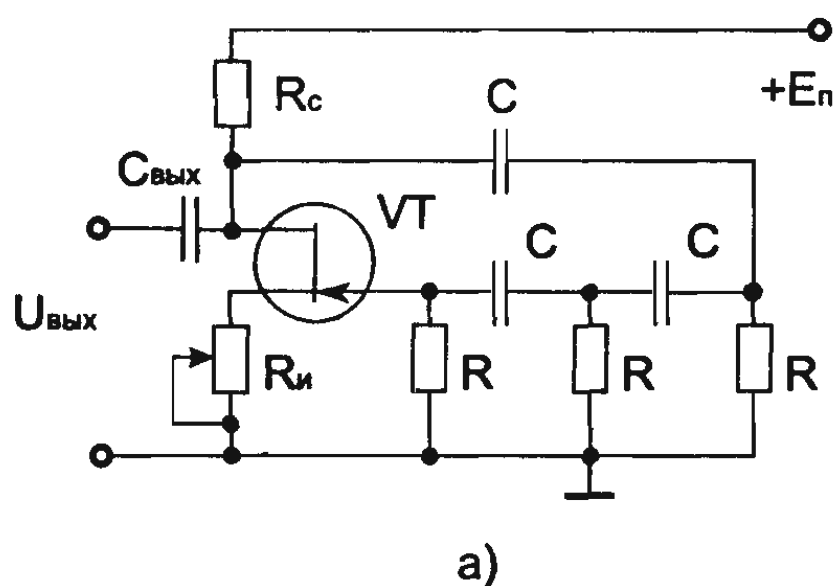


Рис. 8.7. RC — генератор с Г-образным RC-звеном обратной связи

Если в автогенераторе, схема которого представлена на рис. 8.7,а, поменять местами резисторы и конденсаторы (рис. 8.7, б), то генерация автоколебаний будет на частоте $f_0 = 1/(7,5 RC)$ при коэффициенте усиления усилителя $K \geq 18,4$.

Отметим, что Г-образные RC-цепи иногда выполняют с количеством звеньев больше трех (чаще всего четырехзвенные). Увеличением количества звеньев в автогенераторе рис. 8.7,а можно повысить частоту генерации; еще большего увеличения частоты генерации можно добиться при смене мест резисторов и конденсаторов в RC-цепи того же генератора.

Для изменения частоты генерации в рассматриваемом генераторе необходимо изменять одновременно либо все сопротивления R, либо все емкости C. Заметим, что автогенераторы с Г-образными RC-цепями работают обычно на фиксированной частоте или в крайнем случае в узком перестраиваемом диапазоне.

Рассмотренный RC-автогенератор имеет ряд недостатков: 1) цепь обратной связи сильно шунтирует каскад усилителя, вследствие чего снижается коэффициент усиления и нарушается условие баланса амплитуд, т. е. возникающие колебания могут быть неустойчивыми; 2) генерируемые колебания имеют значительное искажение формы, вызванное тем, что условия самовозбуждения выполняются для гармоник с частотой, близкой к f_0 ; это объясняется отсутствием строгой избирательности к основной частоте Г-образных RC-цепей.

8.4. АВТОГЕНЕРАТОРЫ ГАРМОНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ НА ЭЛЕМЕНТАХ С ОТРИЦАТЕЛЬНЫМ СОПРОТИВЛЕНИЕМ

Можно показать, что в рассмотренных автогенераторах положительная обратная связь превращает транзистор в прибор с отрицательным сопротивлением, который компенсирует положительное сопротивление контура $R_{эк}$, обусловленное потерями энергии. Как известно, отрицательное сопротивление возникает тогда, когда увеличение напряжения на элементе вызывает уменьшение тока в нем. Возникновение в колебательном контуре незатухающих колебаний возможно также в том случае, если вместо положительной обратной связи параллельно контуру включить прибор, обла-

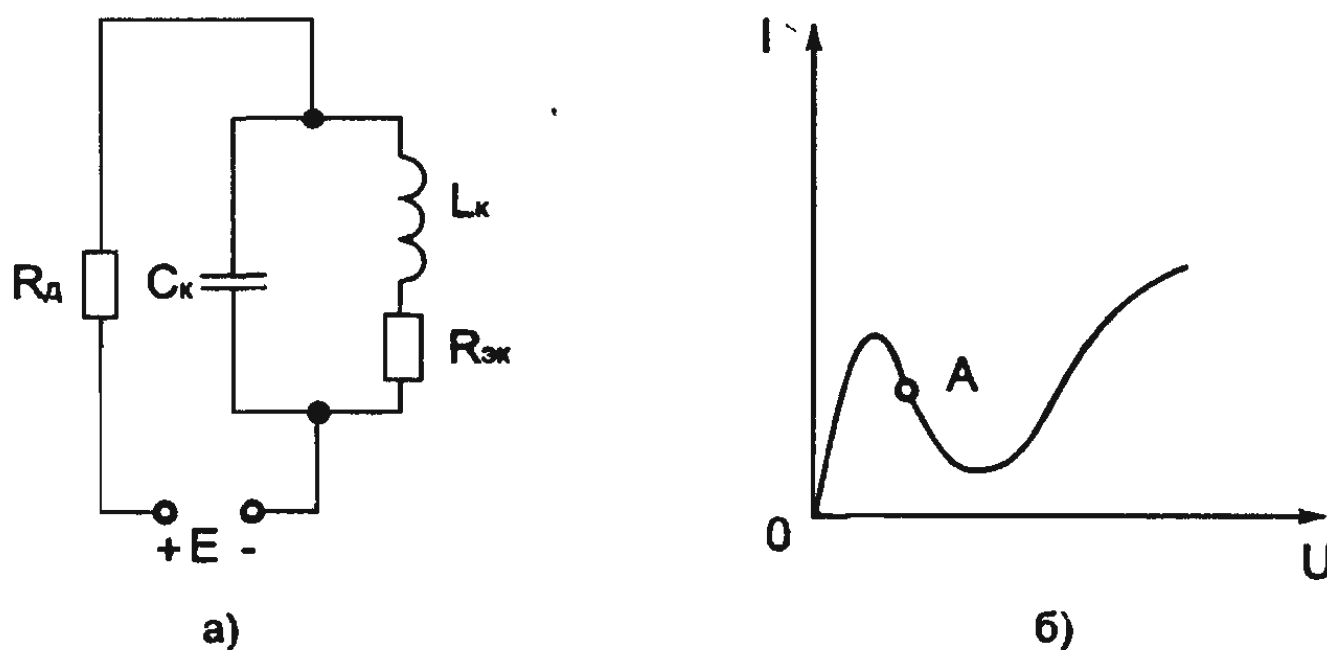


Рис. 8.8. Обобщённая схема LC - генератора на элементе с отрицательным сопротивлением

дающий отрицательным сопротивлением (рис. 8.8, а); при этом должно соблюдаться условие $R_d \leq R_{эк}$, где R_d — отрицательное динамическое сопротивление прибора, подключаемого к колебательному контуру.

К приборам, имеющим отрицательное сопротивление, относят туннельные и обращенные диоды; терморезисторы, тиристоры и другие приборы, у которых вольт-амперная характеристика имеет падающий участок (рис. 8.8, б). Рабочую точку А обычно выбирают посередине падающего участка.

Наибольшее применение в автогенераторах гармонических колебаний получили туннельные диоды.

В таком автогенераторе частота генерируемых колебаний:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_k C_k} - \frac{R_{эк}}{L_k^2}},$$

где L_k и C_k — индуктивность катушки и емкость конденсатора колебательного контура; $R_{эк}$ — эквивалентные активные потери в контуре.

Туннельные диоды в автогенераторах позволяют получить колебания с частотой до 100 ГГц, т. е. колебания диапазона СВЧ. Широкое применение туннельных диодов объясняется их малыми габаритами, массой и высокой экономичностью. Отметим, что наиболее целесообразно использовать туннельные диоды для получения колебаний в диапазоне СВЧ, где их преимущества проявляются в наибольшей степени.

8.5. СТАБИЛИЗАЦИЯ ЧАСТОТЫ В АВТОГЕНЕРАТОРАХ

Стабильность частоты автогенераторов является одним из важнейших параметров, в значительной степени определяющих надежность и точность работы устройств промышленной электроники. Нестабильность частоты генерируемых колебаний зависит от изменений температуры, влажности, давления, от механических воздействий, колебаний напряжения питания, внешних электромагнитных полей и других дестабилизирующих факторов. Воздействие дестабилизирующих факторов на стабильность частоты проявляется в изменении емкостей конденсаторов, индуктивностей дросселей и сопротивлений резисторов, входящих в состав колебательных контуров и RC-цепей обратных связей. Стабильность частоты автогенераторов зависит также от паразитных емкостей и индуктивностей и их изменений, которые так или иначе влияют на частоту f_0 и которые необходимо учитывать при расчетах и настройке автогенераторов.

Влияние температуры сказывается на изменениях линейных размеров индуктивных катушек и конденсаторов. Так, с повышением температуры линейные размеры указанных элементов изменяются, что влечет за собой изменение емкости и индуктивности колебательного контура соответственно на DC и DL .

Относительное изменение емкости конденсатора $\Delta C/C$ при изменении температуры на 1°C называют *температурным коэффициентом емкости* (ТКС). Он может быть как положительным, так и отрицательным. Например, керамические конденсаторы выпускают с положительным ТКС порядка $(30...50) \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ и с отрицательным ТКС $(30-50) \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$. Относительное изменение индуктивности катушки $\Delta L/L$ при изменении температуры на 1°C называют *температурным коэффициентом индуктивности* (ТКЛ). У лучших по термостабильности катушек ТКЛ имеет значение $(50...100) \cdot 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$. При изменении температуры изменяется и сопротивление резисторов. Относительное изменение сопротивления резистора $\Delta R/R$ при изменении температуры на 1°C называют *температурным коэффициентом сопротивления* (ТКР). Оно также может быть положительным и отрицательным. У линейных углеродистых резисторов широкого применения типов ВС и УЛИ ТКР отрицательный и имеет значение $-10^{-3}...10^{-5} 1/^\circ\text{C}$. Металлизиро-

ванные резисторы широкого применения, например типа МЛТ, имеют положительный ТКР порядка 10^{-4} $1/^\circ\text{C}$.

Следует отметить также, что на нестабильность генерируемой частоты, вызванную изменением температуры, сильно влияют изменения параметров транзисторов. нестабильность частоты автогенераторов оценивают коэффициентом относительной нестабильности $\Delta f/f_0$, где f_0 — рабочая (номинальная) частота автогенератора; Δf — отклонение частоты от рабочей.

Для уменьшения нестабильности частоты используют различные способы стабилизации частоты. Различают параметрическую и кварцевую стабилизацию частоты.

Параметрическая стабилизация частоты сводится к ослаблению влияния внешних факторов на частоту генерируемых колебаний, а также к подбору элементов генератора, обеспечивающих минимальные изменения частоты. Для уменьшения влияния температуры на изменение емкости конденсаторов и сопротивления резисторов в автогенератор включают конденсаторы и резисторы с отрицательными и положительными ТКС и ТКР. Снижение воздействия температуры на индуктивность катушек достигается за счет применения специальных материалов для каркасов катушек. Для исключения влияния температуры на параметры транзисторов в отдельных случаях автогенераторы помещают в термостат.

Уменьшение влияния механических ударов и вибрации достигается применением массивных корпусов (шасси), на которых крепят детали автогенератора, амортизационных прокладок из губчатой резины, специальных подвесок и т. д. Печатный монтаж и использование проводов индуктивных катушек, вжигаемых в керамику, практически полностью устраняют влияние механических воздействий. Параметрическая стабилизация частоты позволяет снизить нестабильность до 10^{-5} .

Для уменьшения воздействия внешних электромагнитных полей автогенераторы обычно полностью экранируют. Применение стабилизаторов напряжения исключает влияние на частоту колебаний питающего напряжения.

Кварцевая стабилизация частоты заключается в применении кварцевых резонаторов, что дает очень низкую нестабильность частоты, обычно порядка 10^{-8} . Индуктивность кварца $L_{\text{кв}}$ может быть значительной — от десятков микрогенри до нескольких миллигенри. Емкость кварца $C_{\text{кв}}$ мала (сотые доли пикофарад). Кварцевый резонатор обладает острым резонансом, что свидетельствует

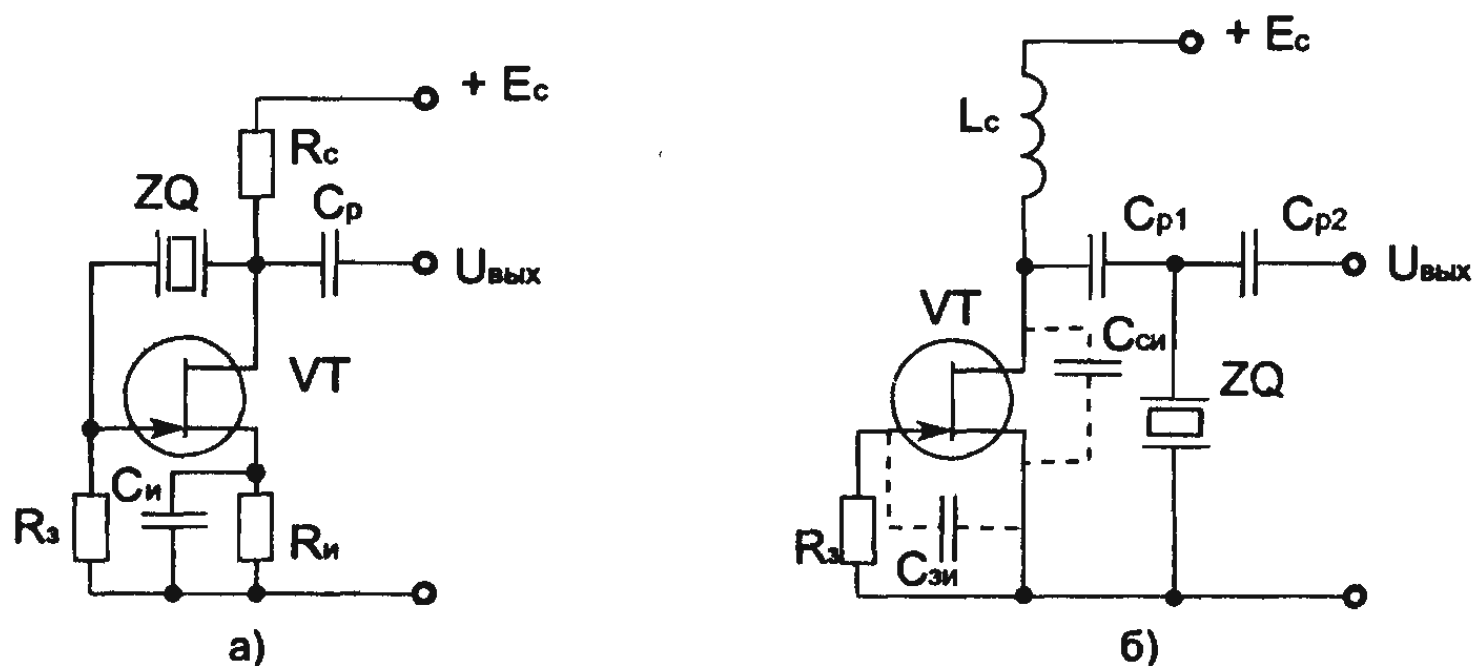


Рис. 8.9. Схемы автогенераторов с кварцевой стабилизацией частоты

о небольшом сопротивлении $R_{кв}$, порядка единиц ом. Поэтому добротность кварца достигает $10^5...10^6$, т. е. она на два-три порядка больше добротности контуров, выполненных на дискретных элементах — катушке индуктивности и конденсаторе.

Частотные свойства кварцевого резонатора обуславливают его различное включение в автогенератор. Кварцевый резонатор можно включать в цепь положительной обратной связи как последовательный (колебательный) контур (рис. 8.9, а) или в трехточечный автогенератор как индуктивный элемент ветви колебательного контура (рис. 8.9, б).

Температурная нестабильность кварцевого резонатора очень мала — у некоторых кристаллов она имеет значение 10^{-8} .

В схеме рис. 8.9,б кварц включен как индуктивный элемент. Вместе с межэлектродными емкостями $C_{си}$ и $C_{зи}$ рассматриваемый автогенератор представляет собой емкостную трехточку, что видно из его схемы.

Кварцевую стабилизацию частоты обычно применяют в автогенераторах, работающих на фиксированных частотах (низкой и высокой), что является ее недостатком. Рассмотренные кварцевые автогенераторы являются простейшими. Современный кварцевый автогенератор с высокой стабильностью частоты представляет собой довольно сложное устройство, содержащее стабилизаторы напряжения питания, а также такие элементы параметрической стабилизации, как амортизаторы и влагозащитные корпуса. Для получения стабильных колебаний звуковой и инфранизкой частот служат камертонные и магнитострикционные вибраторы, выполненные из специальных сплавов. В СВЧ-генераторах в качестве стабилизирующих контуров применяют устройства, называемые полыми резонаторами, с добротностью $10^4...10^5$.

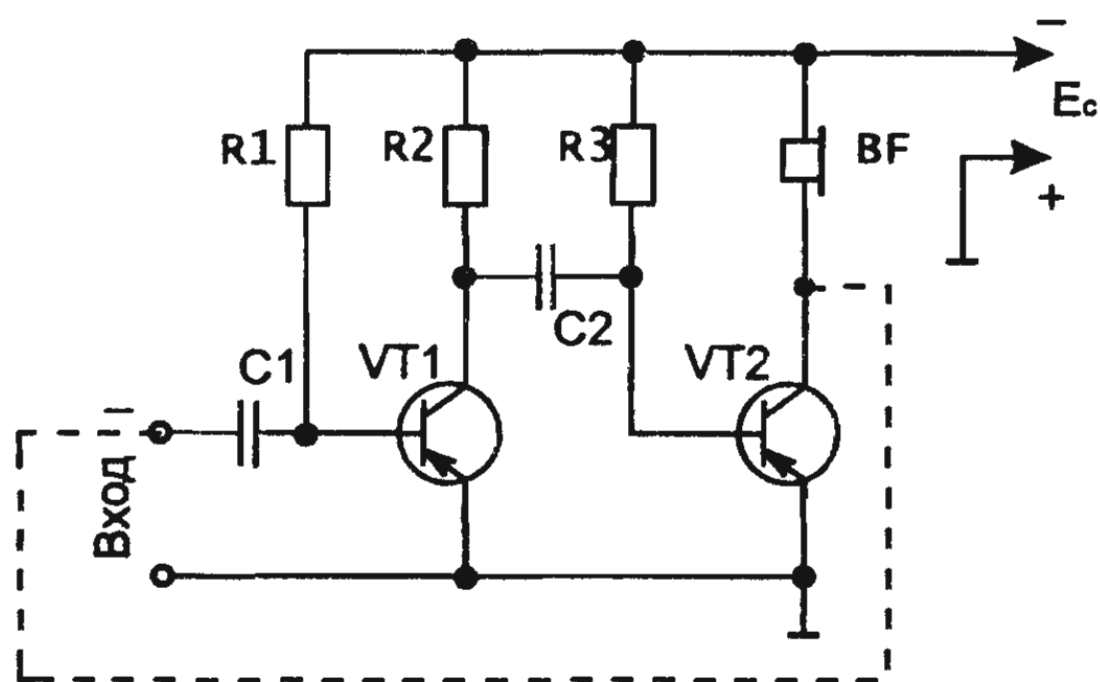
8.6. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ МУЛЬТИВИБРАТОРА

Импульсы прямоугольной формы имеют резкие перепады напряжения и тока во время формирования фронта и среза, поэтому их можно отнести к колебаниям релаксационного типа, для которых характерны скачкообразные изменения напряжения и тока. Генераторы, которые вырабатывают такие колебания, называют релаксационными. Широкое распространение нашли релаксационные генераторы на основе усилителей с положительной обратной связью (рис.8.10).

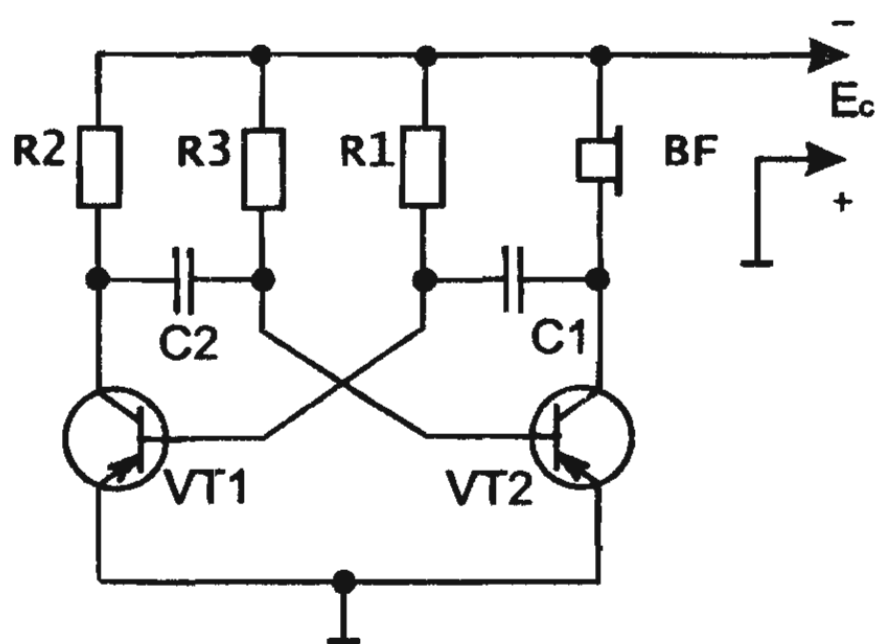
На рис.8.10,а изображена схема двухкаскадного усилителя звуковой частоты с выходом на головные телефоны. Если выход такого усилителя соединить с его входом, как на рис. 8.10,а показано штриховой линией, то между каскадами возникает положительная обратная связь и усилитель самовозбудится — станет генератором прямоугольных колебаний, и в телефонах мы услышим звуковой сигнал.

Теперь посмотрим на рис. 8,10,б. На нем изображена схема того же усилителя, только начертание ее несколько изменилось. Именно так обычно чертят схемы автоколебательных, т. е. самовозбуждающихся мультивибраторов.

В мультивибраторе оба транзистора могут находиться в активном режиме очень короткое время, так как в результате действия положительной обратной связи схема скачком переходит в состояние, когда один транзистор открыт, а другой закрыт. Примем для определенности, что в



а)



б)

Рис. 8.10. Преобразование двухкаскадного УЗЧ в мультивибратор

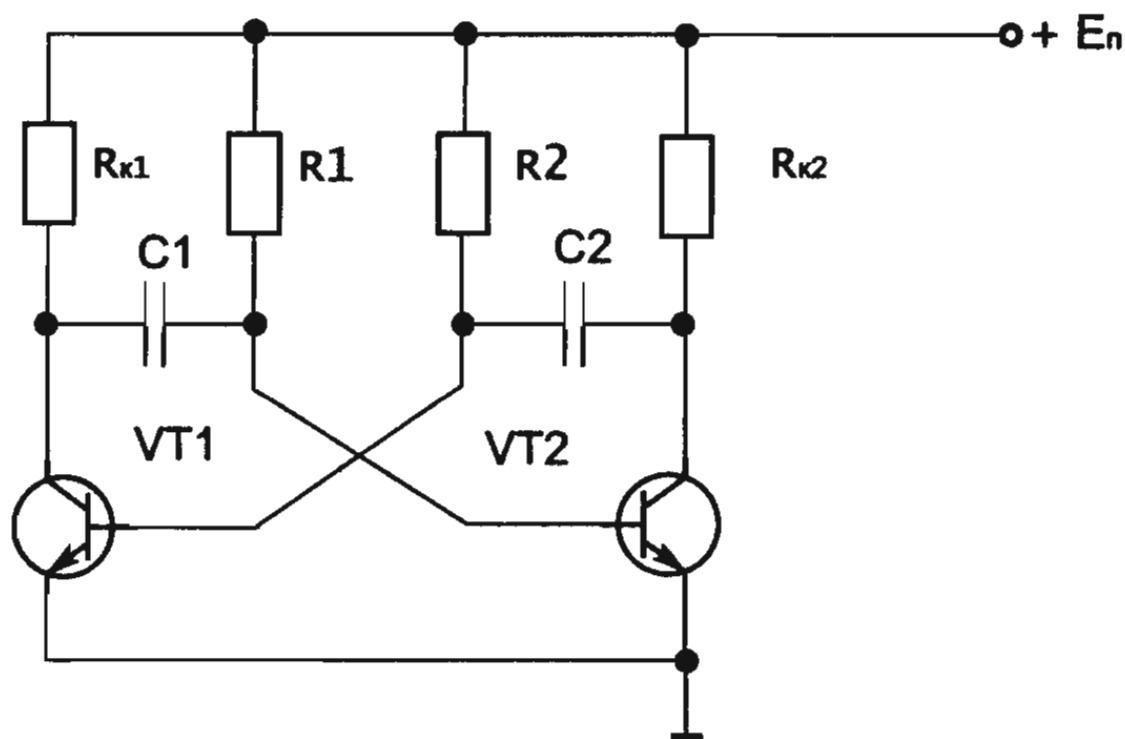


Рис. 8.11. Схема простейшего мультивибратора на транзисторах

момент времени t_0 транзистор VT1 открыт и насыщен, а транзистор VT2 закрыт (рис. 8.11). Конденсатор C1 за счет тока, протекавшего в схеме в предыдущие моменты времени, заряжен до определенного напряжения. Полярность этого напряжения такова, что к базе транзистора VT2 относительно эмиттера приложено

отрицательное напряжение и VT2 закрыт. Поскольку один транзистор закрыт, а другой открыт и насыщен, в схеме не выполняется условие самовозбуждения, так как коэффициенты усиления каскадов $K_1 = K_2 = 0$.

В таком состоянии в схеме протекают два процесса. Один процесс связан с протеканием тока перезарядки конденсатора C1 от источника питания по цепи: резистор R1 — открытый транзистор VT1. Второй процесс обусловлен зарядкой конденсатора C2 через резистор R_{k2} и базовую цепь транзистора VT1, в результате напряжение на коллекторе транзистора VT2 увеличивается (рис. 8.12). Поскольку резистор, включаемый в базовую цепь транзистора, имеет большее сопротивление, чем коллекторный резистор ($R_1 > R_{k2}$), время зарядки конденсатора C2 меньше времени перезарядки конденсатора C1.

Процесс зарядки конденсатора C2 носит экспоненциальный характер с постоянной времени $\tau_2 = R_{k2}C_2$. Следовательно, время зарядки конденсатора C2, а также время нарастания коллекторного напряжения $u_{кэ2}$, т. е. длительность фронта импульса $\tau_{\phi 1} = (3...5)R_{k2}C_2$. За это время конденсатор C2 заряжается до напряжения $U_{C2} = U_{\Pi} - U_{БЭ\text{ нас}} \approx U_{\Pi}$, где U_{Π} — напряжение источника питания.

В связи с перезарядкой конденсатора C1 напряжение на базе $u_{бэ2}$ транзистора VT2 нарастает, но пока $u_{бэ2} < U_{отп} \approx U_{БЭ\text{ нас}}$ транзистор VT2 закрыт, а транзистор VT1 открыт, поскольку его база оказывается подключенной к положительному полюсу источника питания через резистор R2. Базовое $u_{бэ1}$ и коллекторное $u_{кэ1}$ напряжения транзистора VT1 при этом не изменяются. Это состояние схемы называется квазистойчивым.

В момент времени t_1 по мере перезарядки конденсатора напряжение на базе транзистора VT2 достигает напряжения открывания и транзистор VT2 переходит в активный режим работы, для которого $K_2 > 1$. При открывании VT2 увеличивается коллекторный ток $i_{к2}$ и соответственно уменьшается $u_{кэ2}$. Уменьшение $u_{кэ2}$ вызывает снижение базового тока транзистора VT1, что в свою очередь приводит к уменьшению коллекторного тока $i_{к1}$. Снижение тока $i_{к1}$ сопровождается увеличением базового тока транзистора VT2, поскольку ток, протекающий через резистор $R_{к1}$, ответвляется в базу транзистора VT2, и $\Delta i_{б2} = -\Delta i_{к1}$. После того как транзистор VT1 выйдет из режима насыщения, в схеме выполняется условие самовозбуждения $K_1 > 1$. При этом процесс переключения схемы протекает лавинообразно и заканчивается, когда транзистор VT2 переходит в режим насыщения, а транзистор VT1 — в режим отсечки.

В дальнейшем практически разряженный конденсатор C1 ($u_{с1} = U_{БЭ\text{ нас}} - U_{КЭ\text{ нас}}$) заряжается от источника питания по цепи: резистор $R_{к1}$ — базовая цепь открытого транзистора VT2 по экспоненциальному закону с постоянной времени $\tau_1 = R_{к1}C1$. В результате в течение времени $\tau_{ф2} = (3...5)C1R_{к1}$ происходит увеличение напряжения на конденсаторе C1 до $u_{с1} = U_{п} - U_{БЭ\text{ нас}}$ и формируется фронт коллекторного напряжения $u_{к1}$ транзистора VT1.

Закрытое состояние транзистора VT1 обеспечивается тем, что первоначально заряженный до напряжения $U_{п}$ конденсатор C2 через открытый транзистор VT2 подключен к промежутку база-эмиттер транзистора VT1, чем поддерживается отрицательное напряжение на его базе. С течением времени запирающее напряжение на базе изменяется, поскольку конденсатор C2 перезаряжается по цепи: резистор R2 — открытый транзистор VT2. В момент времени t_2 напряжение на базе транзистора VT1 достигает значения $u_{отп} \approx U_{БЭ}$ и он открывается.

В схеме снова выполняется условие самовозбуждения и развивается регенеративный процесс, в результате которого транзистор VT1 переходит в режим насыщения, а VT2 закрывается. Конденсатор C1 оказывается заряженным до напряжения $u_{с1} = U_{п} - U_{БЭ\text{ нас}}$, а конденсатор C2 практически разряжен ($u_{с2} = U_{БЭ\text{ нас}} - U_{КЭ\text{ нас}}$). Это соответствует моменту времени t_0 , с которого началось рассмотрение процессов в схеме. На этом полный цикл работы мультивибратора заканчивается, так как в дальнейшем процессы в схеме повторяются.

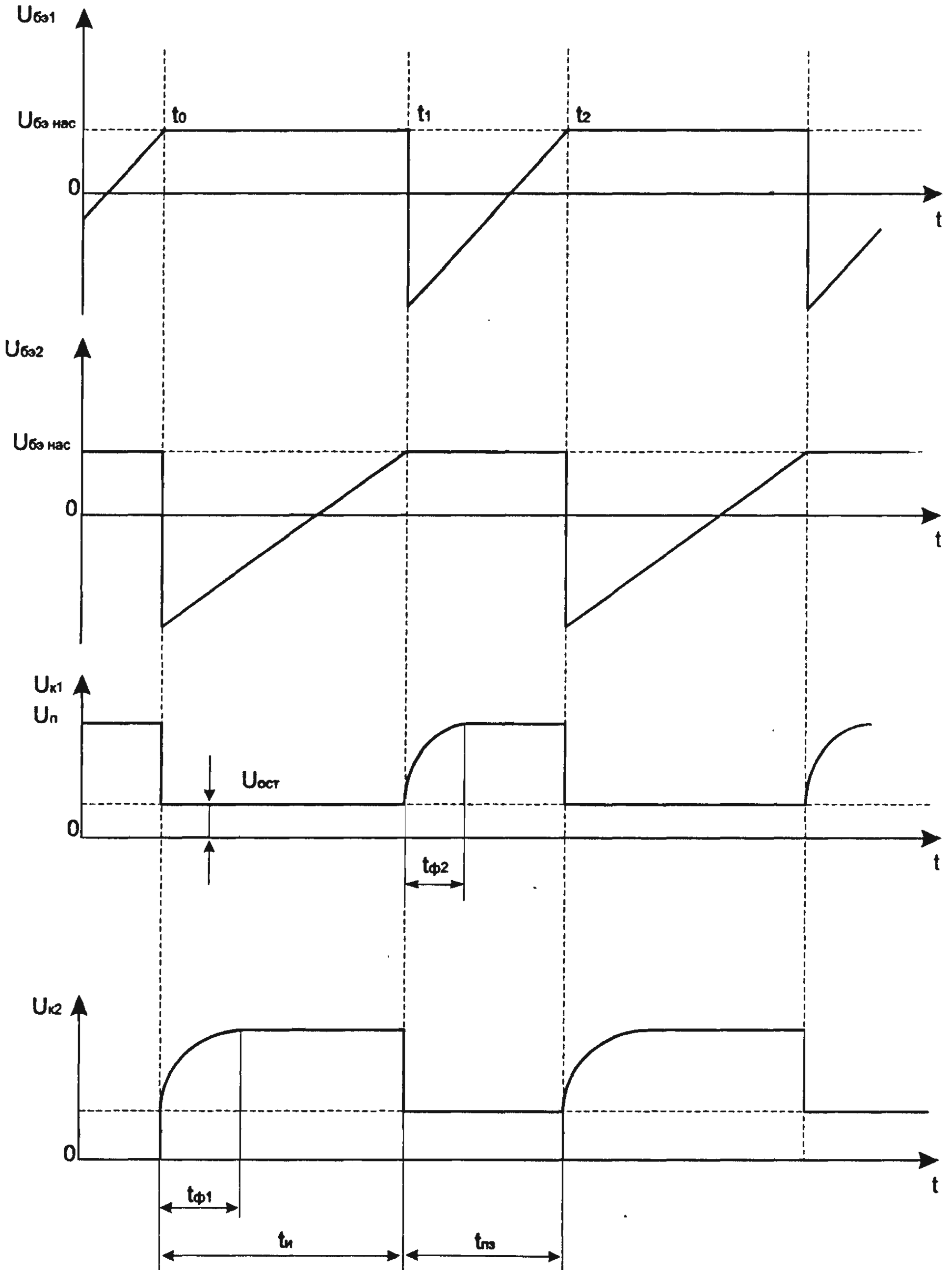


Рис. 8.12. Временные диаграммы мультивибратора

Как следует из временной диаграммы (рис. 8.12), в мультивибраторе периодически повторяющиеся импульсы прямоугольной формы можно снимать с коллекторов обоих транзисторов. В случае, когда нагрузка подключается к коллектору транзистора VT2, длительность импульсов $t_{и}$ определяется процессом перезарядки конденсатора C1, а длительность паузы $t_{пз}$ — процессом перезарядки конденсатора C2.

Примерную частоту колебаний мультивибратора можно подсчитать по такой упрощенной формуле: $f = 700/(RC)$, где f — частота в герцах, R — сопротивление базовых резисторов в килоомах, C — емкость конденсатора связи в микрофарадах.

8.7. ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

8.7.1. Генератор для настройки радиоаппаратуры [19]

Предлагается схема несложного генератора (рис. 8.13) для ремонта и настройки радиовещательных приемников и бытовой звуковоспроизводящей аппаратуры. В отличие от опубликованных ранее подобных схем, в нем отсутствуют их основные недостатки:

- нет намоточных элементов;
- нет необходимости пользоваться различными выходными зажимами или переключателем ВЧ-НЧ, т. к. сигнал на выходе состоит из НЧ (1 кГц) и ВЧ (465 кГц), промодулированной по амплитуде.

Для генератора характерны:

- простота настройки;
- широкий диапазон питающих напряжений.

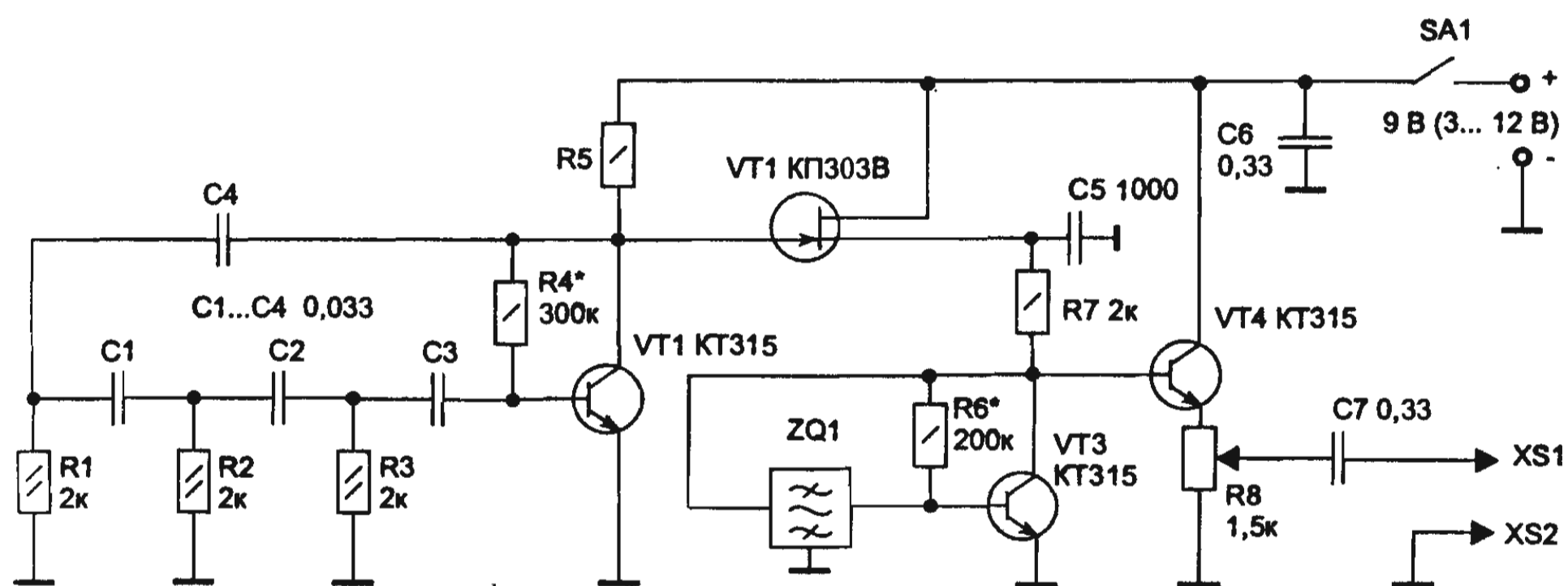


Рис. 8.13. Схема генератора для настройки аппаратуры

Каскад на транзисторе VT1—генератор НЧ с частотой примерно 1 кГц близкой к синусоидальной форме, VT2 —истоковый повторитель и модулятор, VT3-генератор ВЧ (465 КГц) с пьезокерамическим фильтром (ПКФ) в цепи ОС. R6 задаст режим работы каскада, R7 служит нагрузкой. Конденсатор С5 является блокировочным для ВЧ.

На транзисторе VT4 собран эмиттерный повторитель, через который на выход поступают одновременно НЧ и ВЧ.

Благодаря высокой стабильности и малому отклонению от стандартной ПЧ, имеется возможность настроить контуры ПЧ на 465 кГц. Настройка пробника сводится к подбору R4 так, чтобы напряжение на коллекторе VT1 равнялось половине напряжения питания, и подбору R6 (без включенного ПКФ) до напряжения на коллекторе VT3, равного примерно трети напряжения питания. При соотношениях $R5 = R4/V1$ и $R7 = R6/V3$ настройка не требуется. Здесь V1 и V3 — статические коэффициенты усиления по току транзисторов VT1 и VT3 соответственно.

VT2 можно заменить обычным биполярным транзистором в соответствующем включении: Б — затвор, К — сток, Э — исток. ПКФ — типа ФП1П — 022...027.

8.7.2. Генератор ВЧ [20]

Предлагается схема ГВЧ с повышенной стабильностью (рис. 8.14). Она обладает большими входным и выходным сопротивлениями и меньшей выходной емкостью, чем стандартная индуктивная трехточка. Транзисторы включены по схеме «Общий сток — общая база», VT1 служит для развязки. Выходное напряжение генератора — 0,1...0,2 В. В цепь коллектора VT1 может быть включен (обязательно через резистор 50...100 Ом) дополнительный контур, настроенный на основную частоту или гармонику. Возможные варианты включения основного контура показаны на рис. 8.15. Конденсатор С2 может иметь емкость порядка единиц пикофард. Движок R2 устанавливают в нижнее по схеме положение и двигают до получения генерации на самой низкой частоте контура. Для получения гармоник движок устанавливают выше. Если стабильность не так важна, а нужна равномерность по амплитуде, применяют полное включение контура. На НЧ-диапазонах его шунтируют резистором величиной несколько килоом.

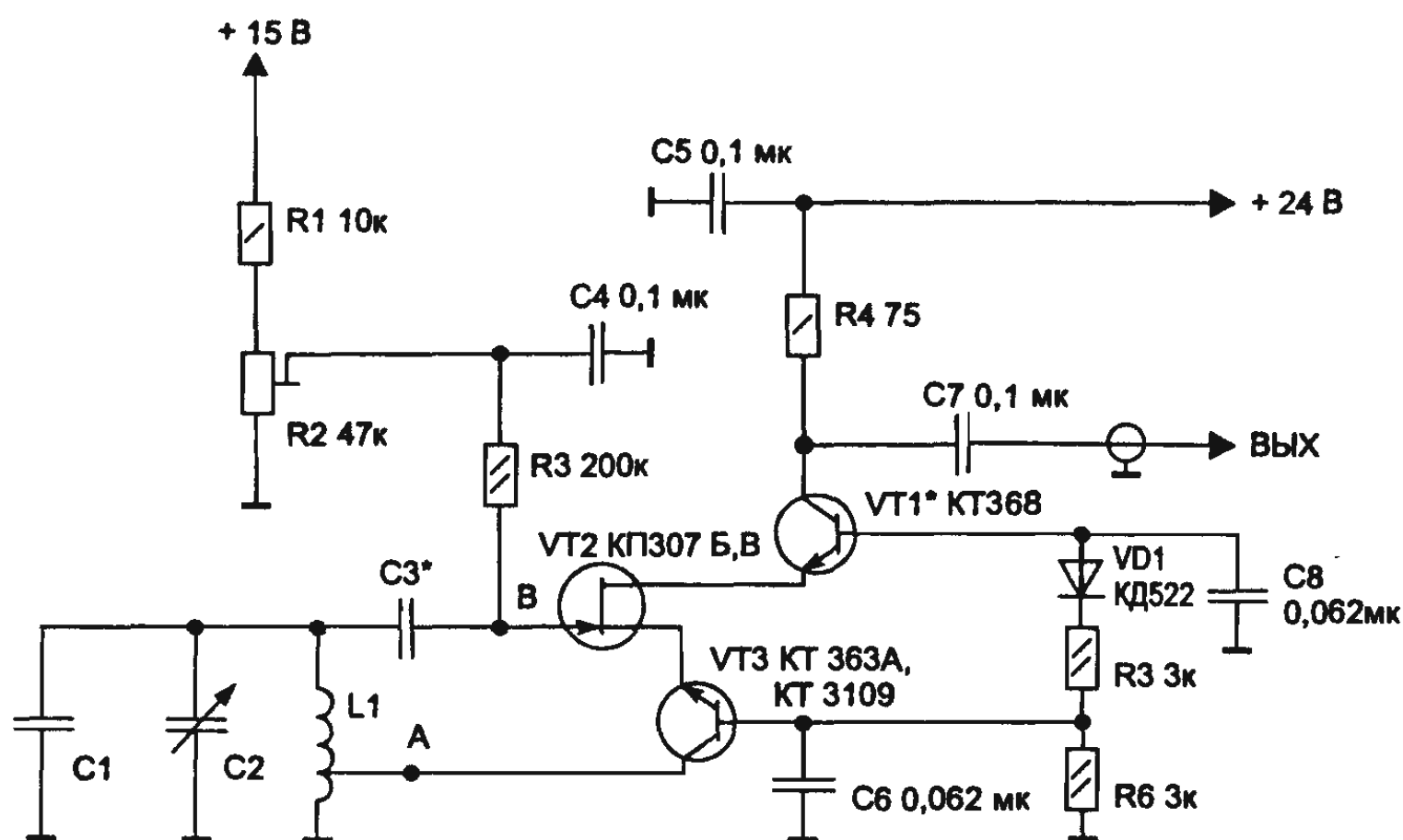


Рис. 8.14. Схема генератора высокой частоты

При включении по схеме рис. 8.15,а нужно количеством витков до отвода в катушке $L1$ добиться генерации на нижней частоте контура, т. к. возбуждение происходит на паразитной частоте нижней части катушки. На схеме рис. 8.15,г емкость $C2$ для КВ диапазонов — несколько сотен пикофард. Кварц ZQ возбуждается также и на гармониках.

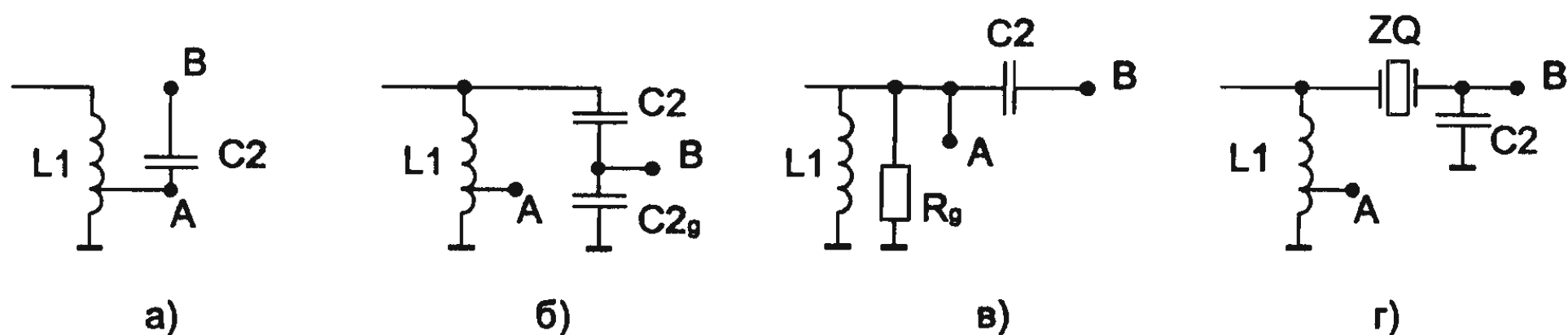


Рис. 8.15. Возможные варианты подключения колебательного контура к генератору ВЧ

Генератор работает при напряжении питания 7...24 В. Его недостатком является начальный выбег частоты, так как напряжение на контуре может составлять десятки вольт (в схеме рис. 8.15,в оно равно $U_{КБ} VT3$).

C_6 должен иметь минимальную длину выводов. Генератор устойчиво работает на частотах от 10 кГц до 200 МГц и выше (определяется паразитной емкостью $C_{кэ} VT3$).

8.7.3. Перестраиваемый генератор синусоидального сигнала [21]

Если для какого-либо устройства необходим генератор с частотной полосой в пределах от 35 до 550 кГц, его удобно собрать на микросхеме К525ПС2. Этот генератор прост по схеме, позволяет легко перестраивать частоту, не содержит катушек, обеспечивает стабилизированное выходное напряжение около 7 В (амплитудное значение) при хорошей форме сигнала. К недостаткам можно отнести ограниченную частотную полосу.

Микросхема К525ПС2 представляет собой функционально законченное устройство для выполнения операций над аналоговыми сигналами — умножения, деления, извлечения квадратного корня и возведения в квадрат. Выбор выполняемой операции определяют соответствующим включением микросхемы.

Упрощенно структура этой микросхемы показана на рис. 8.16. В ее состав входит перемножитель сигналов А1 и операционный усилитель А2. Перемножитель имеет два сигнальных входа Х и У и два входа $X_{см}$ и $Y_{см}$ — для подачи напряжения смещения. Входы смещения служат для точной балансировки перемножителя. Вместе с выходным сигналом перемножителя на инвертирующий вход операционного усилителя А2 поступает и сигнал с входа Z.

По сопротивлению резисторы R1 и R2 одинаковы, что позволяет использовать ОУ в качестве инвертора соединением выхода микросхемы (на выводе 2) и входа Z. Вход $Z_{см}$ предназначен для балансировки ОУ.

В описываемом генераторе (рис. 8.17) микросхема работает усилителем, управляемым напряжением. На вход X через цепь R2C2 подан сигнал положительной обратной связи, а на вход Y — управляющий сигнал с цепи АРУ. Основные частото-задающие

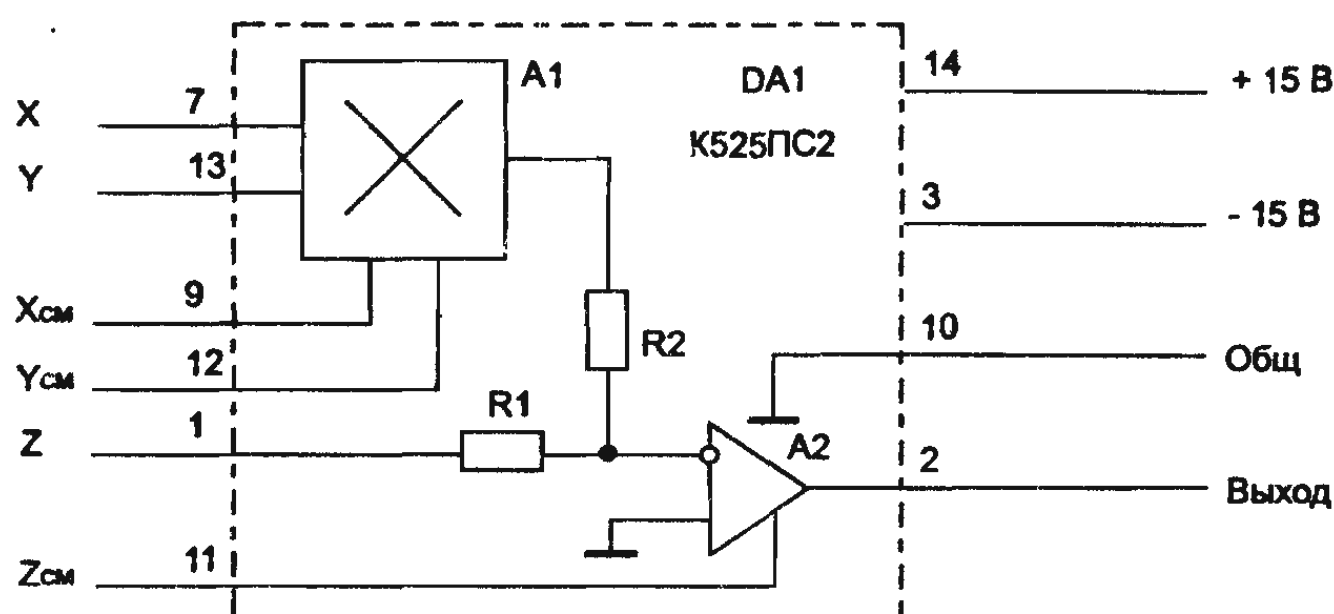


Рис. 8.16. Упрощенная структурная схема микросхемы К525ПС2

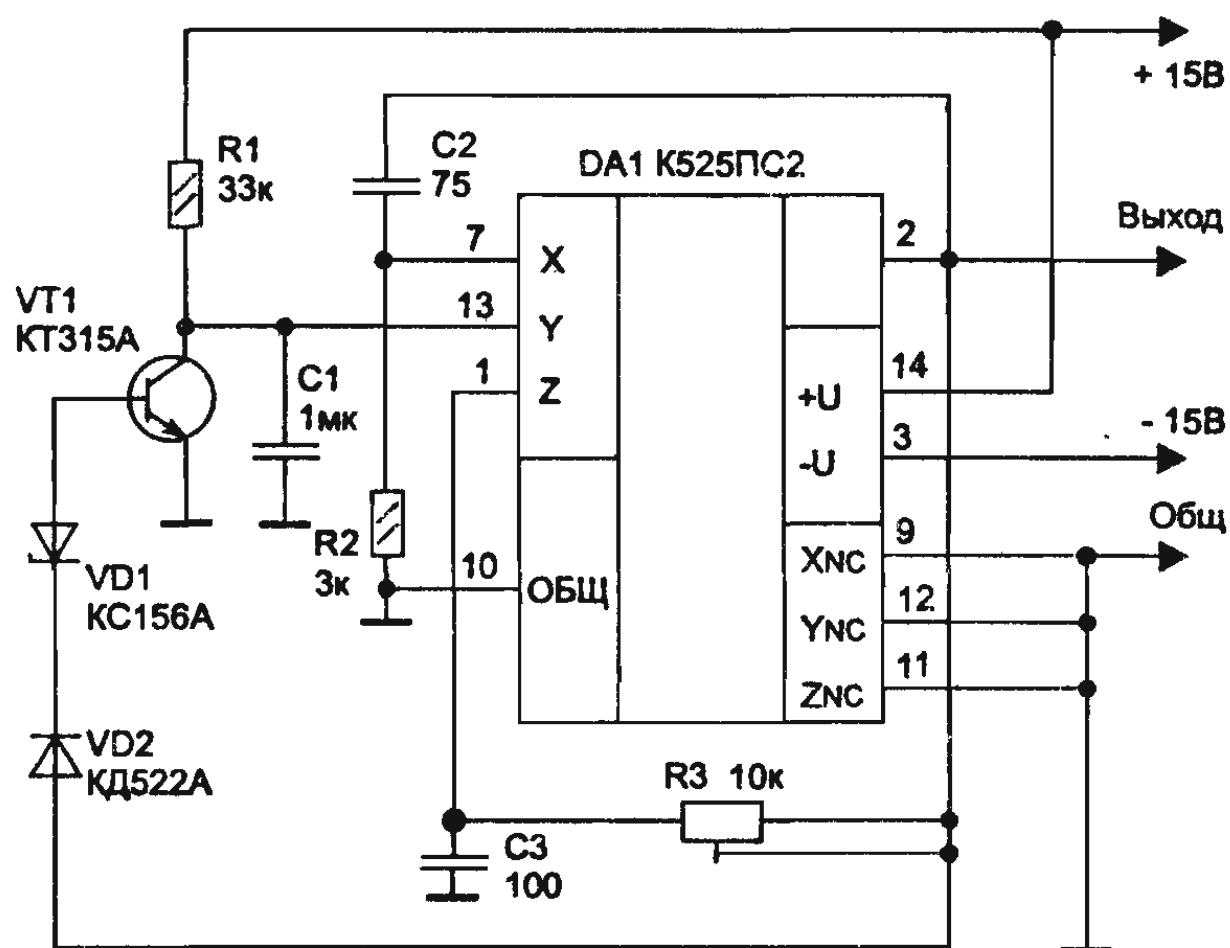


Рис. 8.17. Принципиальная схема перестраиваемого генератора

элементы — $C3$ и $R3$. Они включены в цепь отрицательной ОС операционного усилителя микросхемы.

Перестройка частоты при неизменном выходном напряжении оказалась возможной благодаря автоматическому регулятору усиления (АРУ), в который входят транзистор $VT1$, стабилитрон $VD1$, диод $VD2$ и цепь $R1C1$. Работает регулятор следующим образом.

Допустим, что по какой-либо причине переменное выходное напряжение генератора (на выводе 2 микросхемы) увеличилось. Отрицательные его полупериоды не пропустит диод $VD2$, а положительные пройдут через стабилитрон $VD1$, который уменьшит их амплитуду на напряжение стабилизации. Далее эти импульсы поступают на базу транзистора $VT1$ и будут открывать его. Напряжение на коллекторе транзистора, а значит, и на входе Y микросхемы соответственно уменьшится. В результате уменьшится напряжение и на выходе микросхемы. Конденсатор $C1$ служит для подавления импульсов в цепи АРУ и придания ей необходимой инерционности.

Сопротивление резистора $R3$ не должно быть меньше 750 Ом, максимальное же может достигать 22...56 кОм в зависимости от емкости конденсатора $C3$ и эффективности АРУ, которая в свою очередь зависит от статического коэффициента передачи тока базы транзистора $VT1$ (чем он больше, тем лучше). В небольших пределах частоту генератора можно регулировать изменением сопротивления резистора $R2$; его минимальное значение — 3 кОм.

Работу генератора удобно контролировать, измеряя постоянное напряжение на коллекторе транзистора VT1. Оно должно быть в пределах от 0,2 до 7 В. Это означает, что АРУ и весь генератор в целом работают в нормальном режиме. Если измеренное напряжение менее 0,2 В, то на вход Y_{NC} микросхемы DA1, отключив его от общего провода, необходимо подать напряжение смещения в пределах 0...+ 10 В, которое можно снять с делителя из двух резисторов (на схеме он не показан). Конкретное значение напряжения смещения подбирают экспериментально. Потребность в смещении обычно возникает при понижении частоты генерации до 60 кГц и менее. Если же напряжение на коллекторе транзистора VT1 более 7 В, то напряжение смещения должно быть отрицательным.

Типовые значения номиналов элементов и соответствующие пределы изменения генерируемой частоты указаны в таблице 8.1 (напряжение смещения подводить к входу Y_{NC} микросхемы DA1).

Транзистор VT1 — любой маломощный кремниевый, желательно высокочастотный. Диод VD2 — также любой кремниевый. Выбор конденсаторов зависит от требований, предъявляемых к стабильности частоты.

Таблица 8.1

Обозначение, размерность		Номиналы, соответствующие частотным пределам, кГц		
		35...130	122...360	310...550
Конденсаторы	C1, пФ	5100	510	100
	C3, пФ	2700	220	75
Напряжение смещения, В		+5	0	0

8.7.4. Комбинированный генератор

Этот генератор позволяет проверить работоспособность радиовещательных приемников как на высокой, так и на промежуточной и низкой частотах. Диапазон частот, перекрываемый генератором, составляет 0,15...2 МГц. Частота генератора звуковой частоты фиксированная — 2 кГц.

Генератор собран на двух транзисторах (рис. 8.18,а), соединенных между собой так, что они образуют аналог тринистора, в ко-

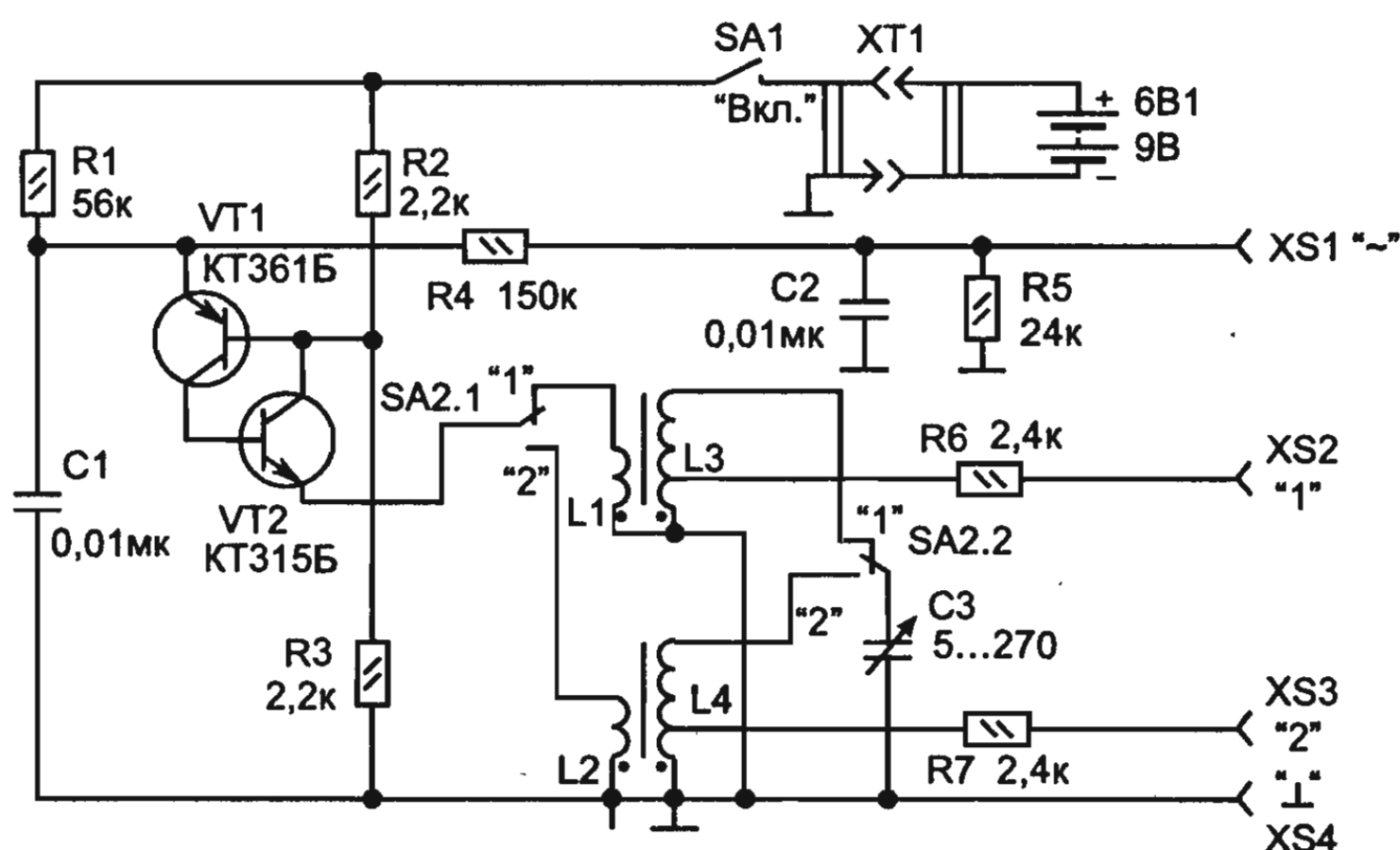


Рис. 8.18. Схема комбинированного генератора (а)

тором анодом можно считать вывод эмиттера транзистора VT1, катодом — вывод эмиттера транзистора VT2, а управляющим электродом — соединенные вместе базовый и коллекторный выводы транзисторов VT1 и VT2 соответственно.

В сочетании с другими деталями (резисторы R1—R3, конденсатор C1) аналог тринистора образует релаксационный генератор. Но в этой схеме аналог тринистора работает как аналог динистора. С помощью резисторов R2, R3 на управляющий электрод подается постоянное напряжение смещения, которое определяет напряжение переключения $U_{\text{ПРК}}$ этого аналога динистора.

После включения напряжения источника питания E, которое выбирается из условия $E > U_{\text{ПРК}}$, конденсатор C1 начинает заряжаться через резистор R1. Напряжение на конденсаторе, а следовательно, и на аноде аналога растет по экспоненте до тех пор, пока несколько не превысит напряжение $U_{\text{ПРК}}$ аналога, которое можно менять подбором сопротивления резистора R2. В этот момент аналог динистора переключается в открытое состояние, а конденсатор C1 разряжается (рис. 8.18,б) через аналог динистора и колебательный контур, который работает в режиме ударного возбуждения и в котором возбуждаются синусоидальные колебания с частотой, определяемой параметрами контура, и амплитудой, убывающей по экспоненциальному закону. Длительность этих импульсов определяется добротностью колебательного контура с учетом сопротивления подключенной нагрузки, т. е. с учетом входного сопротивления проверяемого устройства.

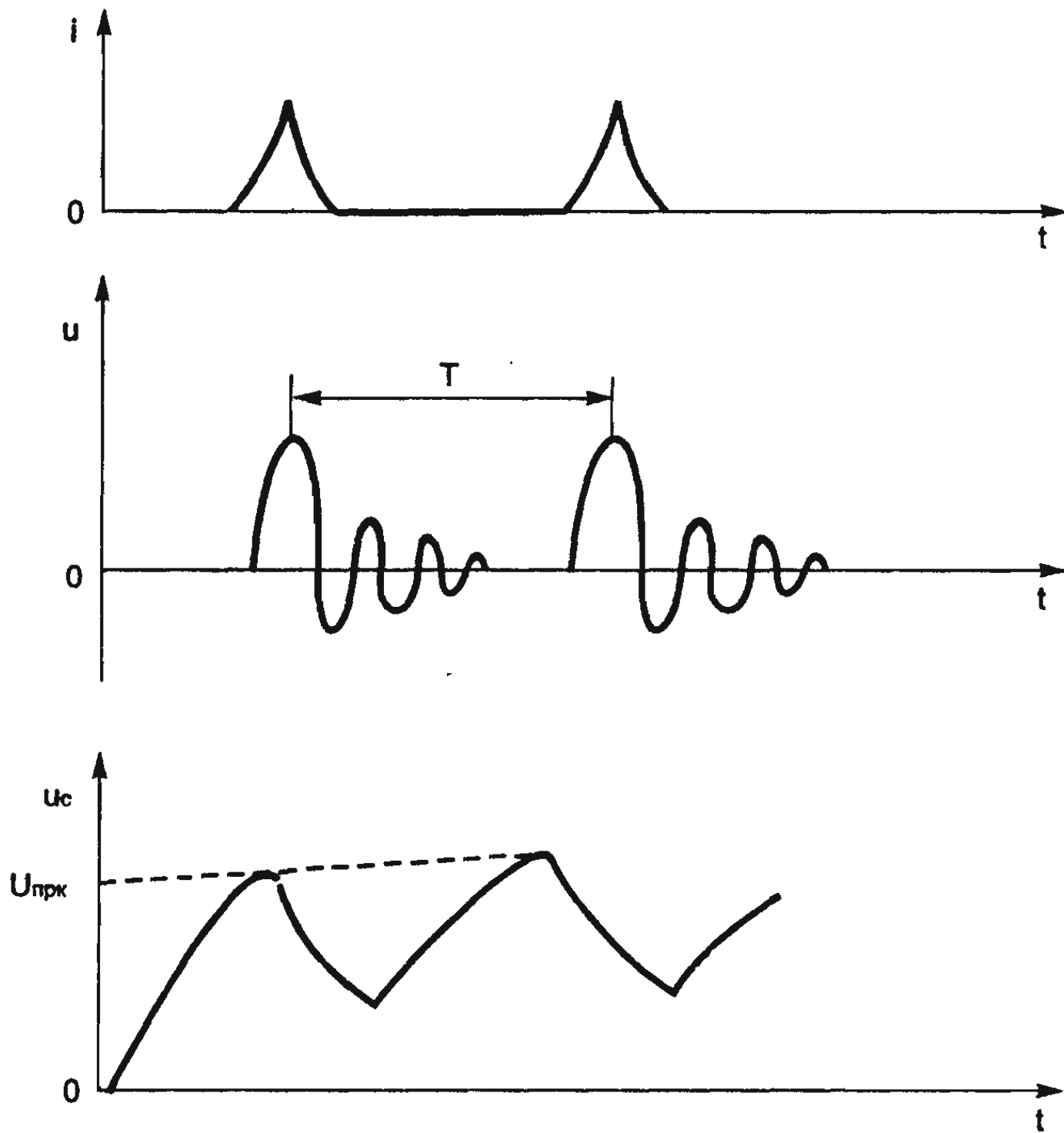


Рис. 8.18. Комбинированный генератор (б)

Сопротивление резистора $R1$ выбирают таким, чтобы выполнялось условие:

$$E / R1 < I_{уд},$$

где $I_{уд}$ — ток удержания динистора; E — ЭДС источника питания. Поэтому после разряда конденсатора $C1$ аналог динистора вновь закроется и цикл переключений будет повторяться.

По форме колебания на конденсаторе $C1$ несколько напоминают зубья пилы, частота следования импульсов лежит в диапазоне 1,5...2 кГц (частота повторения). Регулировка частоты повторения осуществляется либо изменением емкости конденсатора $C1$, либо изменением напряжения $U_{прк}$, т. е. подбором сопротивления резистора $R2$. Для повышения стабильности частоты повторения импульсов необходимо, чтобы $E > U_{прк}$.

С эмиттера транзистора $VT1$ (с конденсатора $C1$) пилообразное напряжение через интегрирующую цепь $R4R5C2$ подается на гнез-

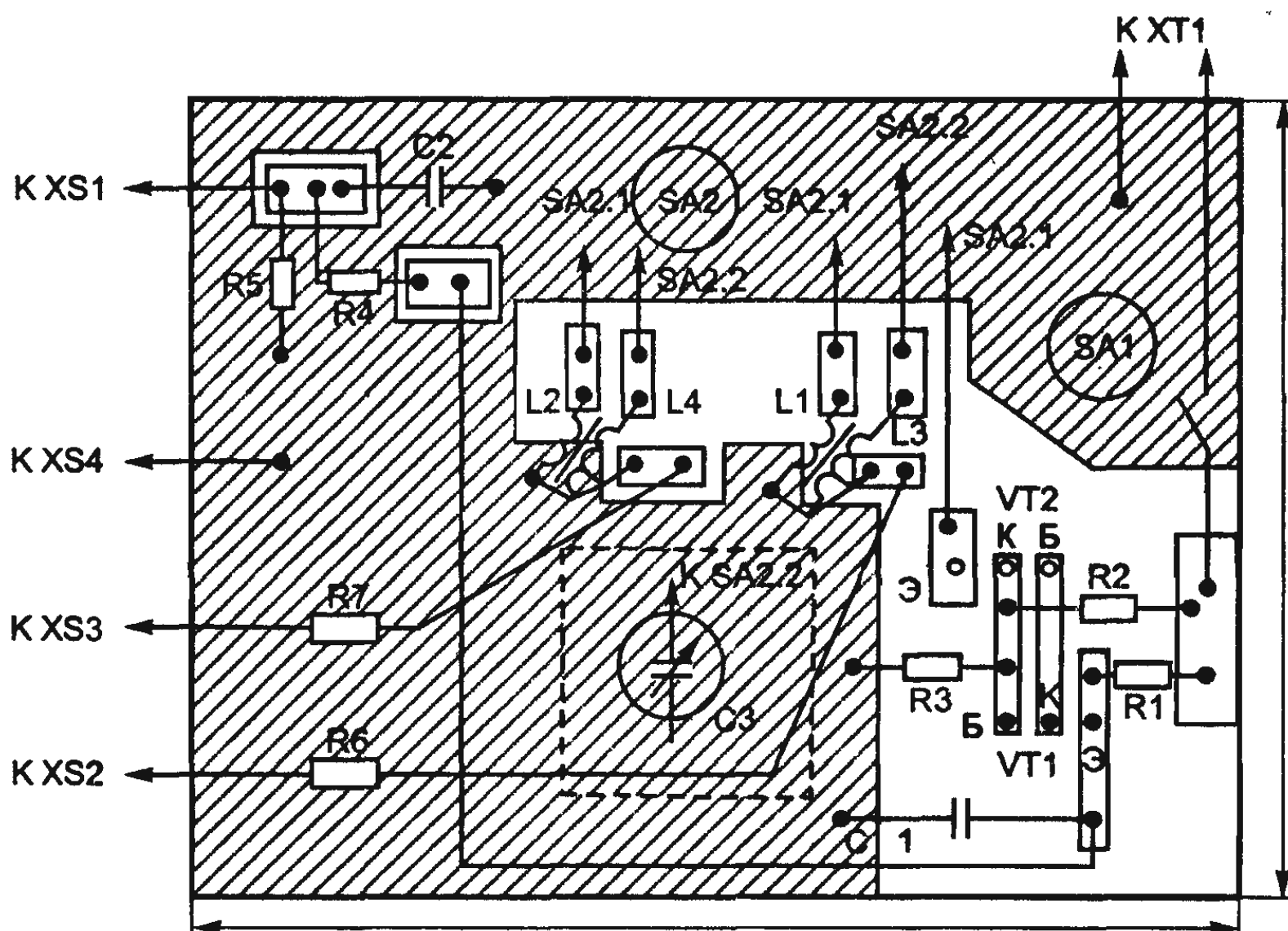


Рис. 8.18. Комбинированный генератор (в)

до XS1. Интегрирующая цепь сглаживает зубья, и колебания по форме приближаются к синусоидальным.

В положении «1» переключателя SA2 в колебательном контуре L3C3 в момент разряда конденсатора C1 возбуждаются затухающие синусоидальные колебания с частотой 0,15...0,5 МГц (диапазон ДВ) и подаются на гнездо XS2 через резистор R6. Резистор R6 и вывод выходного напряжения с части катушки индуктивности L3 уменьшают шунтирование колебательного контура L3C3 входным сопротивлением подключаемого к генератору устройства.

Когда переключатель SA2 находится в положении «2», к аналогу подключен колебательный контур L4C3. Перестройка конденсатора C3 обеспечивает перекрытие диапазона частот 0,5...1,6 МГц (диапазон СВ).

Транзистор VT1 может быть заменен транзистором КТ361 с любым буквенным индексом или КТ3107А—КТ3107Л; VT2—КТ315А—КТ315И, КТ312А—КТ312В, КТ342А—КТ342Л. Вместо аналога можно использовать тиристор марки КУ101 с любым буквенным индексом, а получить нужную частоту следования импульсов можно путем подбора напряжения смещения на управляющем электроде с помощью делителя напряжения R2R3.

Конденсатор переменной емкости — КПТМ, КП180 или другой с указанными на схеме (или большими) пределами измене-

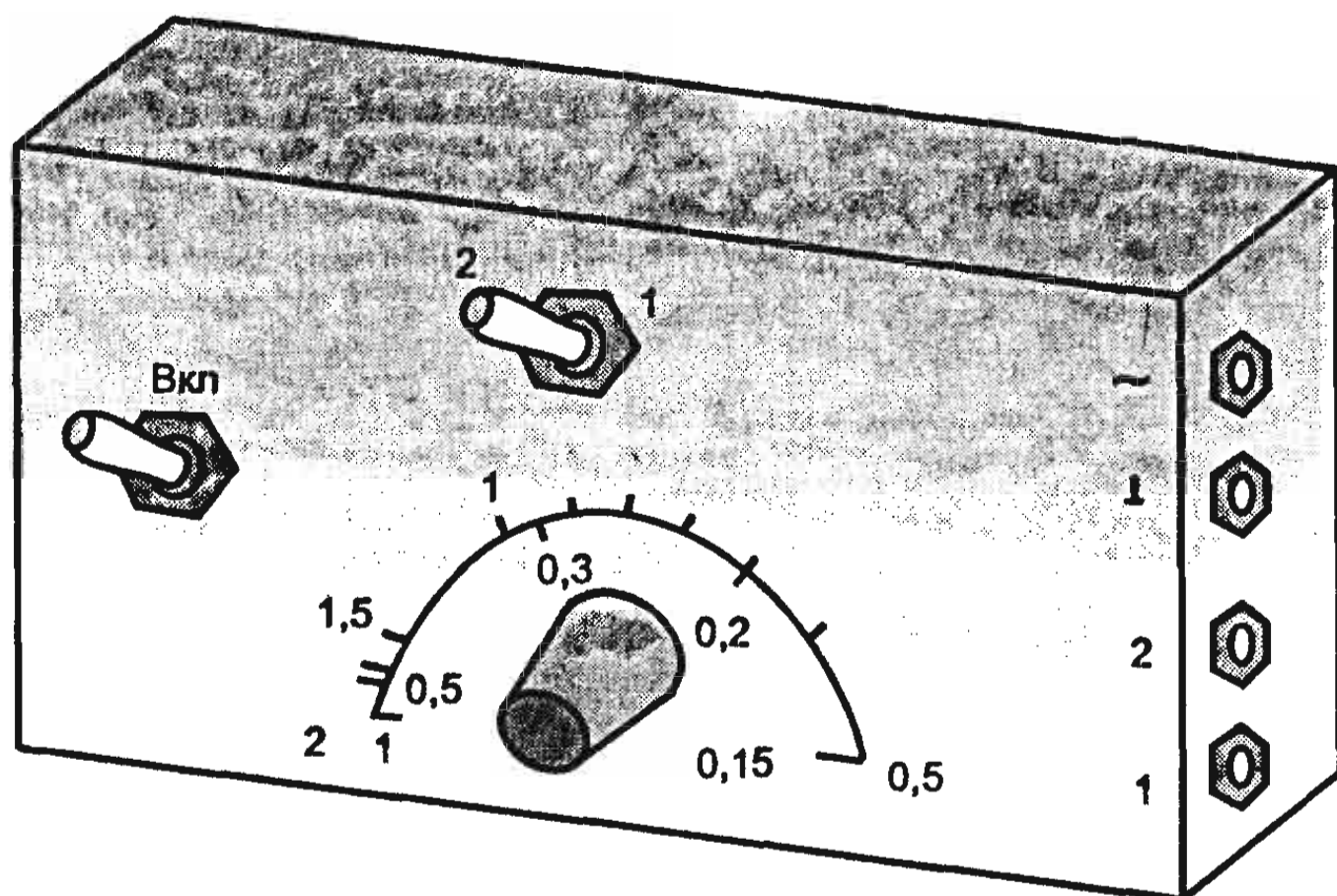


Рис. 8.18. Комбинированный генератор (г)

ния емкости. Остальные конденсаторы — КЛС, КМ. Резисторы МЛТ-0,125 или ВС-0,125. Катушки индуктивности намотаны на каркасах от контуров ПЧ приемника «Альпинист» (диаметр каркаса 6,5 мм, высота 21 мм, подстроечник диаметром 2,8 мм и длиной 12 мм из феррита 600НН). Катушки L1, L3 наматывают на одном таком каркасе; L2, L4 — на другом. Катушка L1 содержит 15 витков провода ПЭВ-2 0,12, L2 — 5 витков такого же провода, L3 — 550 витков провода ПЭВ-2 0,08 с отводом от 35-го витка (считая от нижнего по схеме вывода), L4 — 180 витков ПЭВ-2 0,12 с отводом от 10-го витка. Переключатель SA2 типа МТЗ, выключатель питания SA1 типа МТ1. Источник питания — батарея «Крона», разъем XT1 — колодка от использованной «Кроны». Гнезда любой конструкции, но возможно меньших габаритов.

Большинство деталей генератора смонтированы на плате (рис. 8.18, в) из одностороннего фольгированного стеклотекстолита. На этой же плате укреплены выключатель питания и переключатель диапазонов. Плата с деталями прикреплена к крышке корпуса гайками, навинченными снаружи на выключатель и переключатель. Гнезда укреплены на боковой стенке крышки. Батарею питания размещают внутри корпуса, внешний вид которого показан на рис. 8.18,г.

Проверить работу генератора можно с помощью осциллографа. Между гнездом XS1 и корпусом (гнездо XS4) наблюдают колебания напряжения синусоидальной формы. Амплитуда их составляет

примерно 0,2 В, частота около 2 кГц. При подключении осциллографа к гнезду XS2 на экране появляются короткие синусоидальные затухающие импульсы частотой следования около 2 кГц. Подбрав длительность развертки осциллографа так, чтобы наблюдались небольшие пачки импульсов (или одиночный импульс), рассматривают форму этих импульсов. Устанавливают ротор конденсатора переменной емкости в положение, соответствующее наибольшей емкости, и подбирают с помощью ферритового сердечника катушек L1, L3 наименьшую частоту диапазона — 0,15 МГц. Для этого можно воспользоваться промышленным генератором (если он имеется) и сравнить период высокочастотных колебаний образцового генератора с периодом синусоидальных колебаний импульсов. Перестройкой ферритового сердечника добиваются равенства этих периодов. Если промышленного генератора нет, длительность периода (частоту колебаний) можно определить приближенно, зная длительность развертки. Аналогично калибруют генератор и на втором диапазоне, когда переключатель SA2 находится в положении «2», а осциллограф подключен к гнезду XS3.

При отсутствии осциллографа можно использовать радиовещательный приемник, подавая на его вход сигнал с гнезда XS2 или XS3 и прослушивая в динамической головке звуковой сигнал при точной настройке приемника на частоту сигнала генератора. Частоту генератора в этом случае определяют по шкале приемника. Чтобы приемник не перегружался, сигнал от генератора нужно подать через конденсатор емкостью от 2 пФ и выше — емкость подбирают экспериментально.

8.7.5. Щуп-генератор на диоде с лямбда-характеристикой

При проверке работоспособности приемника или отыскании неисправности в нем совсем необязательно пользоваться сложной измерительной аппаратурой. Во многих случаях ее заменит простой щуп-генератор, содержащий несколько радиодеталей, в том числе два полевых транзистора (рис. 8.19, а). Полевые транзисторы образуют диод с лямбда-характеристикой, который имеет на вольт-амперной характеристике участок с положительным сопротивлением, как у обычного диода, и участок с отрицательным сопротивлением, как у туннельного диода.

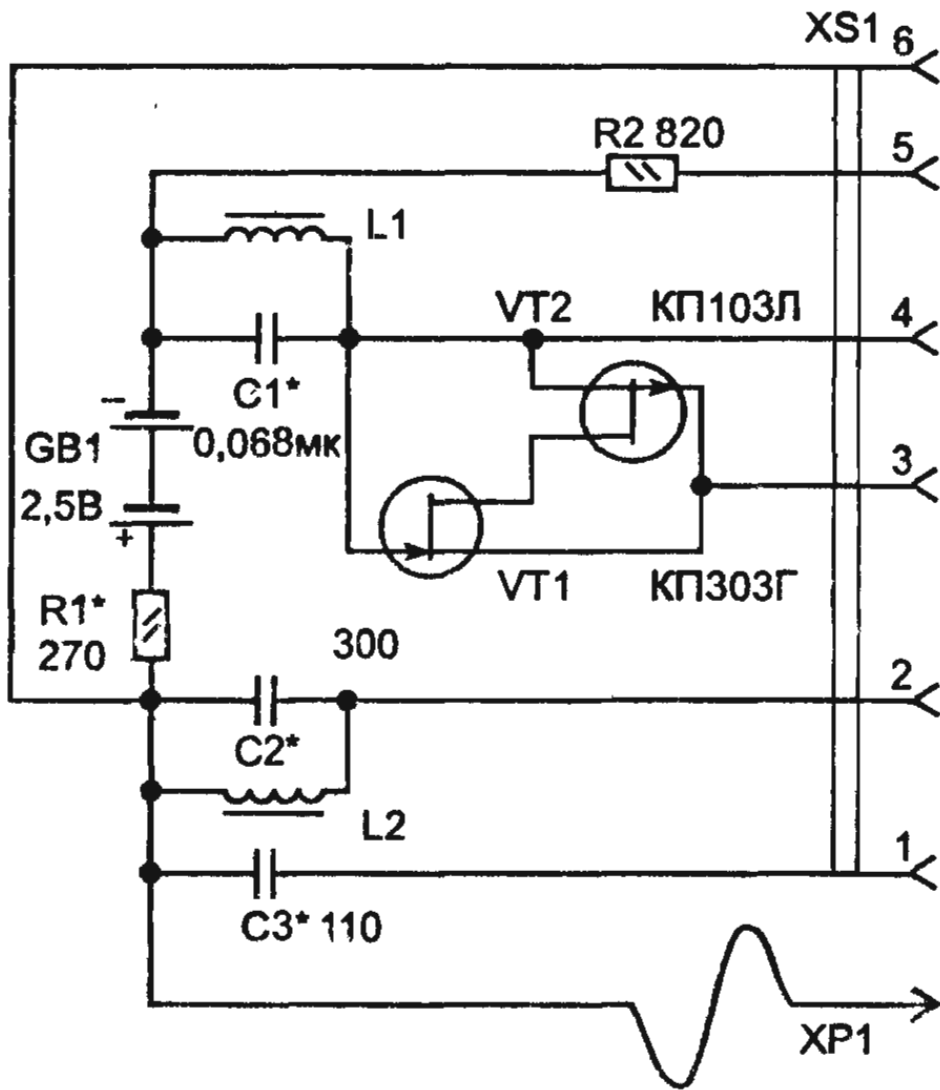


Рис. 8.19. Схема щуп-генератора на диоде с лямбда-характеристикой (а)

Хотя на схеме показаны соединенными стоки транзисторов, аналогичные результаты получаются и при соединении истоков. Щуп-генератор вырабатывает электрические колебания синусоидальной формы частотой 2, 465 или 500 кГц, причем высокочастотные колебания промодулированы по амплитуде сигналом звуковой частоты 2 кГц. Таким образом, этим генератором можно проверять усилители звуковой и промежуточной частоты. Конструктивно он выполнен в виде одного основного узла — собственно генератора — и трех приставок — переходников со щупами на конце. При использовании того или иного переходника на выходе щупа-генератора получается соответствующий сигнал. Резонансная частота контура $L1C1$ около 2 кГц, а контуров $L2C2$ и $L2C2C3$ — 500 кГц и 465 кГц соответственно.

Питается генератор от источника GB1 с э.д.с. 2,5 В. Напряжение подается на генератор при подключении к розетке XS1 одного из переходников. Соединения между штырьками вилки переход-

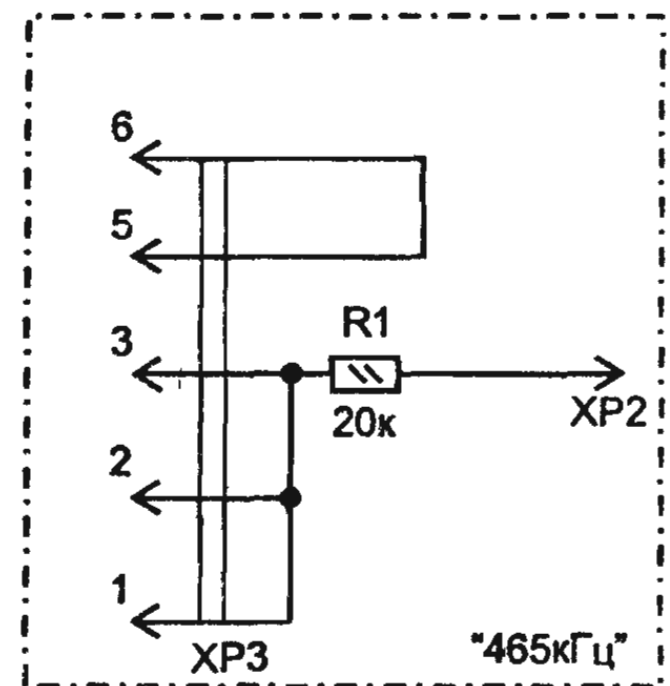
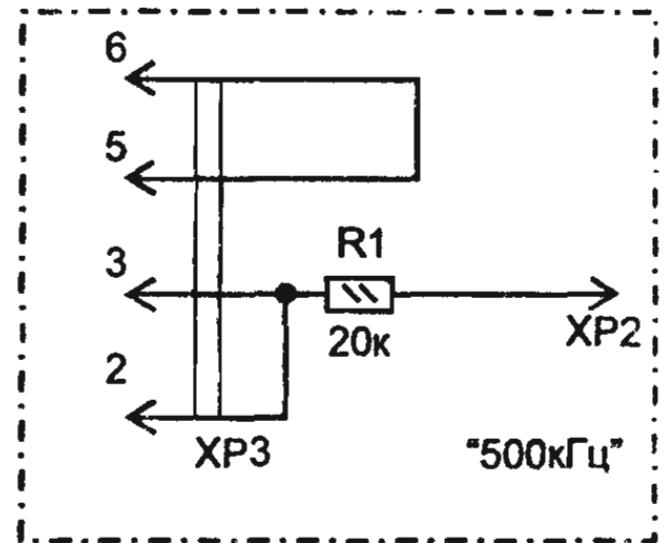
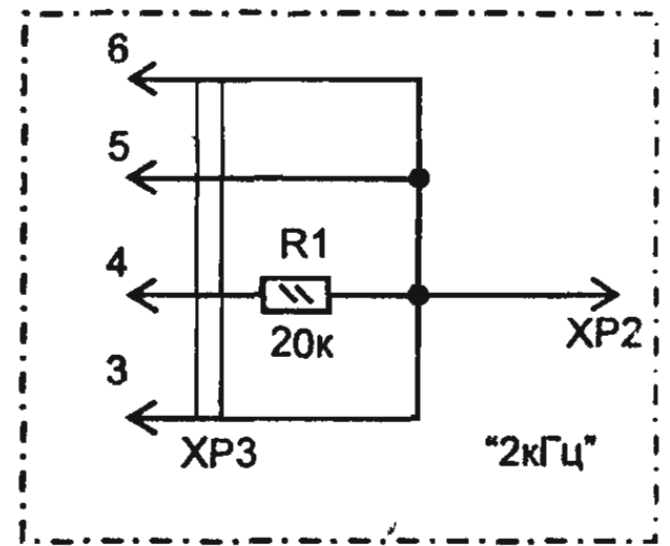


Рис. 8.19. Схема щуп-генератора на диоде с лямбда-характеристикой (б)

ника задают тот или иной режим работы генератора. На рис. 8.19,б изображены схемы переходников. При подсоединении переходника «2 кГц» подключен только контур L1C1, переходников «500 кГц» или «456 кГц» — оба контура соответственно L1C1, L2C2 или L1C1, L2C2C3.

Вместо полевого транзистора КП303Г можно применить КП303В или КП303Д, а вместо КП103А — КП103В. Оба транзистора в щупе желательно подбирать с одинаковыми или возможно близкими начальными током стока и напряжением отсечки. Если таких транзисторов нет, можно собрать схему аналога диода

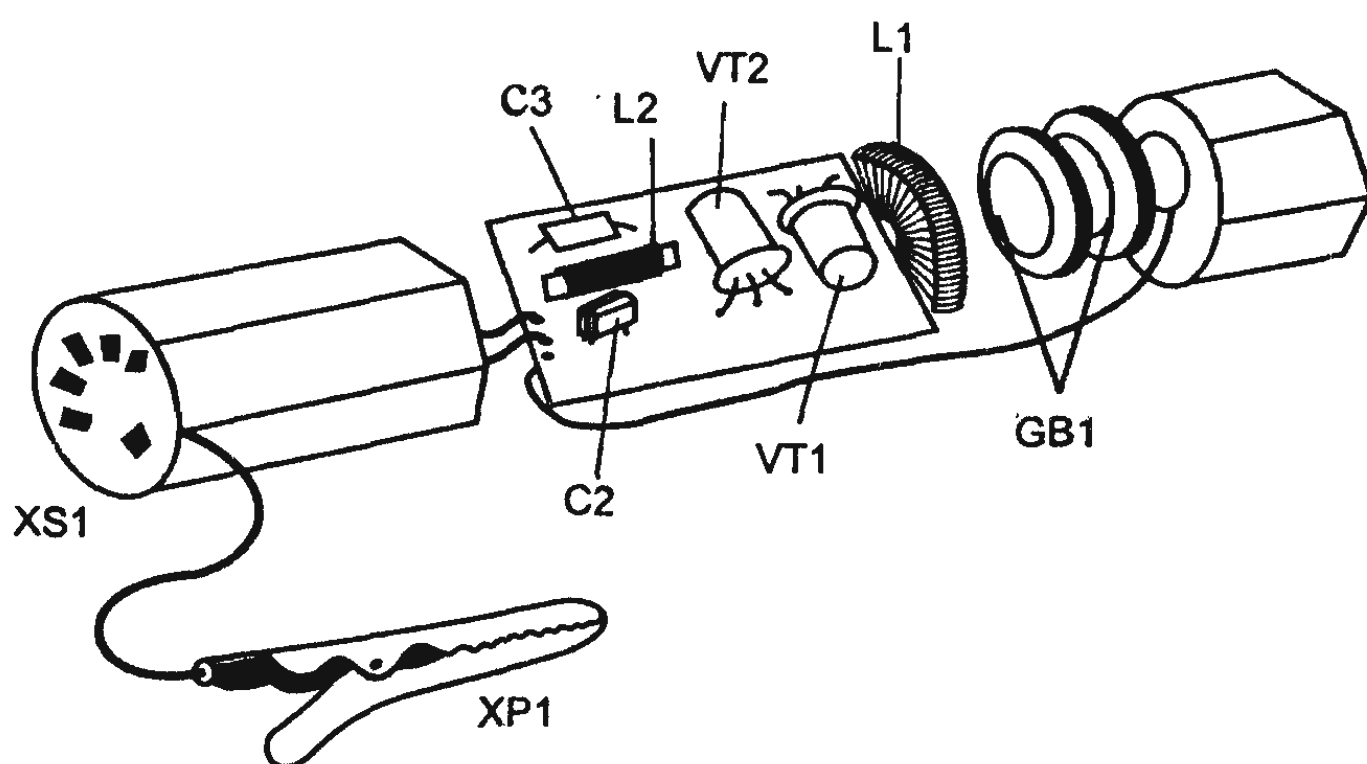


Рис. 8.19. Схема щуп-генератора на диоде с лямбда-характеристикой (в)

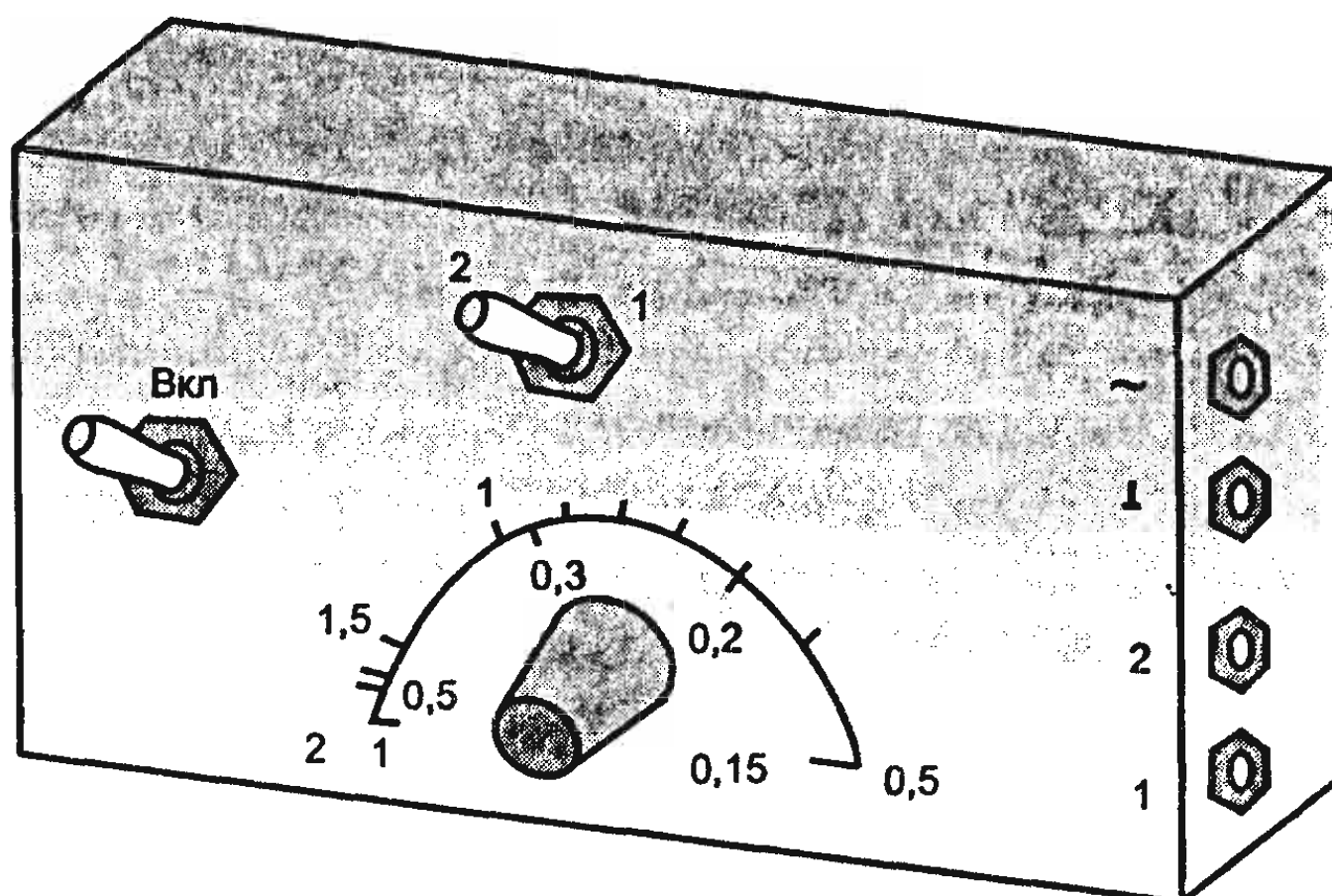


Рис. 8.19. Схема щуп-генератора на диоде с лямбда-характеристикой (г)

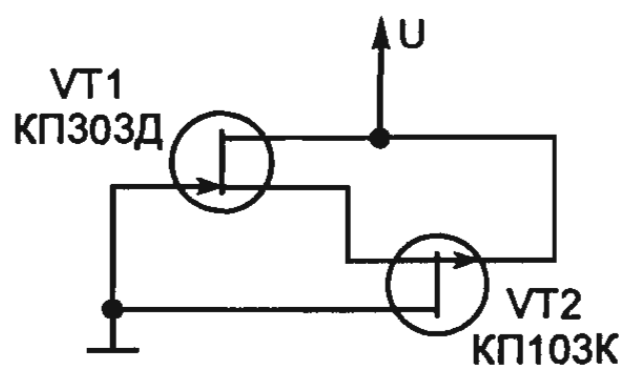


Рис. 8.20. Схема аналога диода с лямбда-характеристикой

(рис. 8.20) на транзисторах КП103Л или КП103К. Они отличаются друг от друга напряжением отсечки.

Для транзистора КП103К напряжение отсечки равно 4 В, а для КП103Л — 6 В. У транзистора КП303Д напряжение отсечки менее 8 В. Рабочая точка выбирается на середине падающего участка

вольт-амперной характеристики аналога диода (рис. 8.21).

Для изменения (уменьшения) наклона отрицательного участка характеристики аналога диода можно включить между истоками транзисторов резистор (рис. 8.19, а). Конденсаторы в щупе-генераторе могут быть КЛС, КМ, КТ, К10-7В и другие малогабаритные, причем конденсаторы С2, С3 следует брать с возможно малым температурным коэффициентом емкости (группы П33, М33, Н30, МПО). Резисторы — типа МЛТ-0,125. Катушка L1 намотана на кольце типоразмера К16 × 8 × 6 из феррита 600НН — 300 витков провода ПЭВ-2 0,08. Катушка L2 выполнена на стержне диаметром 2,8 мм и длиной 12 мм из феррита 150ВЧ (подстроечник контура КВ-диапазона радиовещательного приемника) — она содержит 100 витков провода ПЭВ-2 0,12, размещенных в два слоя (намотка — виток к витку) на длине 9 мм. Источник питания — два последовательно соединенных элемента РЦ53 либо аккумуляторы Д-0,06, Д-0,1. При использовании аккумуляторов их можно периодически подзаряжать через гнезда 5 и 6 розетки XS1 без разборки конструкции. Розетка XS1 — типа СГ-5 с пятью гнездами-контактами. Контакт 6 служит ее корпус. В переходниках использованы вилки СШ-5, в которых контактом 6 также служит корпус.

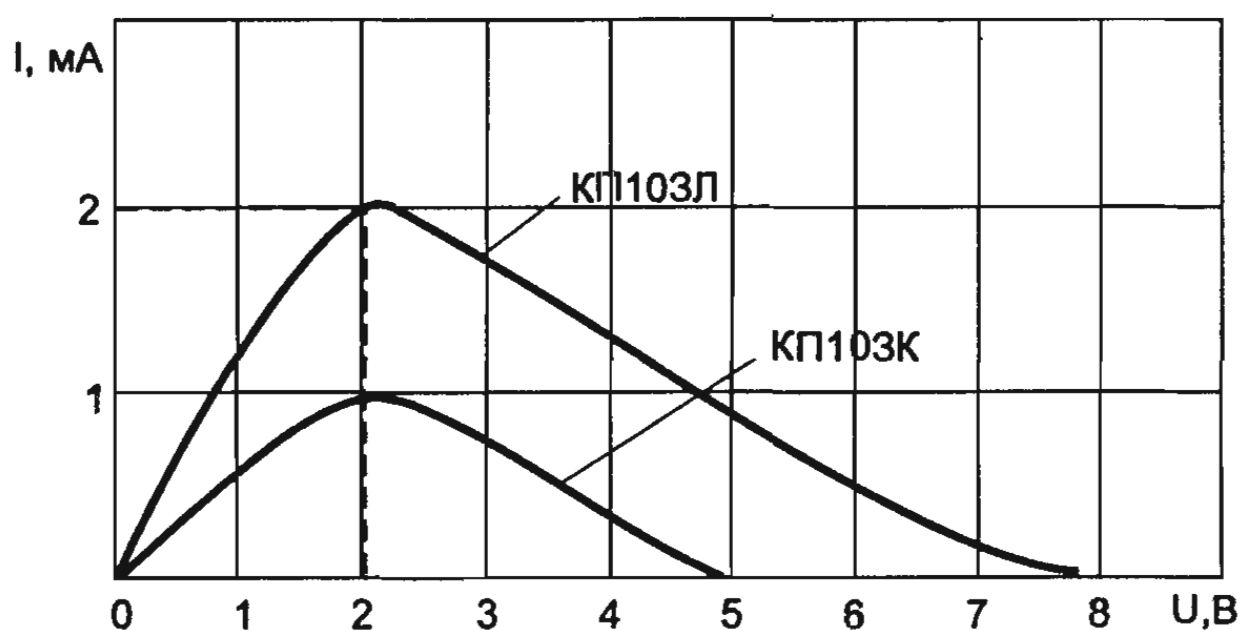


Рис. 8.21. Вольт-амперная характеристика аналога диода с лямбда-характеристикой

Конструкция щупа-генератора показана на рис. 8.19,в. Большая часть деталей генератора смонтирована на небольшой плате из фольгированного материала. Одни детали размещены сверху, другие — снизу. На одном из концов платы сделан выступ, на который надевают катушку L_1 , на выступе укреплен пружинящий контакт — он касается вывода источника питания (на схеме контакты не показаны). Другой контакт выполнен в виде металлического диска, соединенного изолированным проводником с соответствующими деталями платы.

Плата с источником питания установлена внутри корпуса длиной 75 мм и внутренним диаметром 18 мм. Под плату в боковых стенках корпуса (он из двух половин) пропилены пазы.

На торце корпуса укреплена розетка XS_1 , рядом с которой через отверстие выведен гибкий проводник (можно металлическую оплетку экранированного провода), подпаянный к корпусу розетки. На другом конце проводника припаян зажим типа «крокодил».

Общий вид генератора показан на рис. 8.19,г. Резистор R_1 переходника и перемычка между контактами вилки смонтированы внутри ее корпуса. Иглу можно изготовить из толстой стальной проволоки или выточить из гвоздя.

Если нет возможности смонтировать генератор малогабаритным, то можно плату, корпус и все остальные узлы генератора выполнить по собственной конструкции, а в качестве источника питания можно взять два элемента с э.д.с. по 1,5 В.

Налаживание генератора сводится к установке требуемых частот подбором числа витков катушек индуктивности и конденсаторов контуров. В качестве измерительного прибора можно использовать осциллограф. Лучше всего эту операцию делать на макетной плате до установки деталей на плату генератора. Кроме того, подбирают резистор R_1 с таким сопротивлением, чтобы генератор устойчиво работал при изменении напряжения питания от 3 до 1,8 В. Если осциллографа нет, то проверку и градуировку генератора можно осуществить с помощью радиовещательного приемника.

8.7.6. LC-генератор на логической микросхеме

Простой генератор синусоидальных колебаний можно собрать на логической микросхеме К155ЛА3 (рис. 8.22). Принципиальная схема одного из вариантов такого генератора приведена на рисунке. Без колебательного контура L_1C_3 — это обычный мультивиб-

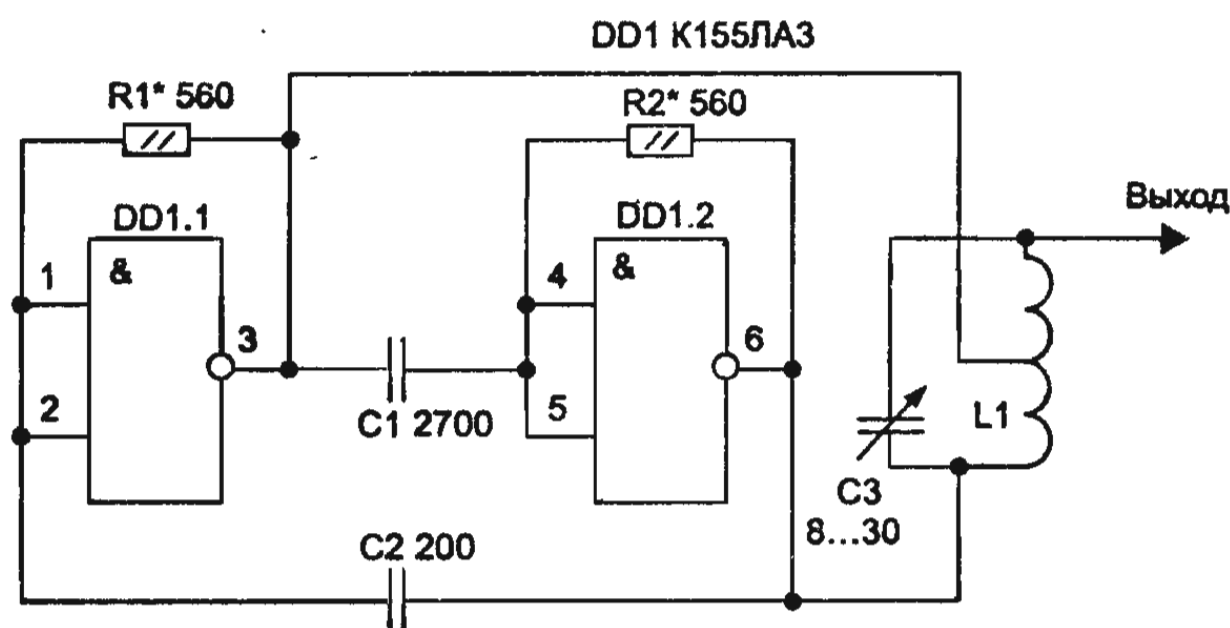


Рис. 8.22. Схема генератора синусоидальных колебаний на микросхеме К155ЛА3

ратор. Логические элементы DD1.1 и DD1.2 работают в режиме линейного усиления сигнала. Этот режим устанавливается подбором резисторов R1 и R2 (в пределах 0,2...1 кОм). Для повышения стабильности генерируемой частоты вместо конденсатора C2 можно подключить кварцевый резонатор.

Генератор работает в диапазоне частот 5,5...10 МГц. Амплитуда сигнала на выходе достигает нескольких вольт. Контурная катушка L1 содержит 16 витков провода ПЭВ-2 диаметром 0,3 мм с отводом от середины. Каркасом служит резистор МЛТ-1 2 МОм.

8.7.7. Дистанционное прослушивание магнитофона [22]

Многим читателям хотелось бы прослушивать магнитные записи, не мешая окружающим. Вашему вниманию предлагается описание очень простого устройства, которое позволяет слушать магнитные записи, находясь на расстоянии до 30 м от магнитофона, т. е. в любом месте квартиры или во дворе частного дома.

Устройство состоит из передатчика и приемника, работающих в диапазоне 27,12 МГц. Приемник питается от батареи «Крона», а передатчик — от источника питания магнитофона, хотя и для него можно использовать автономный источник питания.

Принципиальная схема передатчика приведена на рис. 8.23. Он состоит из генератора ВЧ, собранного на транзисторе, и однокаскадного усилителя ЗЧ на транзисторе VT2. На вход последнего поступает сигнал с линейного выхода усилителя воспроизведения магнитофона. Этот сигнал модулирует амплитуду сигнала несущей

частоты генератора передатчика (27,12 МГц), которая излучается антенной WA1. Приемник (рис. 8.24) включает в себя сверхрегенеративный детектор на транзисторе VT1 и однокаскадный усилитель ЗЧ на транзисторе VT2. Входной контур приемника настроен на частоту передатчика

27,12 МГц. Принятый антенной приемника сигнал детектируется, усиливается услителем ЗЧ и воспроизводится телефоном.

Передатчик размещен в футляре магнитофонной кассеты, размеры корпуса приемника несколько больше. В обеих конструкциях использованы постоянные резисторы МЛТ-0,125, подстроечный резистор приемника R2 — СПЗ-1. Конденсаторы передатчика C1—C3 — К10-7В, оксидный конденсатор C4 — К50-6 (можно К50-3 и К50-12). В приемнике конденсаторы C1—C4, C7 — КТ, C6 — КЛС, оксидные конденсаторы C5, C8 — такие же, как в передатчике.

Вместо транзисторов П416А, П416Б можно использовать П403, П422 со статическим коэффициентом передачи тока базы не менее 75 для приемника и не менее 60 — для передатчика. Транзистор МП42Б можно заменить любым из серий МП39, МП40 и МП41.

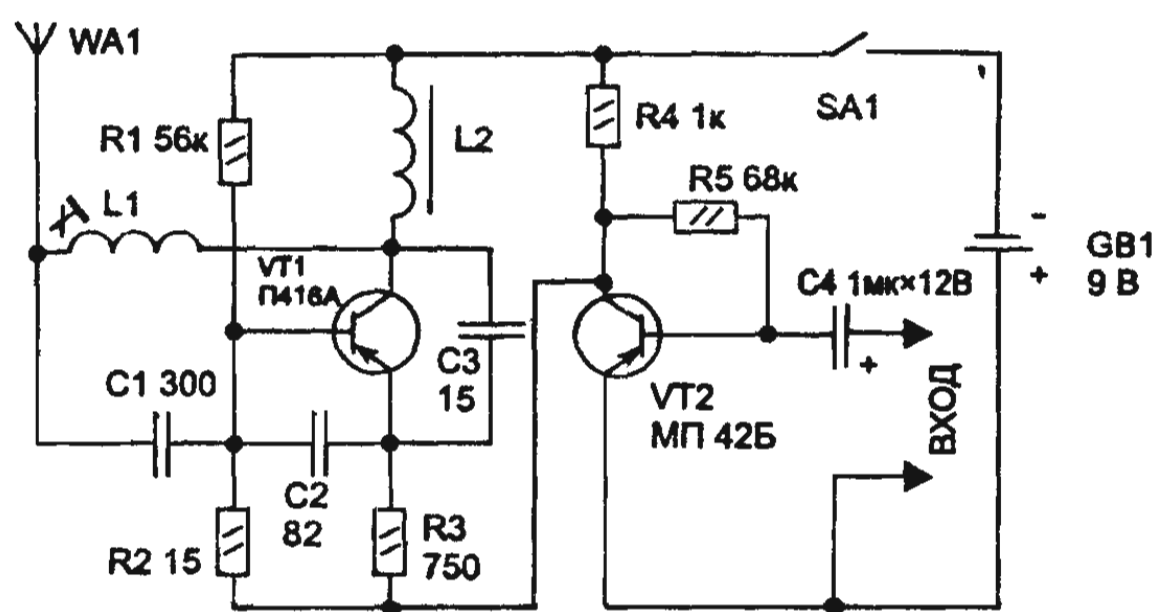


Рис. 8.23. Схема передатчика устройства для прослушивания фонограмм

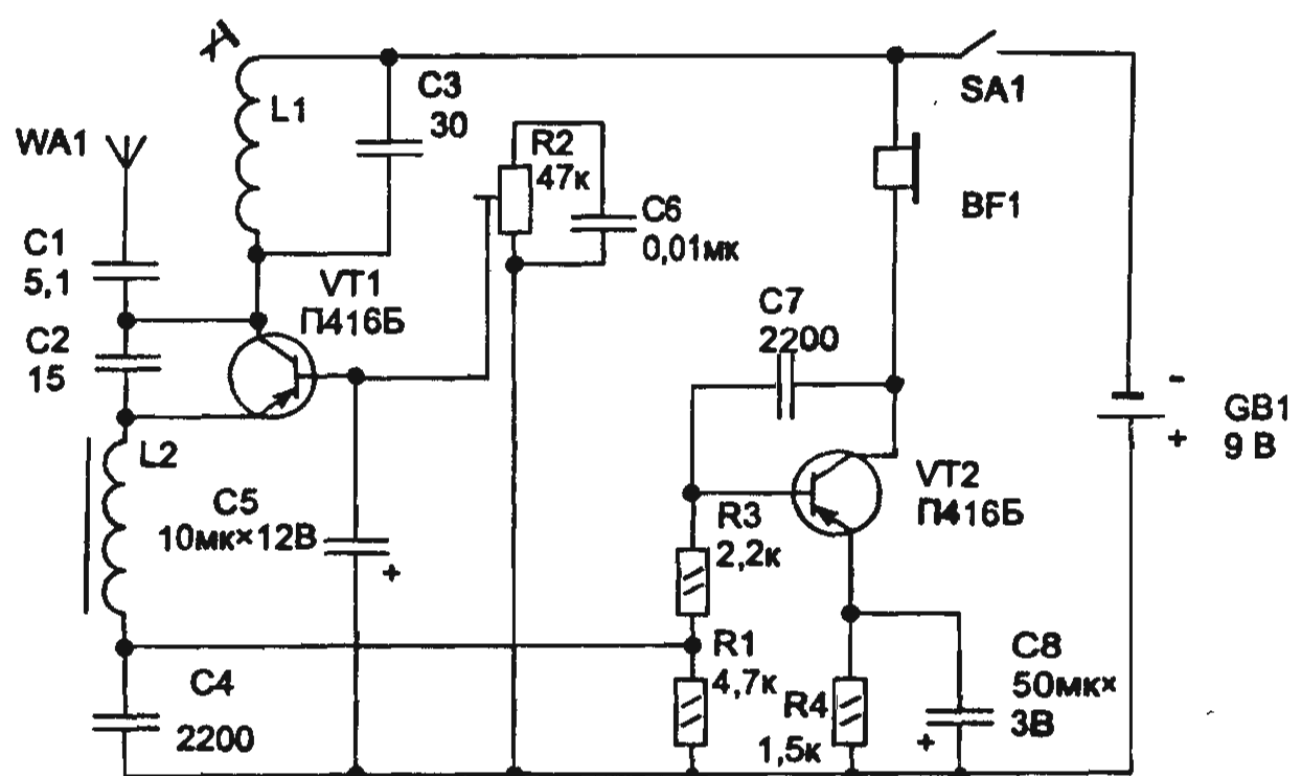


Рис. 8.24. Схема приёмника устройства для прослушивания фонограмм

Катушки L1 и в передатчике, и в приемнике намотаны на полистироловых каркасах диаметром 7 мм. Они имеют подстроечники из феррита 600НН диаметром 2,8 и длиной 12 мм. Обмотки катушек содержат по 8,5 витков провода ПЭВ-2 0,15, намотанных виток к витку у основания каркаса. Дроссели L2 намотаны на корпусах резисторов МЛТ-0,5 сопротивлением не менее 500 кОм. Обмотка дросселя передатчика должна содержать 80...85 витков провода ПЭВ-2 0,12, а обмотка дросселя приемника — 30 витков того же провода. Выключатели SA1 — любые малогабаритные. В качестве приемной и передающей антенн использован стальной упругий провод длиной 200 мм. Телефон — ТОН-1 или ТОН-2.

Перед настройкой аппаратуры необходимо прежде всего проверить работоспособность усилителя ЗЧ и генератора ВЧ-передатчика. Затем в приемнике подстроечным резистором R2 установить на эмиттере транзистора VT2 напряжение 6 В относительно общего провода и измерить потребляемый от батареи ток. Он должен быть в пределах 12...15 мА. Отклонение величины тока как в меньшую, так и в большую сторону говорит об ошибке в монтаже или неисправности какой-либо детали.

Теперь приступают непосредственно к настройке. Для этого подключают вход усилителя ЗЧ передатчика к выходу усилителя воспроизведения магнитофона. Затем ставят на магнитофон какую-либо кассету и включают магнитофон и передатчик. В последнюю очередь включают приемник и с помощью подстроечников катушек L1 передатчика и приемника настраивают их колебательные контуры на одинаковую частоту, добиваясь наиболее громкого звука в телефонах. Во время настройки приемник должен находиться на расстоянии 5 м от передатчика. После регулировок подстроечники катушек укрепить парафином.

8.7.8. Пробник для проверки кварцевых резонаторов [23]

Часто необходимо оперативно проверить работоспособность кварца и хотя бы приблизительно определить его резонансную частоту. Это бывает нужно при покупке кварцев на рынке с рук, при ремонте или конструировании аппаратуры, где используются старые кварцы.

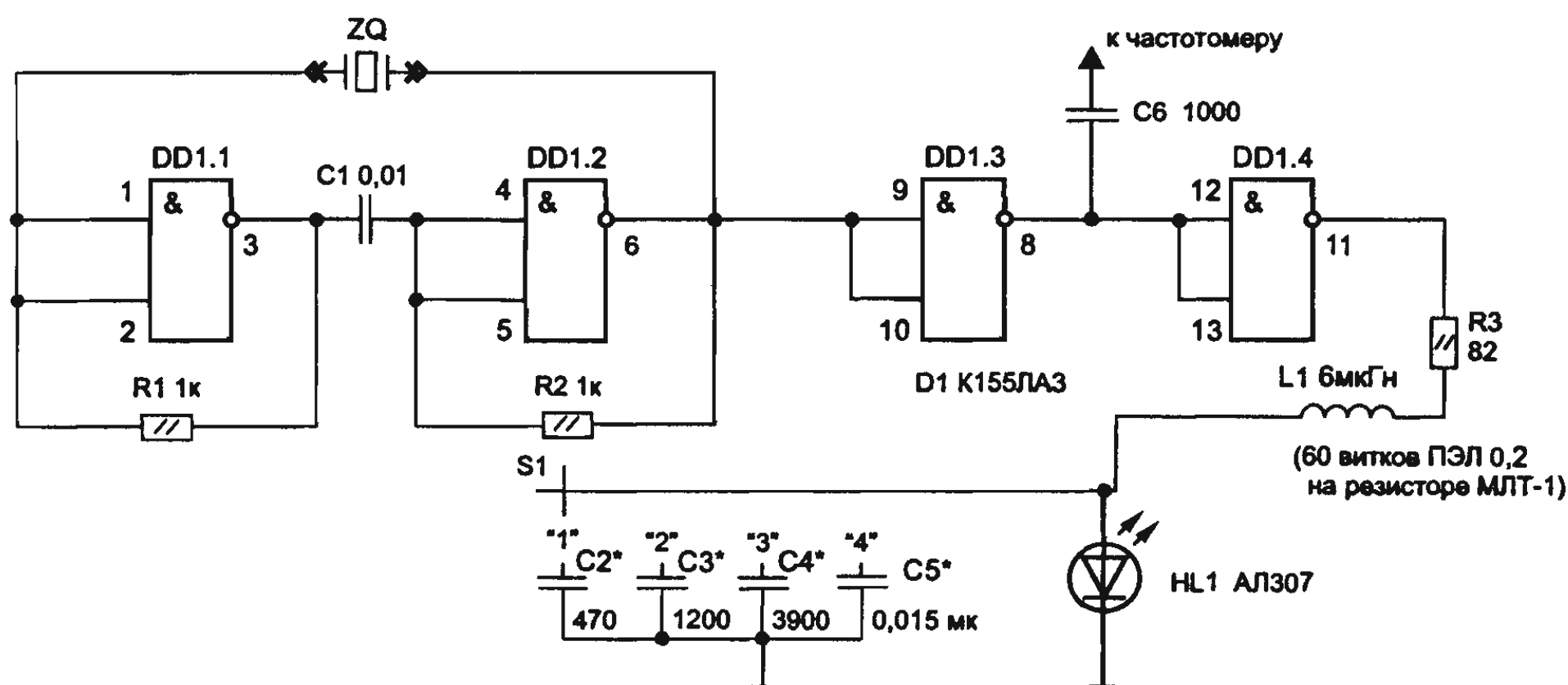


Рис. 8.25. Схема пробника для проверки кварцевых резонаторов

Пробник собран на одной микросхеме типа К155ЛА3 (рис. 8.25), он имеет контрольный выход на частотомер или к антенне приемника для точного определения частоты кварца и светодиода, который указывает на наличие генерации кварца. С помощью переключателя SA1 и конденсаторов C2—C5 можно грубо определить диапазон частот, где «генерит» кварц.

Работает пробник следующим образом. При подключении кварцевого резонатора генератор на DD1.1 DD1.2 возбуждается. При этом светодиод HL1 светится. По силе его свечения можно грубо определить диапазон генерации кварца и активность кварцевой пластины (конечно, при некотором опыте работы с прибором). Чем ниже частота генерации и чем активнее кварц, тем ярче будет светиться светодиод. Затем с помощью переключателя SA1 параллельно светодиоду подключаются шунтирующие емкости C2—C5. Емкость C2 «гасит» светодиод, когда генератор работает на частоте выше 14 МГц. Если на кварце указана другая частота, а в положении «1» светодиод не светится, значит, кварц не возбуждается, а генератор работает только за счет паразитной емкости кварца. Такой кварц неисправен. В положении «2» переключателя SA1 светодиод гаснет, если частота генерации выше 7 МГц. В положении «3» переключателя SA1 максимальная частота индикации — 2 МГц, а в положении «4» — 500 кГц. Емкости C2—C5 могут немного отличаться от приведенных здесь номиналов из-за того, что различные типы конденсаторов имеют различное индуктивное сопротивление.

Пробник хорошо «генерит» с кварцами от 100 кГц до 18 МГц. Ниже 100 кГц «генерят» лишь отдельные экземпляры очень активных кварцев. Выше 18 МГц все кварцы гармониковые, поэтому их частоты генерации следует искать на частотах в 3-5-7 раз ниже, чем указано на корпусе кварца.

Пробник может уверенно работать в диапазоне напряжений от 3,5 до 6 вольт, а реально, при снижении границ диапазонов генерации до 300 кГц и 12 МГц — и в диапазоне напряжений 3—6,5 В, что вполне позволяет пользоваться им при автономным питанием длительное время.

Конструкция прибора может быть любой, важно лишь обеспечить минимальную длину выводов блокировочных конденсаторов С2—С5. Прибор может быть выполнен в корпусе, спаянном из фольгированного стеклотекстолита размером 120 × 50 × 65 мм. В этом же корпусе можно поместить и питание — элемент ЦНК-0,45. Для подключения кварцев можно использовать монтажные стойки, размещенные на расстоянии 10 мм друг от друга. К ним можно подключить кварц в корпусе Б, а также кварцы старых типов — начиная от карболитовых корпусов от РСИУ и кончая американскими военными кварцами из аппаратуры, поставленной по ленд-лизу. Для подключения кварцев иных типов можно использовать зажим «крокодил».

8.7.9. Полезные советы

1. При намотке катушки индуктивности проводом в эмалевой изоляции необходимо учитывать, что загрязненность рук может значительно снизить добротность катушки, поэтому проводить намотку следует через лоскут хлопчатобумажной ткани. Еще лучше производить намотку в тонких хлопчатобумажных перчатках.

2. Чтобы предупредить образование «барашков» на проводе при намотке катушек, нужно перед намоткой надеть на провод полихлорвиниловую трубку диаметром 45 и длиной 100...150 мм. Под тяжестью трубки обмоточный провод натягивается, что не дает ему скручиваться и в то же время не мешает намотке.

3. Для фиксации карбонильных сердечников в катушке можно использовать полоску из полиэтиленовой пленки подходящей толщины, опустив ее в каркас перед ввинчиванием сердечника. Пленка заполнит зазор в резьбе и не позволит сердечнику самопроизвольно перемещаться.

8.8. ЗАДАЧИ

1. В схеме усилителя с коэффициентом усиления $K = 110$ имеется цепь положительной обратной связи с коэффициентом передачи $b = 0,01$. Возникнут ли в схеме незатухающие колебания?

2. Определить минимальный коэффициент усиления усилителя с положительной обратной связью $b = 0,02$, при котором схема усилителя самовозбуждается.

3. Как настраивается контур LC-автогенератора при включении кварцевого резонатора между затвором и истоком транзистора (рис. 8.26, а)?

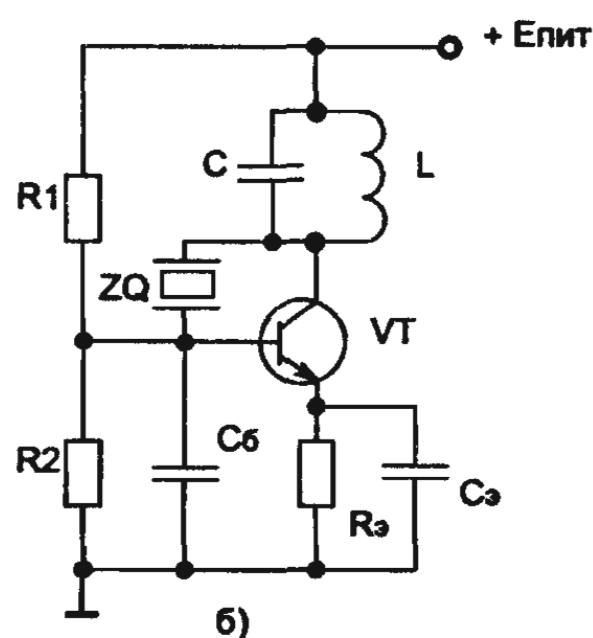
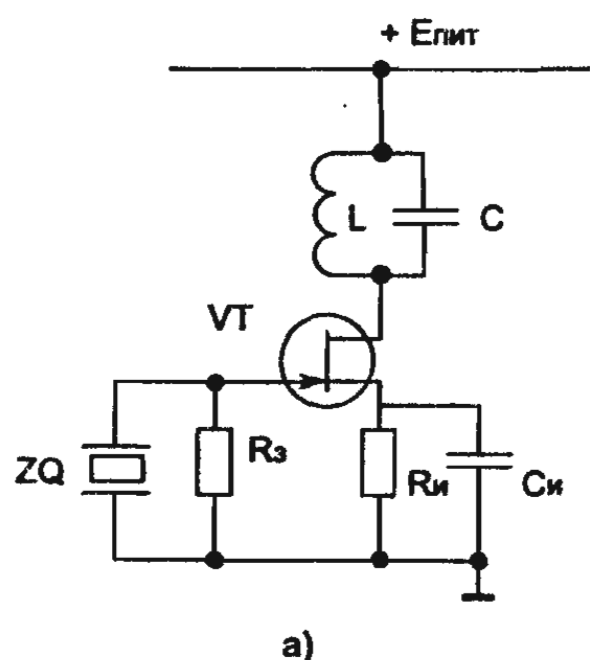


Рис. 8.26. Генераторы синусоидальных колебаний с кварцевой стабилизацией частоты

4. Как настраивается контур LC-автогенератора при включении кварцевого резонатора между коллектором и базой (рис. 8.26, б)?

5. В схеме генератора (рис. 8.27) произошло короткое замыкание: а) резистора R_K ; б) резистора $R_{Э1}$. В каком случае схема сохраняет свою работоспособность?

6. Принцип действия автоколебательного мультивибратора на операционном усилителе (рис. 8.28, а) состоит в следующем. При подаче питающих напряжений на операционный усилитель в начальный момент времени инвертирующий вход 1 заземлен ($U_1 = 0$), а на неинвертирующем входе 2 $U_2 = U_{\max} R_2 / (R_1 + R_2)$, так как в схеме действу-

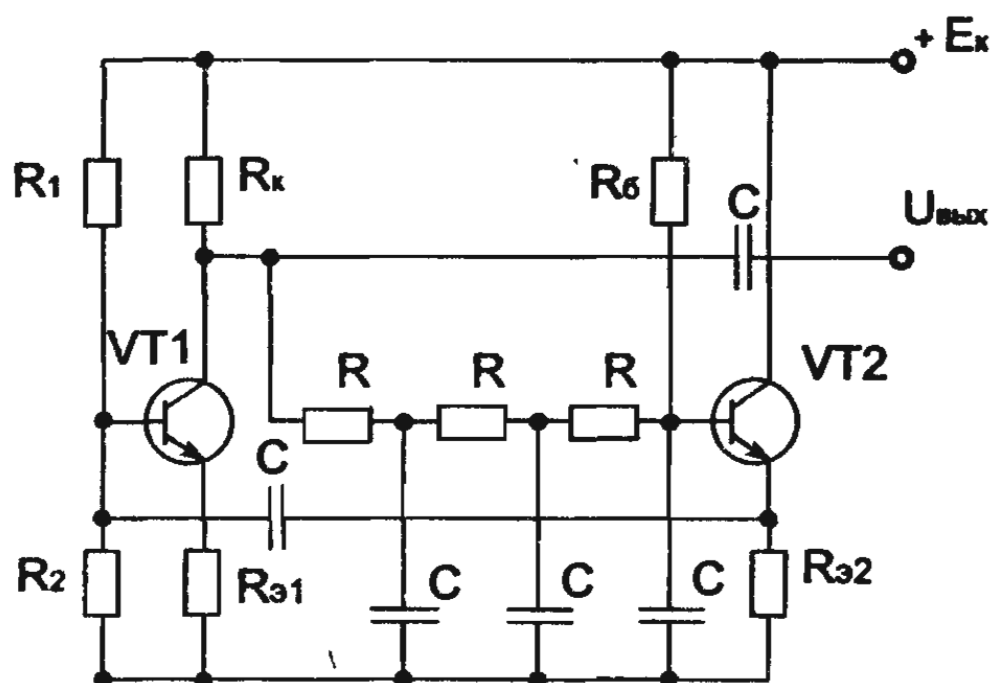


Рис. 8.27 Схема RC – генератора

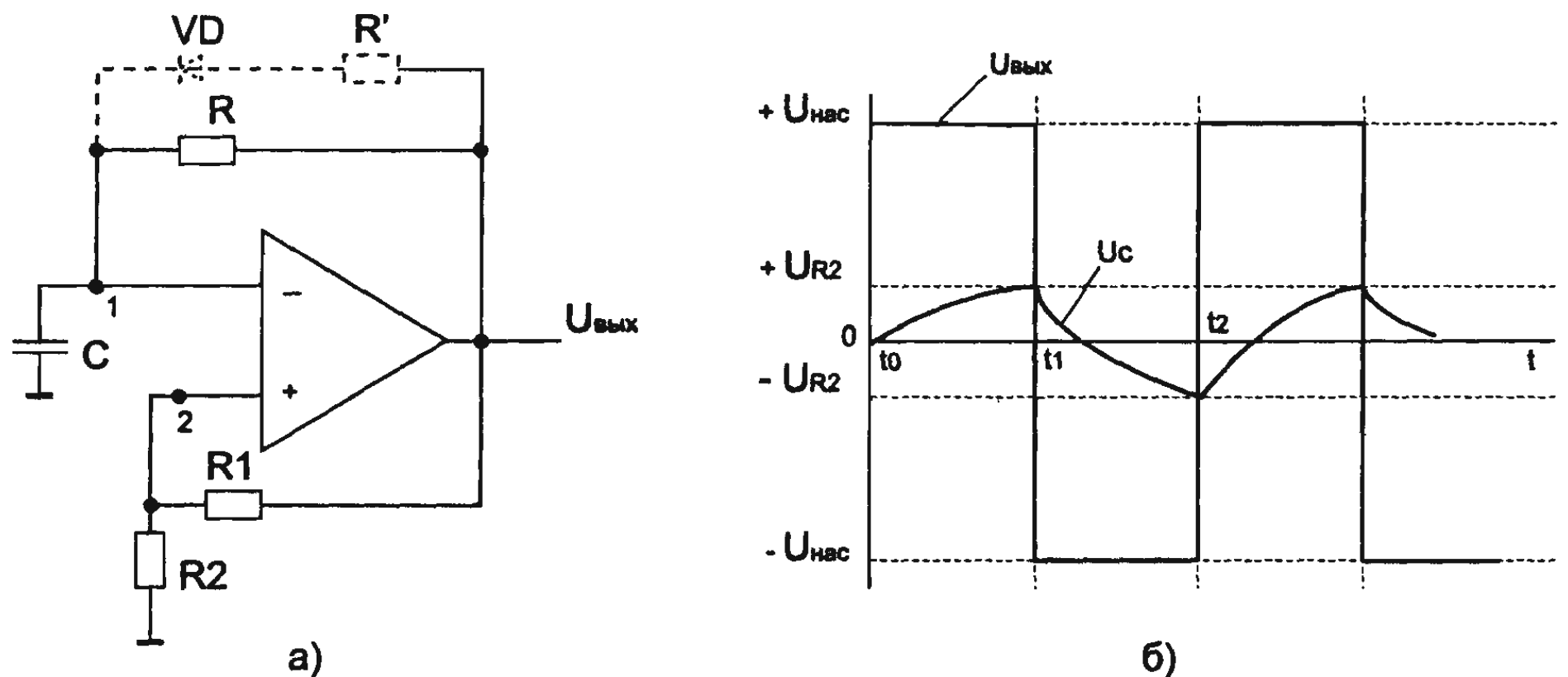


Рис. 8.28. Схема автоколебательного мультивибратора на операционном усилителе

ет положительная обратная связь, переводящая ОУ в режим насыщения, когда напряжение на выходе постоянно и равно максимальному значению $U_{\text{вых.мах}} = U_{\text{нас}}$. Конденсатор заряжается с постоянной времени $t = RC$, и напряжение на нем изменяется, стремясь к значению $+U_{\text{нас}}$. При $U_C = U_{R2}$ выходное напряжение скачком изменяется, достигая своего отрицательного предела $-U_{\text{нас}}$. Напряжение U_{R2} становится отрицательным и удерживает устройство в состоянии насыщения, когда $U_{\text{вых}} = -U_{\text{нас}}$. Конденсатор C перезаряжается, а напряжение на нем стремится к значению $-U_{\text{нас}}$. При $U_C = -U_{R2}$ снова происходит изменение выходного напряжения до положительного предела. Покажите с помощью временных диаграмм (рис. 8.28, б), что частота мультивибратора увеличивается, если: а) уменьшить глубину положительной обратной связи (увеличить сопротивление резистора $R1$); б) уменьшить постоянную времени заряда конденсатора.

7. В схеме (рис. 8.28) случайно «закоротили» резистор $R2$. Потеряет ли схема работоспособность?

Глава 9

Телефон в вашем доме

9.1. ДЕТАЛИ ТЕЛЕФОННЫХ АППАРАТОВ

9.1.1. Телефон

Телефоном называется устройство (прибор), с помощью которого электрические колебания преобразуются в звуковые. Такой преобразователь предназначен для работы в условиях нагрузки на ухо человека. По конструктивным особенностям телефоны подразделяются на электромагнитные, электродинамические, с дифференциальной электромагнитной системой и пьезоэлектрические.

Принцип работы электромагнитного телефона основан на изменении силы, действующей на ферромагнитные мембрану или якорь. Изменение происходит за счет взаимосвязи магнитных потоков, создаваемых постоянным магнитом и электромагнитом телефона. Телефон, колебание мембраны которого обеспечивается переменной по величине силой, действующей в одном направлении, называется телефоном с простой электромагнитной системой.

Более сложное устройство имеют телефоны электродинамические и с дифференциальной электромагнитной системой. Работа электродинамического телефона основана на изменении силы, действующей на подвижную катушку, жестко связанную с мембраной. Это происходит в результате взаимодействия магнитных потоков постоянного магнита и создаваемого переменным током, протекающим по обмотке этой катушки, находящейся в поле этого магнита. В телефоне с дифференциальной электромагнитной системой колебание мембраны происходит под действием разности двух сил, влияющих на якорь, жестко связанный с мембраной.

Принцип действия пьезоэлектрического телефона основан на явлении деформации связанных с мембраной пластинок из пьезо-

материалов при подключении их к источнику переменного напряжения звуковой частоты.

Наибольшее распространение получили электромагнитные телефоны, однако в некоторых аппаратах используются также телефоны электродинамические и с дифференциальной электромагнитной системой. В простых телефонных аппаратах общего применения используются капсюльные телефоны. Все детали такого телефона смонтированы в отдельном корпусе, являющемся сменным элементом телефонного аппарата.

Отечественной промышленностью до 1970 г. поставлялись телефонные капсюли ТА-47 и ТА-4, которые находятся в эксплуатации и в настоящее время. С 1969 г. поставляются только телефонные капсюли ТА-67.

9.1.2. Микрофон

Микрофоном называется устройство (прибор), предназначенное для преобразования звуковых колебаний речи в электрические колебания. Микрофоны могут быть угольными, конденсаторными, электромагнитными, электродинамическими и пьезоэлектрическими.

В старых телефонных аппаратах общего применения распространение получили угольные микрофоны, действие которых основано на изменении электрического сопротивления угольного порошка при возбуждении мембраны звуковыми колебаниями.

Отечественной промышленностью до 1970 г. поставлялись капсюльные микрофоны типа МК-10, которые находятся в эксплуатации и в настоящее время. С 1969 г. выпускаются микрофонные капсюли только типа МК-16.

9.1.3. Звонок

Звонок в телефонном аппарате служит для приема сигналов вызова АТС и представляет собой электромагнитное устройство, преобразующее вызывной электрический сигнал переменного тока в звуковой сигнал, создаваемый ударами бойка о звонковые чашки. Он преобразует энергию электрических колебаний низкой частоты (16, 25, 50 Гц) в энергию акустических колебаний звуковых частот. В телефонных аппаратах применяют поляризованные звонки, размещаемые обычно внутри аппаратов. Принципиально

такой звонок состоит из электромагнита, постоянного магнита, якоря с бойком и двух чашек. Постоянный магнит создает постоянную полярность сердечника, вследствие чего звонок и называется поляризованным.

При прохождении по обмоткам электромагнитов переменного тока создаваемый ими переменный магнитный поток взаимодействует с магнитным потоком постоянного магнита и попеременно ослабляет силу притяжения одного и увеличивает силу притяжения другого электромагнита. Вследствие этого якорь приводится в движение, и скрепленный с ним боек ударяет по чашке звонка. В течение одного периода переменного тока боек ударит по каждой чашке звонка один раз. При переменном токе частотой 25 Гц боек ударит по чашкам 50 раз. Звонки в телефонных аппаратах АТС обычно работают от переменного тока частотой 16...25 Гц.

К схеме телефонного аппарата звонок может быть подключен двумя способами:

— цепь звонка при переключении схемы аппарата из состояния приема вызова в разговорное состояние выключается контактами рычажного переключателя;

— цепь звонка в разговорном состоянии схемы остается подключенной параллельно линейным зажимам. Поскольку сопротивление этой цепи для разговорных токов велико, влияние ее на приемопередачу будет незначительным.

9.1.4. Трансформатор

Трансформатор телефонного аппарата предназначен для связи отдельных элементов разговорной части схемы, а также для согласования их сопротивлений с входным сопротивлением линии. В современных телефонных аппаратах применяют трансформаторы низкой частоты с сердечником стержневого типа.

В телефонных аппаратах распространение получили трансформаторы с тремя обмотками: линейной, балансной и телефонной. Применяются трансформаторы с двумя обмотками. В зарубежных трансформаторах некоторых модификаций используются трансформаторы с четырьмя и пятью обмотками, из которых дополнительные обмотки применяются для включения элементов в различных контурах схемы. В цепи балансного контура реже применяют

бифилярную обмотку, являющуюся чисто активным сопротивлением.

В аппаратуре используются также автотрансформаторы, имеющие одну обмотку с одним или несколькими промежуточными выводами.

9.1.5. Другие детали

Наиболее важными из них являются фриттер и автоматический регулятор уровней (АРУ). Фриттер (ограничитель напряжения) служит для предохранения уха разговаривающего по телефону от акустических ударов, возникающих вследствие резкого увеличения звукового давления, развиваемого телефоном при повышенных импульсах напряжения. Он также защищает слух от щелчков и тресков, появляющихся из-за кратковременного нарушения электрических контактов в номеронабирателях, искателях, шнурах и других устройствах вследствие изменения их сопротивления. На коротких линиях фриттер позволяет снизить уровень громкости сигнала.

В качестве фриттеров используют некоторые типы варисторов, полупроводниковых диодов. Он подключается параллельно телефону и представляет собой активное нелинейное сопротивление, шунтирующее действие которого возрастает при увеличении напряжения на зажимах аппарата.

АРУ обеспечивает постоянство уровней передачи, приема и местного эффекта независимо от длины (затухания) абонентской линии. Он также позволяет уменьшить излишнюю громкость и возможность зуммирования на коротких абонентских линиях, громкость переходных разговоров и уровень принимаемого шума.

Используемые в некоторых телефонных аппаратах АРУ основаны на двух способах регулирования уровня приема и передачи:

— с введением дополнительных обмоток трансформатора или воздействием на него, например путем шунтирования одной из обмоток;

— с возможностью шунтирования при приеме входа аппарата или телефона, а при передаче — микрофона или других участков схемы микрофонной цепи.

В качестве регулирующих элементов обычно используют варисторы, полупроводниковые диоды и другие элементы.

9.2. СХЕМЫ ТЕЛЕФОННЫХ АППАРАТОВ

При любой существующей схеме телефонного аппарата возникает явление так называемого местного эффекта-прослушивания окружающих шумов и собственной речи в телефоне аппарата. Для устранения местного эффекта разработаны противоместные схемы, которые используются в современных аппаратах. В зависимости от способа включения телефона и микрофона различают противоместные схемы телефонных аппаратов мостового и компенсационного типов. Выбор схемы в основном обуславливается электрическими характеристиками телефона и микрофона, а также удобством и экономичностью построения электрических цепей. В современных телефонных аппаратах наибольшее распространение получили противоместные схемы мостового типа. Каждая схема телефонного аппарата состоит из коммутационно-вызывной и разговорной частей.

Основными элементами коммутационно-вызывной части схемы являются рычажной переключатель, звонок, разделительный конденсатор и номеронабиратель, а разговорной части — телефон, микрофон, трансформатор и балансный контур. С помощью балансного контура, состоящего из резисторов и конденсаторов, создается цепь разговорного тока, позволяющая ослабить местный эффект, т. е. прослушивание окружающих шумов и собственной речи в телефоне аппарата, с которого ведется разговор. Сопротивление балансного контура переменному току в полосе частот 300...3400 Гц должно быть возможно близким к входному сопротивлению абонентской линии.

Противоместная схема мостового типа (рис. 9.1, а) монтируется таким образом, что микрофон BM , телефон BF , балансный контур Z_6 и линия Z_n связаны между собой тремя обмотками трансформатора TV : линейной I, баланснoй II и телефонной III. При этом телефон с другими частями схемы имеет только индуктивную связь. Во время разговора, когда микрофон является генератором переменной электродвижущей силы (э.д.с.), разговорные токи проходят по двум цепям: линейной (микрофон BM , обмотка I трансформатора TV , клемма Л1, линия Z_n , клемма Л2, микрофон BM) и баланснoй: микрофон BM , обмотка II трансформатора TV , баланснoй контур Z_6 , микрофон BM). Передача исходящего разговора происходит за счет протекания тока в линейной цепи. Разговорные токи в баланснoй цепи обеспечивают противоместность схемы аппарата. В обмотках I и II трансформатора токи протекают

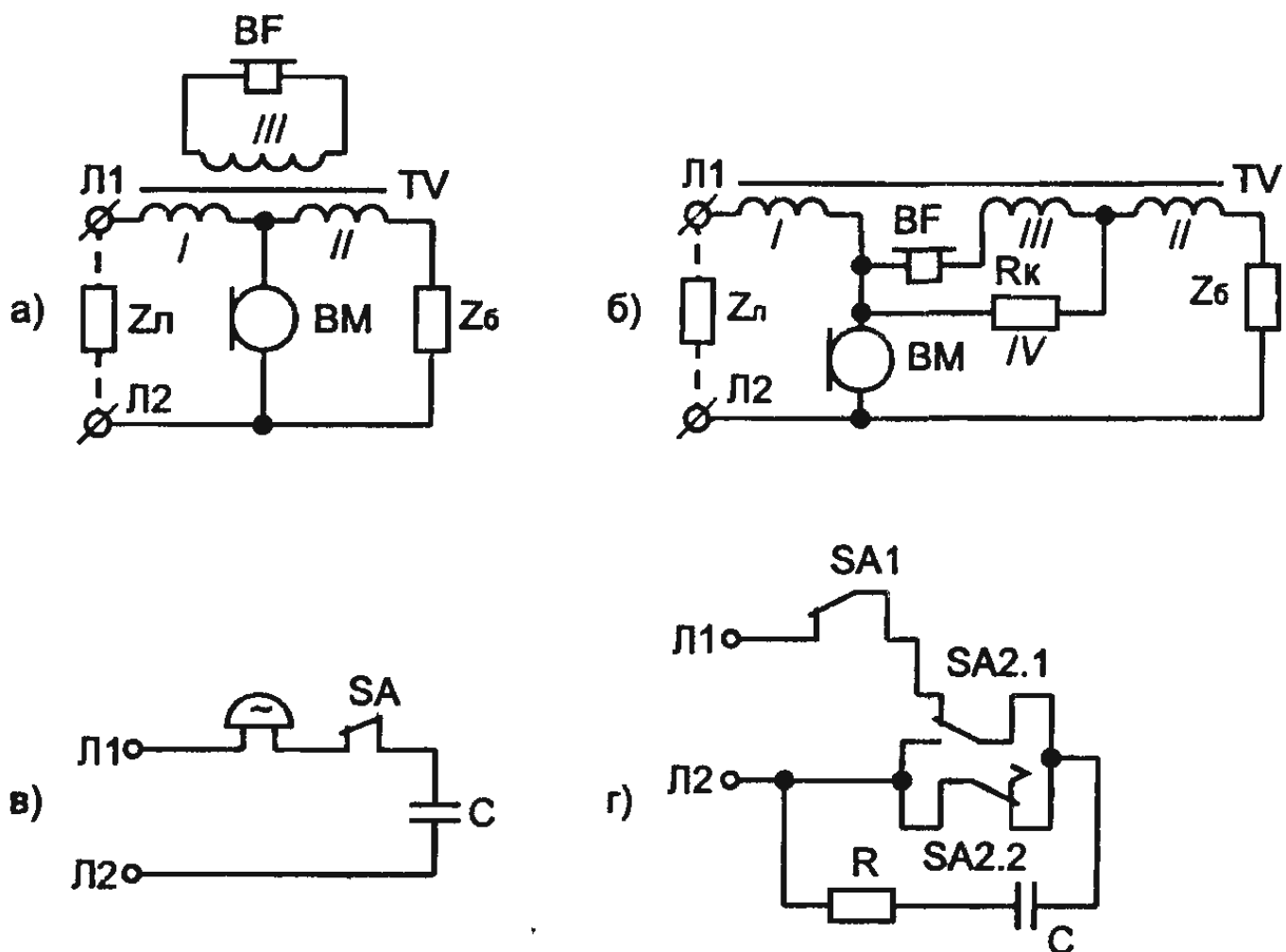


Рис. 9.1. Принципиальные схемы телефонных аппаратов и цепей:
 а) противоместная мостовая схема; б) противоместная компенсационного типа; в) вызывная цепь; г) импульсная цепь

в противоположных направлениях, создавая два магнитных поля, которые в свою очередь вызывают появление в сердечнике магнитопровода трансформатора двух противоположных по направлению магнитных потоков. Результирующий магнитный поток при этом будет значительно ослаблен, вследствие чего в обмотке III TV будет индуцироваться незначительная э.д.с. и собственный голос в телефоне практически прослушиваться не будет.

Полное устранение местного эффекта может быть достигнуто только на одной вполне определенной частоте и вполне определенной линии, что в реальных условиях не выполнимо, поскольку речевой сигнал содержит весьма широкий спектр частот, а параметры линии колеблются в значительных пределах. Поэтому местный эффект полностью не уничтожается, а только ослабляется.

Во время приема разговора поступающий с линии в телефонный аппарат разговорный ток проходит по цепи: $Z_л$, клемма Л1, обмотки I и II трансформатора TV, балансный контур $Z_б$, клемма Л2, линия $Z_л$. Частично ток ответвляется через микрофон BM.

Ток в обмотках I и II трансформатора имеет одно направление, вследствие чего создаваемые им магнитные потоки будут складываться. Суммарный магнитный поток индуцирует в обмотке III трансформатора э.д.с., создающую ток в обмотках телефона, который и воспроизводит речь, переданную с другого аппарата.

Противоместная схема компенсационного типа (рис. 9.1, б) отличается от мостовой тем, что микрофон ВМ, телефон ВФ, балансный контур Z_6 и линия Z_L связаны между собой четырьмя обмотками трансформатора: линейной I, баланснoй II, телефонной III и компенсационной IV. В такой схеме телефон с другими частями схемы имеет не только индуктивную, но и гальваническую (непосредственную) связь через обмотку IV, намотанную бифилярно (компенсационную обмотку R_n).

При передаче разговора ток проходит по двум цепям: линейной (микрофон ВМ, обмотка I трансформатора TV, клемма Л1, линия Z_L , клемма Л2, микрофон ВМ) и баланснoй (микрофон ВМ, обмотки IV и II трансформатора TV, баланснoй контур Z_6 , микрофон ВМ). Одновременно ток пройдет по параллельной цепи через телефон и обмотку III трансформатора TV.

Исходящий разговор передается за счет прохождения разговорного тока в линейной цепи. Разговорный ток в баланснoй цепи протекает по двум параллельным ветвям: 1) через телефон ВФ и обмотку III трансформатора TV и 2) через обмотку IV трансформатора T. Для переменного разговорного тока сопротивления этих ветвей будут неодинаковы. Чисто активное сопротивление обмотки IV не зависит от частоты переменного тока, а сопротивление обмоток телефона ВФ и III трансформатора TV имеет индуктивный характер и возрастает с увеличением частоты. Вследствие этого большая часть тока пойдет через сопротивление R_k и обмотку II трансформатора TV. Поэтому, пренебрегая током, проходящим через обмотки телефона ВФ и III трансформатора TV, баланснoй цепь можно представить в следующем виде: микрофон ВМ, обмотки IV и II трансформатора TV, баланснoй контур Z_6 , микрофон ВМ.

Таким образом, разговорный ток, проходя по обмоткам I и II трансформатора в противоположных направлениях, создает результирующий магнитный поток, который индуцирует в обмотке III TV переменную э.д.с. Величины результирующего магнитного потока индуцируемой э.д.с. и их направления определяются степенью согласованности параметров линии и телефонного аппарата. Одновременно разговорный ток, проходя через сопротивление R_k , вызовет падение напряжения на нем. Для полной противоместной схемы аппарата необходимо, чтобы э.д.с, индуцируемая в обмотке III TV, и падение напряжения на R_k были равны по величине и противоположны по фазе. В этом случае телефон окажется подключенным.

9.3. ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

9.3.1. Простой телефон [24]

Схема этого телефонного аппарата (рис. 9.2) обладает следующими отличительными свойствами по сравнению с широко известными:

- в вызывном устройстве отсутствует высоковольтный разделительный конденсатор, и оно постоянно включено в шлейф телефонной линии;
- использование в качестве микрофонного и телефонного усилителей микросхем К1436УН1 (аналог МС34119) позволило сократить до минимума количество элементов «обвязки» разговорного узла.

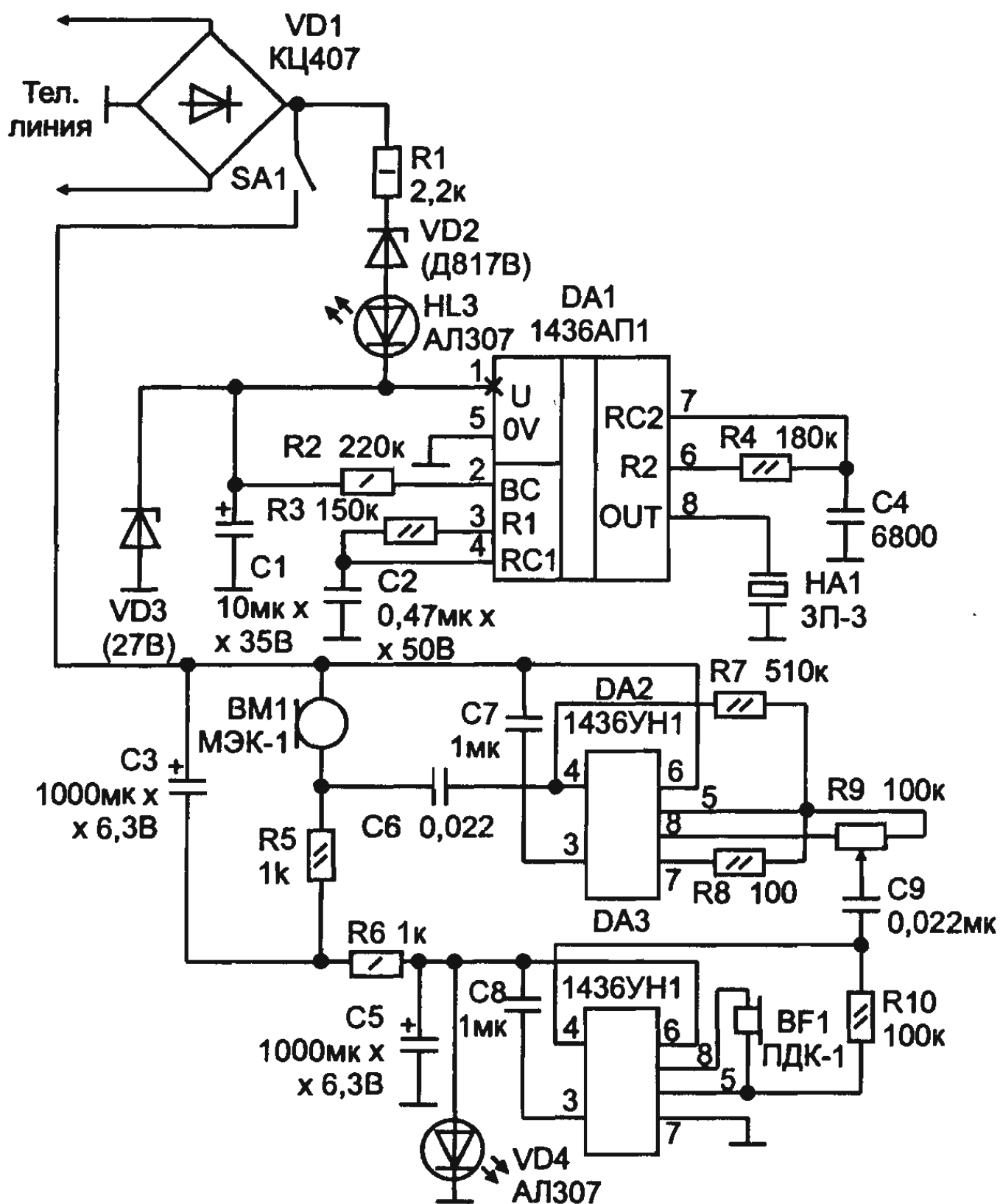


Рис. 9.2. Схема простого телефонного аппарата

Данный телефон позволяет принять вызов и провести разговор. Его можно использовать для кухни, ванной комнаты и т. д. Разместить можно в корпусе детской игрушки, в пенале от зубной щетки. При желании схему можно дополнить и номеронабирателем. Микросхема звонка К1436АП1 (аналог DBL5001/2) включена по стандартной схеме. Единственное отличие — в цепь питания микросхемы включен стабилитрон VD2 с напряжением стабилизации 82 В. Благодаря ему вызывное устройство не шунтирует телефонную линию при наборе номера и при разговорном соединении.

Разговорный узел собран на микросхемах DA2 и DA3. Конденсатор C3 и резистор R6 — фильтр питания для микрофона BM1. C7 — блокировочный. Нагрузкой микросхемы DA2 является резистор R8. Схема подавляет местный эффект. Регулировка ее производится резистором R9.

При стабильных параметрах R5, BM1, R7, R8 резистор R9 можно заменить на два постоянных резистора.

Величина сигнала для телефона BF1 устанавливается резистором R10. Микросхема DA3 питается от параметрического стабилизатора R6-VD4-C5. Конденсатор C8 — блокировочный.

Из-за простоты и хорошей повторяемости эту схему можно использовать для улучшения старых телефонных аппаратов.

9.3.2. Усилитель к телефону

Предлагается конструкция, простая в изготовлении и легко присоединяемая к аппарату. Питание усилителя осуществляется от телефонной сети, как и в аппаратах последних моделей. Собирается он всего на одном транзисторе VT1, включенном по схеме с общим эмиттером (рис. 9.3). Стоящий на входе переменный резистор R1 позволяет регулировать уровень сигнала, поступающего на линию. Режим транзистора по постоянному току задает резистор R2, а с эмиттерной нагрузки R3 усиленный звуковой сигнал через разделительный конденсатор C2 поступает на «наушник» BF1 телефонной трубки. Кроме усилителя, на рисунке дан фрагмент схемы аппарата «Спектр-3», с которым схожи многие модели прошлых выпусков. Для них характерны дисковый номеронабиратель и угольный микрофон. Именно на последнем образуется во время разговора постоянное напряжение порядка 8...16 В, которое используется в качестве источника питания усилителя. Таким об-

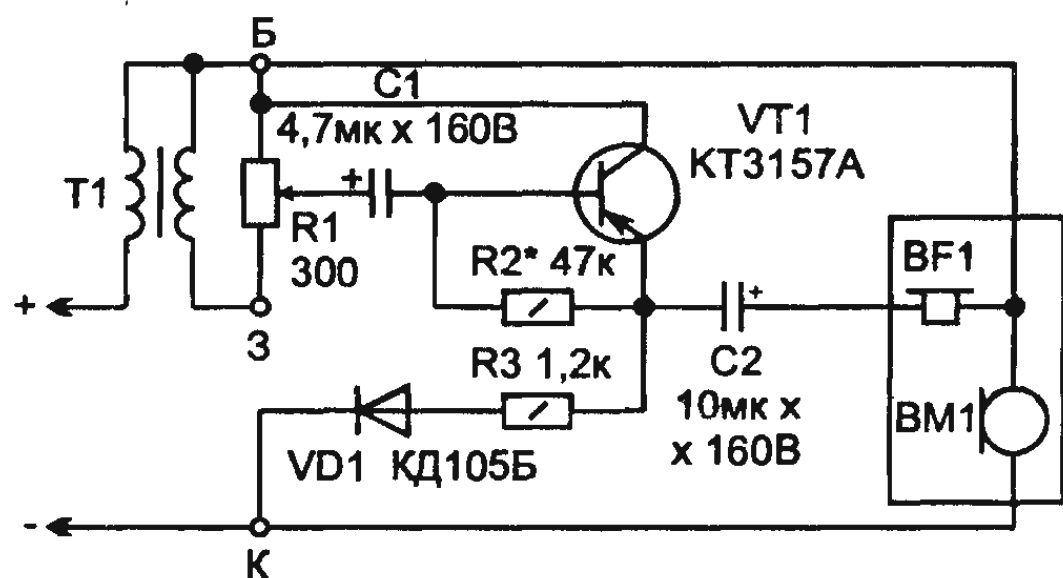


Рис. 9.3. Схема усилителя к телефонному аппарату

достаточно высоковольтные транзистор КТ3157А и конденсаторы типа К50-24. Другие детали — переменный резистор СП-0,4 и постоянные МЛТ-0,25.

Усилитель собирают на односторонне фольгированной плате, эскиз которой со стороны печатных проводников приведен на рис. 9.4. Изолирующие границы проводящих участков получают сквозным прорезанием фольги. На рисунке показана также распайка выводов радиоэлементов, находящихся с обратной стороны, и внешние соединения платы с узлами телефонного аппарата и вынесенным резистором-регулятором R1.

Налаживают усилитель перед его установкой в телефон. Для этого к местам платы, которые должны соединяться с клеммами «б» и «к» аппарата, подают соответственно «+» и «-» от любого источника постоянного тока с напряжением 9 В. В разрыв

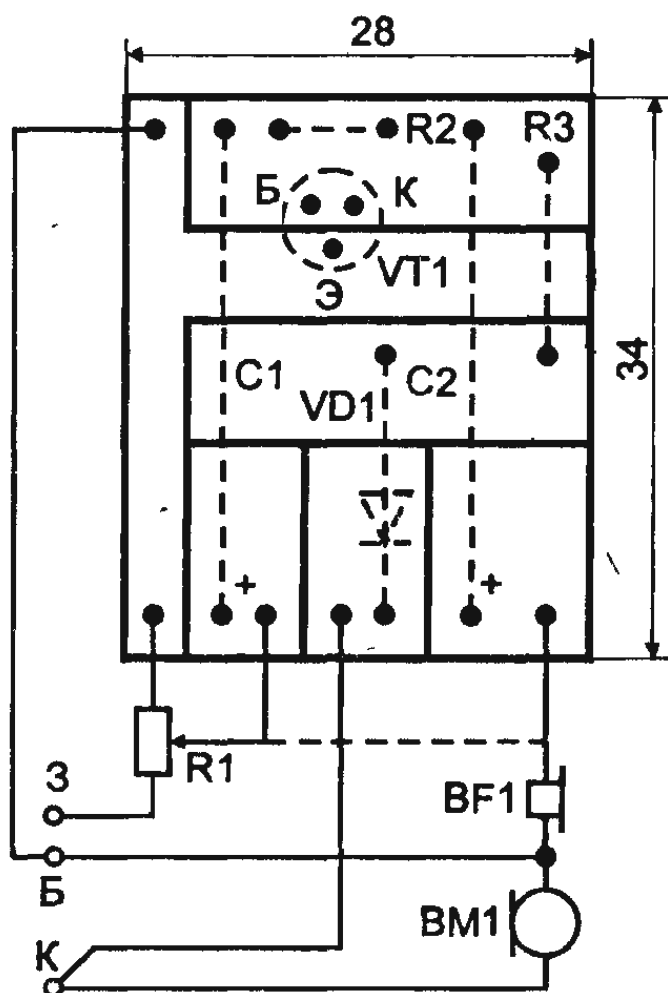


Рис. 9.4. Печатная плата усилителя к телефонному аппарату

разом, по постоянному току усилитель присоединен параллельно микрофону. Роль диода VD1 — защитить усилитель от повышенного напряжения обратной полярности, когда трубка снята во время звонка. Броски напряжения прямой полярности усилителю не страшны, поскольку здесь применены

достаточно высоковольтные транзистор КТ3157А и конденсаторы типа К50-24. Другие детали — переменный резистор СП-0,4 и постоянные МЛТ-0,25. В разрыв одной из них включают, соблюдая полярность, миллиамперметр с пределом измерения порядка 10 мА. Подбирая при необходимости номинал резистора R2, устанавливают величину коллекторного тока около 4 мА, после чего плату помещают в корпус телефона.

Отыскать места для присоединения усилителя несложно. Сняв донышко аппарата, увидим три провода, идущих внутрь от спирального шнура трубки. Они разного цвета — зеленого, белого и красного. Клеммы, к которым они присоединены, на рисунках обозначены буквами «3», «б» и «к». Провод, соединяющий те-

лефон ВF1 с клеммой «3» (на рис. 9.4 показан пунктиром), отсоединяют и подают к выводу С на плате. Освободившуюся клемму «3» соединяют новым проводником с одним из крайних выводов R1. Как подключаются провода к остальным клеммам, думается, понятно и без особых пояснений.

Усилитель размещают в любой свободной полости аппарата и крепят к корпусу полоской изоляционной ленты. При подозрении, что детали усилителя могут касаться неизолированных участков схемы аппарата, всю плату в сборе пеленают витками изолен-ты. Регулятор громкости крепится на корпусе аппарата гаечкой, для чего нужно просверлить в удобном месте отверстие. На ось регулятора насаживается небольшая ручка.

Устройство почти не нагружает линию, вполне прилично усиливает звук. Если же возникнет «микрофонный эффект» в виде свиста, вскройте трубку и вложите в ручку кусок поролона.

9.3.3. Телефонный квазиблокиратор [25]

Устройство предназначено для подключения к одной телефонной линии и одной ячейке АТС (на один номер) двух телефонных аппаратов. Оно позволяет избавиться от взаимных помех и подслушивания разговоров, как это бывает при параллельном соединении.

В отличие от существующей ныне подобной системы «директор-секретарь», к квазиблокиратору можно подключать любые отечественные и импортные телефонные аппараты. Устройство собрано из доступных деталей и его сборка под силу даже начинающему радиолюбителю. Падение напряжения на квазиблокираторе составляет менее 2 В. Схема не имеет резонансов, что позволяет использовать ее с любыми АТС (рис. 9.5).

Как видно из схемы, устройство состоит из двух аналогов динисторов. Каждый собран из тринистора, стабилитрона, резистора и

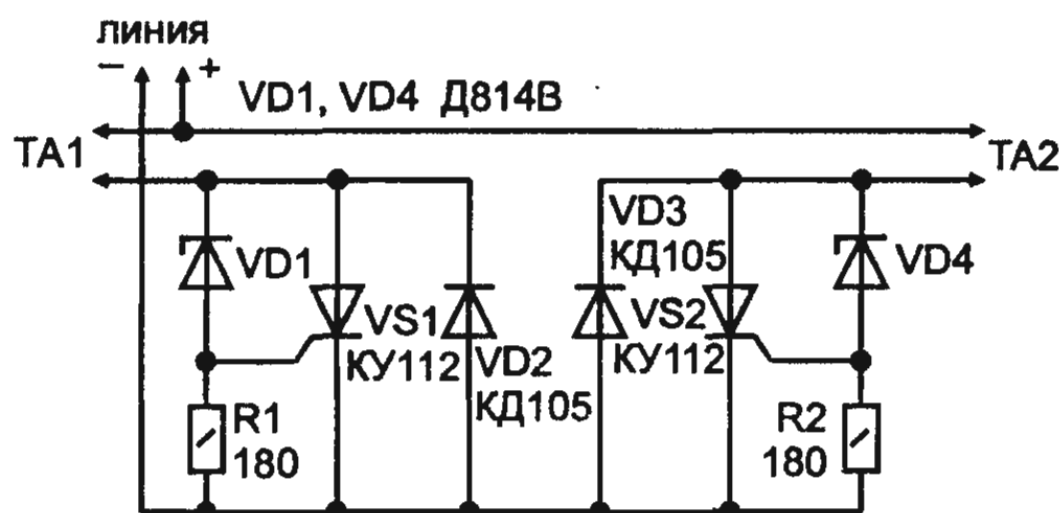


Рис. 9.5. Схема телефонного блокиратора

диода. При лежащих на рычагах трубка напряжение на линии равно 60 В, а при снятой трубке — 5...20 В (в зависимости от типа АТС и телефонного аппарата и расстояния до АТС). На этой разнице и построена работа устройства.

К примеру, когда абонент, №1 снимает трубку, к аналогу тринистора VS1 прикладывается напряжение 60 В, он пробивается, и ТА1 подключается к линии. Если после этого абонент №2 снимет трубку, к тринистору VS2 оказывается приложенным остаточное напряжение линии 6...20 В, недостаточное для пробоя тринистора, и аналог остается запертым. ТА2 будет отключен от линии до тех пор, пока абонент №1 не положит трубку на рычаг.

Для надежной работы важно, чтобы остаточное напряжение на линии было на 20...25% ниже напряжения пробоя стабилитронов, однако при напряжении больше 28...35 В начинаются сбои при наборе номера АМТС, т. к. аппаратура АТС такие перебои расценивает как «ОТБОЙ». Таким образом, рабочая зона стабилитронов лежит в диапазоне 10...25 В для отечественных и 15...25 В — для импортных аппаратов.

Схема устройства такова, что даже при выходе его из строя не нарушается работа связи, т. к. сопротивление между контактами «+» и «-» равно только сопротивлению аппарата при положенной на рычаг трубке.

В квазиблокираторе применены диоды КД105, тринисторы КУ112 и стабилитроны Д814В1 как наиболее доступные.

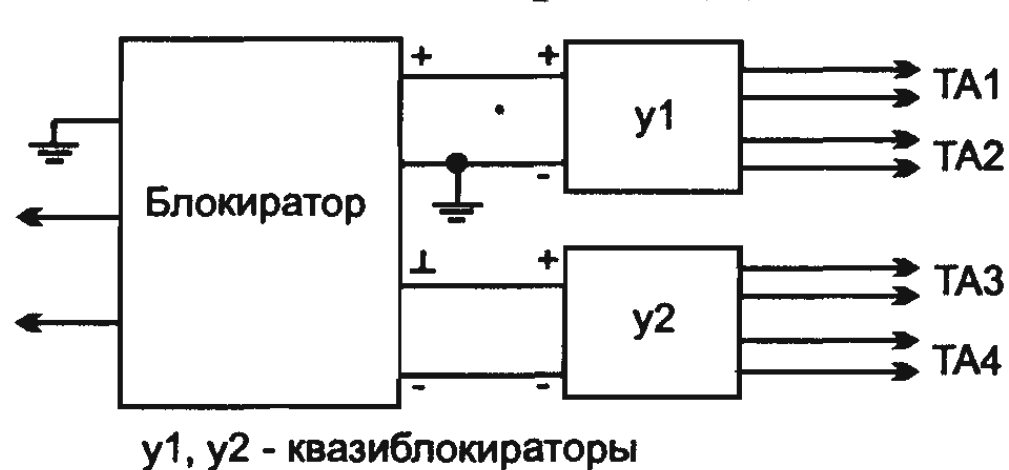


Рис. 9.6. Схема сопряжения квазиблокиратора с блокиратором

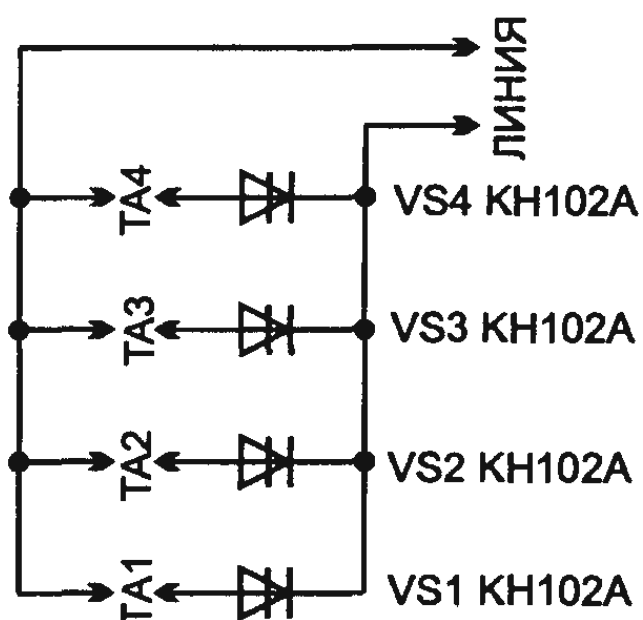


Рис. 9.7. Схема сопряжения квазиблокиратора с ДРП

Возможно применение других деталей, диодов и тринисторов с допустимым напряжением 100 В и током 0,1 А и стабилитронов с рабочим напряжением стабилизации 15...20 В.

Прежде всего надо по очереди подключить к линии аппараты 1 и 2 и измерить остаточное напряжение на линии в каждом случае. После этого — в аналог №1 установить стабилитрон или цепочку стабилитронов с напряжением, на 20% превышающим остаточное напряжение при подключенном ТА2, а в аналог №2 — с напряжением, на 20% превышающим остаточное при работающем ТА1, учитывая, что при подключении ап-

паратов, соответствующих ГОСТу, остаточное напряжение равно 8...10 В. При использовании таких телефонов можно в оба аналога установить цепочку из двух Д814В, пробивающихся при 18 В. При этом отпадает необходимость наладки.

Устройство хорошо сопрягается с блокиратором или ДРП (рис. 9.6 и 9.7), при этом оно предпочтительнее релейных схем, т. к. вносит меньшее затухание, чем и без того увеличенное блокиратором.

Устройство испытано с несколькими телефонами и показало хорошие результаты.

9.3.4. Блокировка на динисторах [26]

Если в одну цепь с каждым из параллельных телефонных аппаратов включить по динистору КН102А, то можно навсегда избавиться от их «подзванивания» при наборе номера. Подобное включение позволяет в момент, когда снята трубка одного из аппаратов, заблокировать работу остальных ТА.

Принцип действия схемы, представленной на рис. 9.8, прост. При поднятии телефонной трубки напряжение линии 60 вольт пробивает динистор в цепи задействованного аппарата и оно падает до 12 вольт, чего явно не хватает для пробоя динисторов в цепи параллельных аппаратов. Последние оказываются практически отключенными от линии до тех пор, пока первый из снявших трубку не положит ее на рычаги.

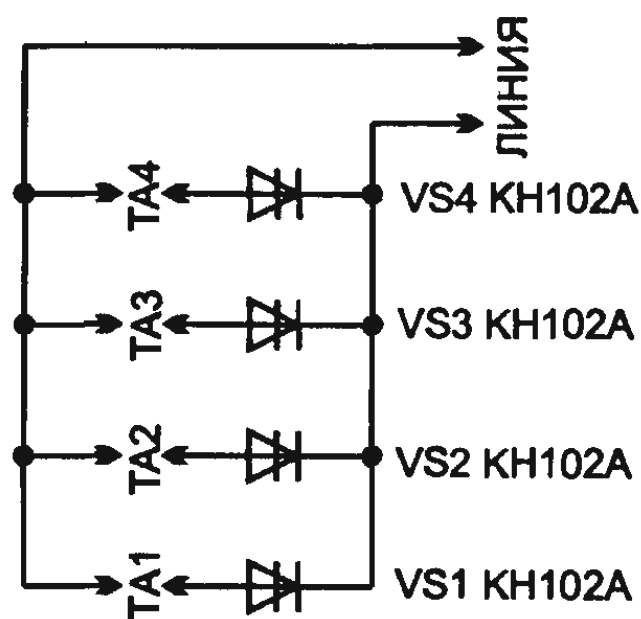


Рис. 9.8. Схема простого блокиратора на динисторах

9.3.5. Электронная телефонная трубка [26]

Практически любой телефонный аппарат состоит из трех основных узлов: разговорного, вызывного (звонок) и наборного. Разговорный узел традиционных телефонных аппаратов собирается по схеме с трансформатором, который выполняет несколько функций, в том числе и функцию подавления так называемого местного эффекта. Дело в том, что сигнал от «своего» (местного) микрофона звучит значительно громче по сравнению с сигналом от дальнего микрофона абонента.

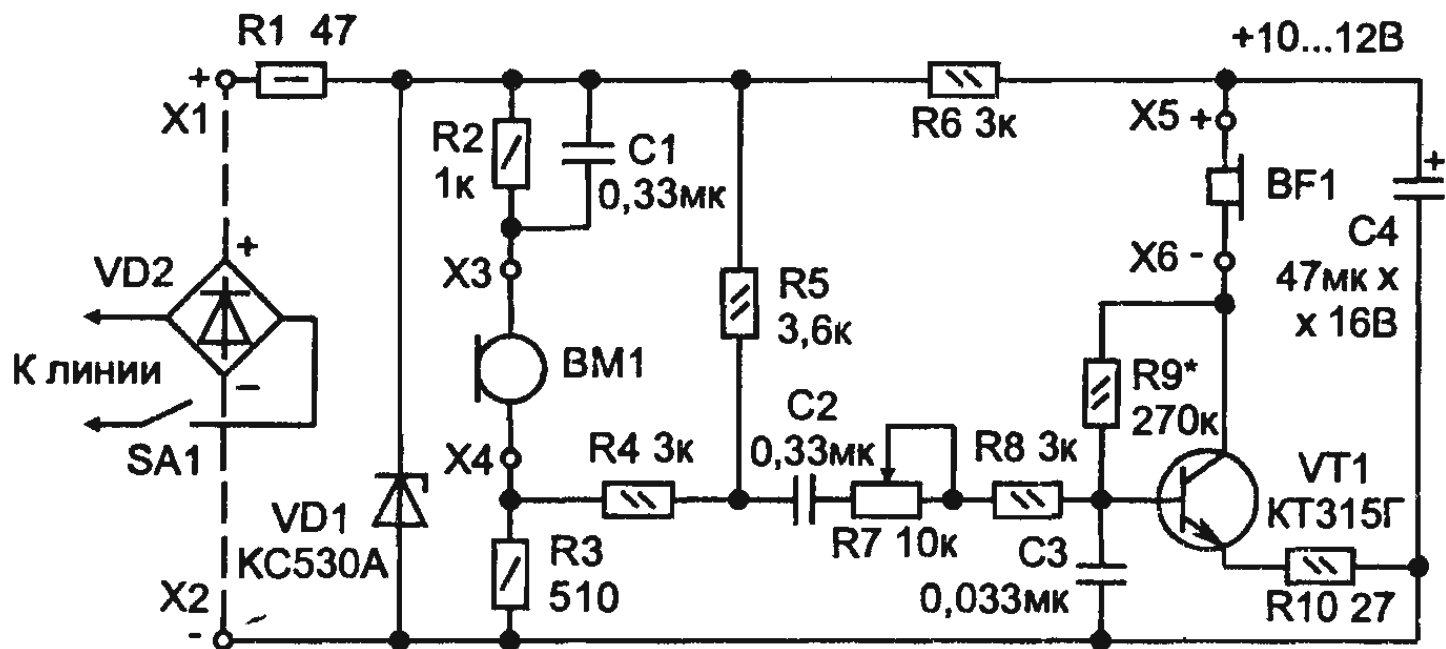


Рис. 9.9. Схема электронной телефонной трубки

Основные недостатки подобного узла — наличие сравнительно громоздкого трансформатора и невозможность регулирования громкости звука. Избавиться от них позволяют электронные разговорные узлы, схемотехнический пример одного из которых приведен на рис. 9.9. По существу, это электронная телефонная трубка со стандартными угольным микрофоном ВМ1 и телефонным электромагнитным капсюлем ВФ1 типа ТК-67 номинальным сопротивлением 56 Ом, которую можно подключать к любому телефону, в том числе и к аппарату с АОУом.

Электронная трубка способна работать и как дополнительный аппарат, включенный параллельно с основным. Установленная, скажем, на кухне, она позволит отвечать на звонки абонентов, не подходя к основному аппарату, стоящему в комнате. Правда, в этом случае в состав трубки придется ввести диодный мост VD1 и выключатель SA1 (им пользуются только во время разговора), связывающие контакты X1 и X2 трубки с дополнительной розеткой телефонной линии.

Угольный микрофон включен по стандартной схеме последовательно с ограничительными резисторами R2, R3 и шунтирующим конденсатором C1. Собственно телефонный усилитель выполнен на транзисторе, включенном по схеме с общим эмиттером и нагруженным на капсюль. Сигнал с телефонной линии подается на вход усилителя через резистор R5, конденсатор C2 и резисторы R7, R8. Уровень громкости устанавливают переменным резистором R7.

В принципе, на месте резистора R7 допустимо установить подстроечный и подобрать им оптимальную громкость звука либо вообще заменить резисторы R7, R8 одним постоянным, предварительно подобрав его сопротивление.

Питается усилитель от телефонной линии через фильтр R6C4. Конденсатор C3 защищает усилитель от высокочастотных помех и наводок, которые могут возникать в линии (в традиционных аппаратах полоса пропускания в области высших частот ограничивается трансформатором).

Подавление местного эффекта осуществляется подачей на вход усилителя сигнала с микрофонной цепи (в данном случае с резистора R3), противофазного сигналу микрофона в телефонной линии. Глубину подавления эффекта можно регулировать изменением сопротивления резистора R4.

Важнейшим параметром разговорного узла является его нагрузка на телефонную линию. Этот параметр можно выразить непосредственно в омах, однако на практике более удобно пользоваться другим критерием — напряжением телефонной линии при подключении разговорного узла. Зная параметры телефонной сети — постоянное напряжение 60 В и последовательно включенный с линией ограничительный резистор сопротивлением 15 кОм, — не сложно провести пересчет одного критерия в другой. Для стандартных отечественных телефонных аппаратов напряжение в линии при подключении разговорного узла составляет 10...12 В. Электронные разговорные узлы позволяют повысить напряжение до 25...35 В. Однако значительное уменьшение нагрузки (т. е. увеличение сопротивления разговорного узла) нецелесообразно, поскольку в этом случае не всегда обеспечивается надежный «захват» станции — появление непрерывного гудка при поднятии трубки. Поэтому оптимальной нагрузкой можно считать такую, при которой напряжение в линии сохранится в пределах 15...23 В.

Сигнал вызова в большинстве АТС подается повышенным до 120 В. Вот почему не рекомендуется поднимать трубку во время звонка, иначе возможно повреждение угольного микрофона. В данной трубке от подобного защищает цепочка из резистора R1 и стабилитрона VD1, которая ограничивает напряжение на микрофонной цепи (а также на усилительном каскаде) до напряжения пробоя стабилитрона. В остальных режимах напряжение на входе устройства не превышает напряжения пробоя стабилитрона и он не влияет на работу трубки. •

Конечно, если телефоном пользоваться аккуратно и не снимать трубку во время звонка, стабилитрон можно и не устанавливать.

Электронную трубку подключают к телефонной сети через диодный мост на базе блоков типов КЦ405, КЦ407 или выполненный из диодов серий КД102, КД105. Если трубка будет работать с

телефонным аппаратом, диодный мост монтируют в его корпусе, а при использовании трубки в качестве самостоятельного разговорного устройства диодный мост размещают внутри трубки или в телефонной вилке.

Конденсаторы С1-С3 — КМ-5, КМ-6 или аналогичные малогабаритные; С4 — К50-16 или К50-35. Переменный (либо подстроечный) резистор R7 —любой малогабаритный, например от карманного приемника, постоянные резисторы — мощностью до 0,5 Вт.

Указанные детали монтируют на печатной плате размерами 15x55 мм, которую вполне можно разместить в большинстве конструкций телефонных трубок. В варианте с переменным резистором его укрепляют под телефонным капсюлем так, чтобы ручка резистора выступала через пропил сбоку трубки.

Правильно собранное устройство практически не требует настройки. Подключив трубку через диодный мост к телефонной линии, измеряют вольтметром постоянного тока напряжение линии и напряжение на конденсаторе С4. При необходимости указанного на схеме напряжения на конденсаторе добиваются подбором резистора R9.

9.3.6. Блокиратор межгорода [27]

Данное устройство предназначено для запрещения междугородной связи с телефонного аппарата, который через него подключен к линии. Устройство собрано на ИМС серии К561 и питается от телефонной линии. Потребляемый ток — 100...150 мкА. При его подключении к линии необходимо соблюдать полярность. Устройство работает с АТС, имеющими напряжение на линии 48...60 В. Некоторая сложность схемы вызвана тем, что алгоритм работы устройства реализован аппаратно.

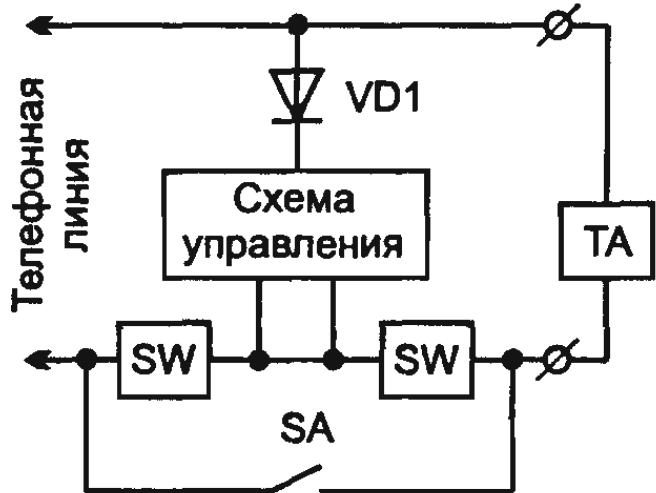


Рис. 9.10. Функциональная схема «блокиратора межгорода»

Функциональная схема устройства приведена на рис. 9.10. В исходном состоянии ключи SW открыты. ТА подключен через них к линии и может принимать вызывной сигнал и осуществлять набор номера. Если после снятия трубки первая набранная цифра окажется индексом выхода на междугородную связь, в схеме управления срабатывает ждущий мультивибратор, который закрывает ключи и

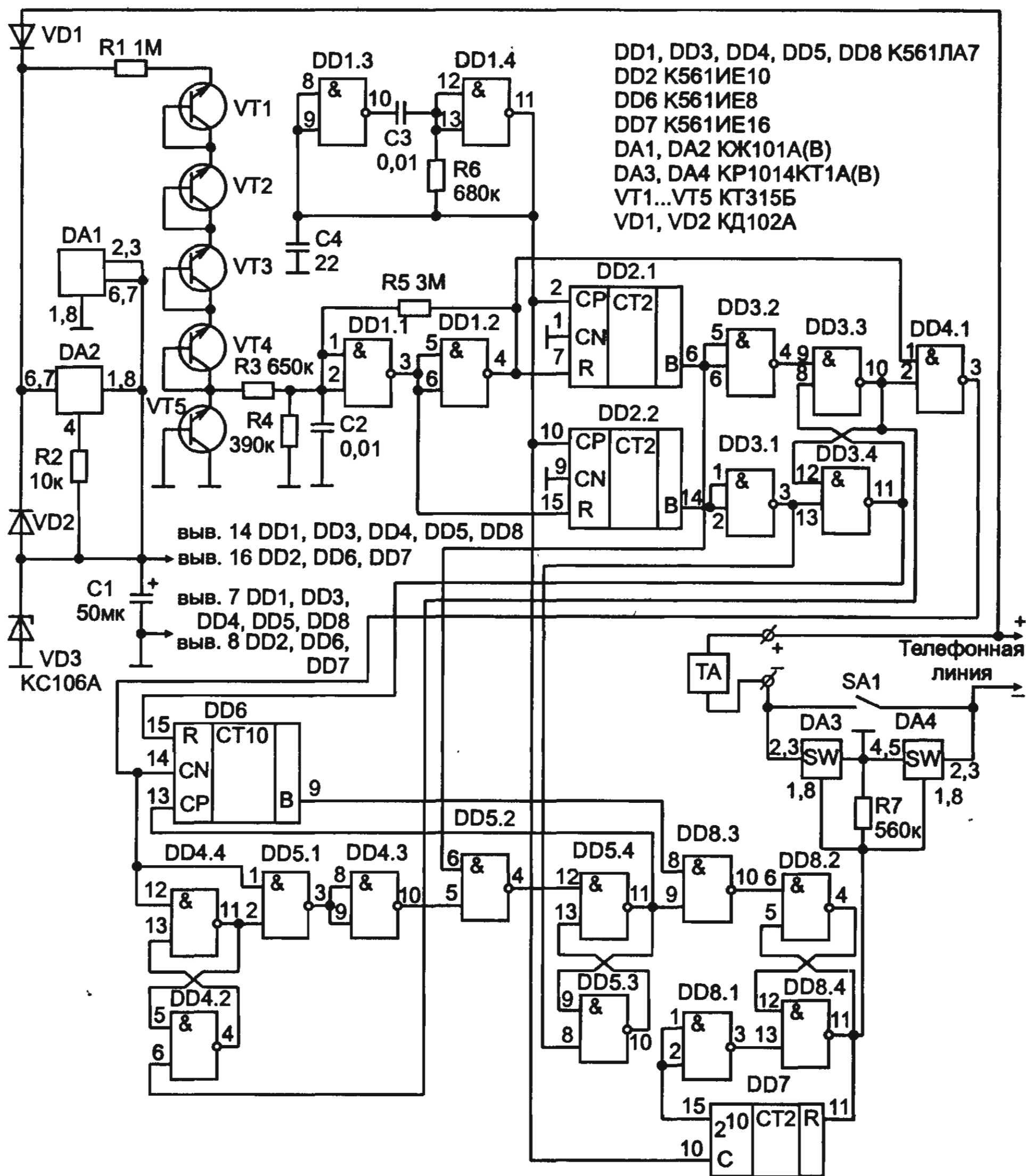


Рис. 9.11. Принципиальная схема «блокиратора межгорода»

разрывает шлейф, производя, таким образом, отбой АТС. Индекс выхода на межгород может быть любым. В данной схеме задана цифра «8». Время отключения аппарата от линии можно установить от долей секунды до 1,5 мин.

Принципиальная схема устройства приведена на рис. 9.11. На элементах DA1, DA2; VD1...VD3; R2, C1 собран источник питания

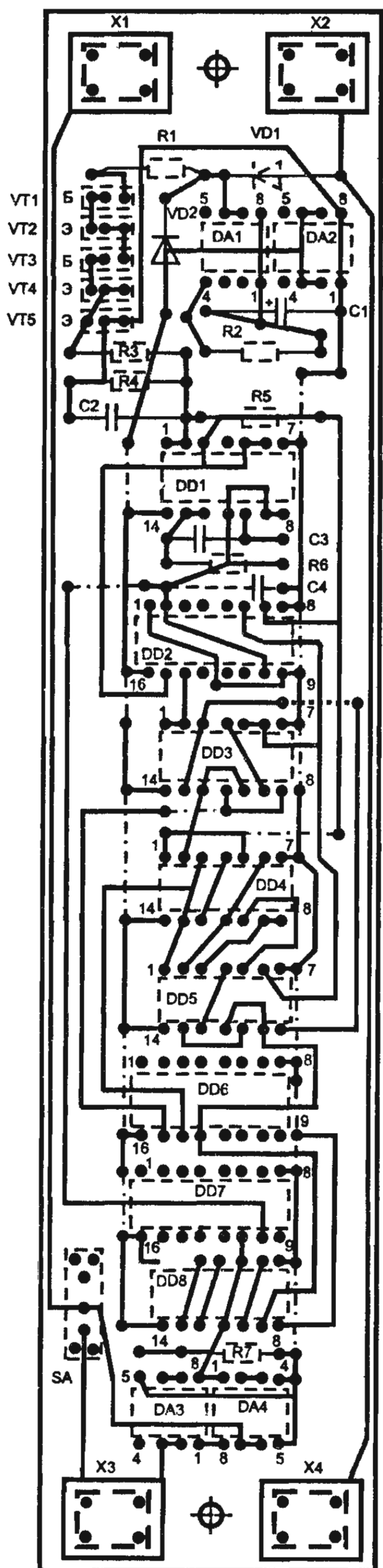


Рис. 9.12. Печатная плата «блокиратора межгорода»

микросхемы напряжением 3,2 В. Диоды VD1 и VD2 защищают устройство от неправильного подключения к линии. На транзисторах VT1...VT5, резисторах R1, R3, R4 и конденсаторе C2 собран преобразователь уровня напряжения телефонной линии в уровень, необходимый для работы МОП-микросхем. Транзисторы в данном случае включены как микромощные стабилитроны с напряжением стабилизации 78 В при токе несколько микроампер. На элементах DD1.1, DD1.2, R5, R3 собран триггер Шмитта, обеспечивающий необходимую крутизну фронтов импульсов набора. Элементы DD1.3, DD1.4, C3, C4, R6 образуют генератор тактовых импульсов с частотой около 80 Гц. На микросхемах DD2, DD3 собран «датчик» положения трубки, а на DD4.1 — селектор импульсов набора. Подсчет импульсов набора осуществляется счетчиком DD6. ИМС DD4.2...DD4.4, DD5 образуют схему, разрешающую подсчет импульсов при наборе первой цифры номера и запрещающую подсчет импульсов при наборе последующих цифр. На ИМС DD7, DD8 собран ждущий мультивибратор, управляющий ключами DA3 и DA4. Выключатель SA1 служит для выключения устройства. Конденсатор C4 нужен для улучшения начального запуска генератора.

Чертеж печатной платы блокиратора приведен на рис. 9.12. Цепи питания и некоторые соединения выполнены перемычками (показаны штрих-пунктирными линиями).

9.3.7. Приставка для записи телефонных разговоров [28]

Иногда возникает необходимость записать телефонный разговор на магнитную ленту, не отвлекаясь для включения магнитофона. Проблема будет решена, если вы соедините магнитофон с телефоном через предлагаемую приставку-автомат.

Описываемое устройство автоматически включает магнитофон для записи разговора и выключает, когда будет положена трубка. При эксплуатации приставки-автомата магнитофон должен быть постоянно включен на запись. Включение и выключение происходят путем коммутации цепи питания. Схема устройства показана на рис. 9.13.

Напряжение телефонной линии приложено к делителю на резисторах R1 и R2. Когда трубка лежит на рычаге, в линии напряжение около 60 В, на выходе элемента DD1.1 низкий уровень, конденсатор C1 разряжен, на выходе DD1.3 также низкий уровень, транзистор VT1 закрыт, реле K1 обесточено, питание магнитофона выключено. При снятии трубки напряжение в линии падает до 5...12 В, на выходе DD1.1 — высокий уровень, конденсатор C1 начинает заряжаться через резистор R3. При достижении на выводах конденсатора порогового уровня состояние элементов DD1.2 и DD1.3 изменяется на противоположное, в результате чего на выходе DD1.3 появляется высокий уровень. Транзистор VT1 открывается, реле K1 срабатывает. Через замыкающиеся контакты

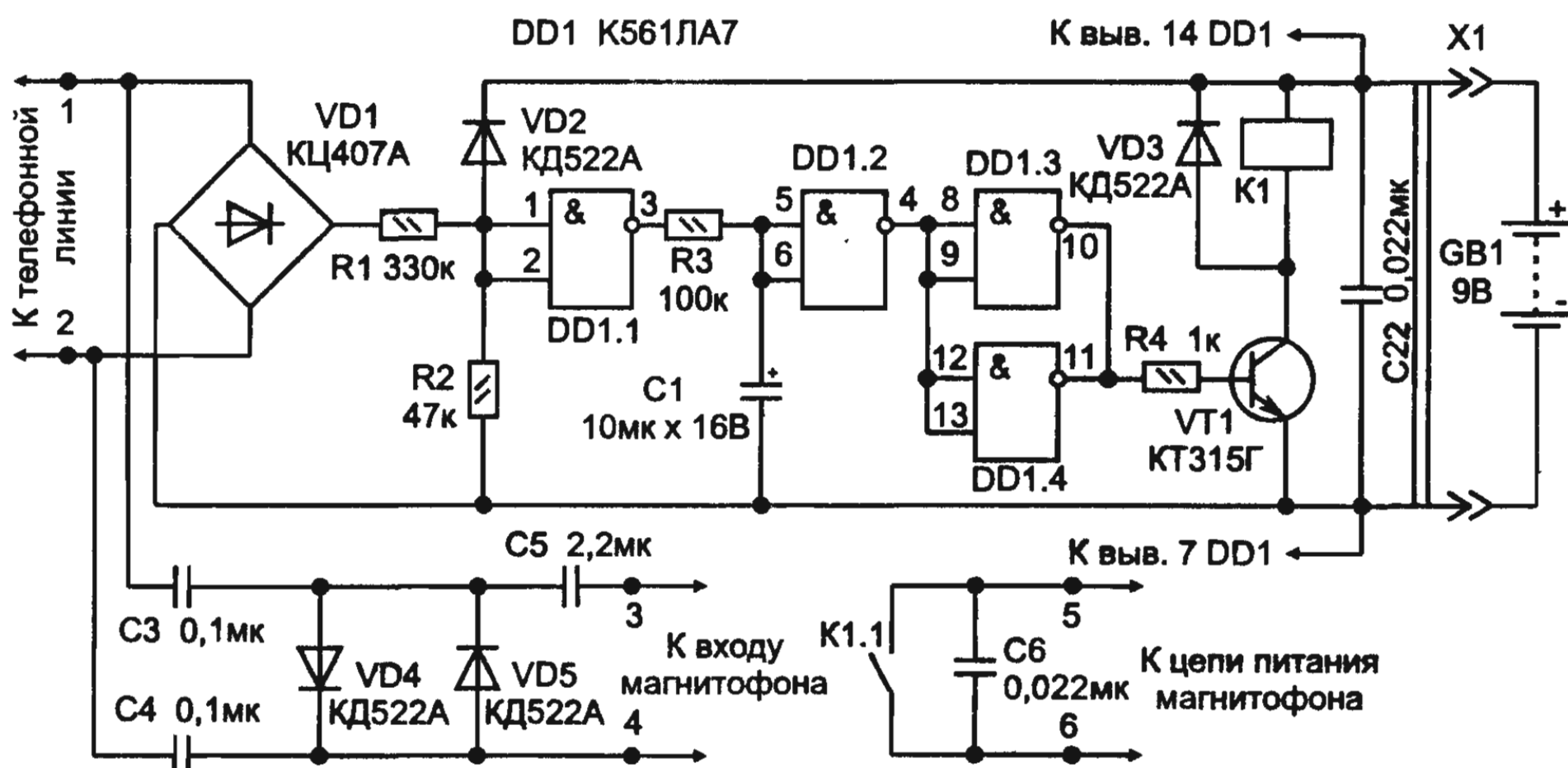


Рис. 9.13. Схема устройства для записи телефонных разговоров

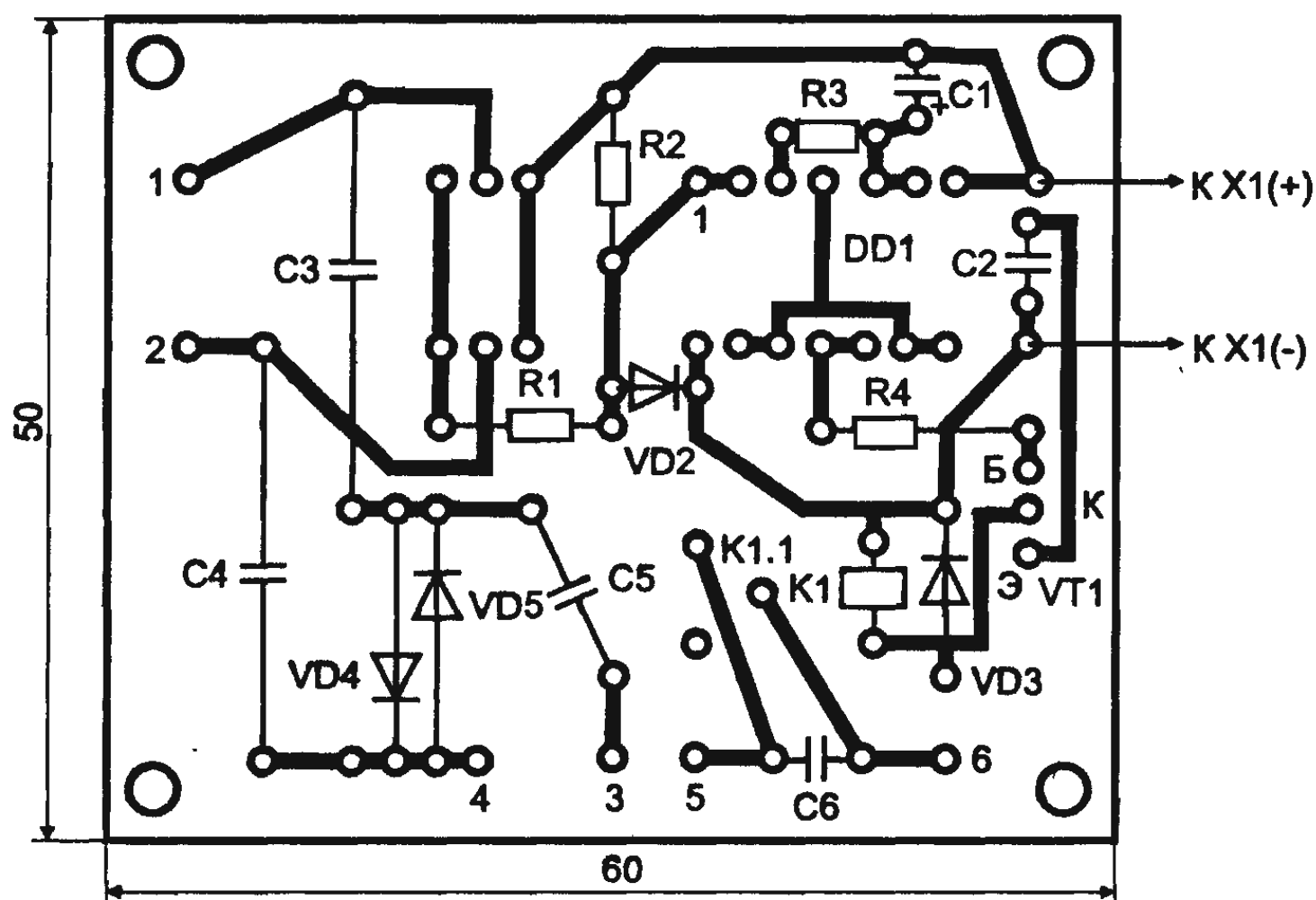


Рис. 9.14. Печатная плата устройства для записи телефонных разговоров

реле поступает питание на магнитофон. Напряжение звуковой частоты с линии подается через цепь $C3$, $C4$, $VD4$, $VD5$, $C5$ на линейный вход магнитофона.

По окончании разговора, как только телефонная трубка будет положена на рычаг, напряжение в линии возрастет до 60 В. На выходе элемента $DD1.1$ появляется низкий уровень. Конденсатор $C1$ начинает разряжаться через резистор $R3$ и элемент $DD1.1$. Как только напряжение на конденсаторе достигнет порогового уровня, элементы $DD1.2$ и $DD1.3$ изменят свое состояние. Транзистор $VT1$ закроется, контакты реле $K1$ разомкнутся и отключат питание магнитофона.

Поскольку постоянная времени цепи $R3C1$ значительно больше периода следования серии «наборных» импульсов, при снятии трубки и наборе номера магнитофон остается обесточенным. Однако, если снять трубку и не набирать номер какое-то время, конденсатор $C1$ успеет зарядиться и магнитофон включится.

Посылка сигнала вызова (80...120 В, 25 Гц) также не изменяет состояния элементов $DD1.2$ и $DD1.3$. Диод $VD2$ ограничивает напряжение на входе элемента $DD1.1$. Сопротивление конденсаторов $C3$ и $C4$ на частоте 25 Гц высоко, поэтому они не шунтируют вызывной сигнал. Диоды $VD4$ и $VD5$ ограничивают напряжение на входе магнитофона на уровне 0,6...0,7 В.

Микросхема $K561ЛА7$ заменима на $K561ЛЕ5$, а также на аналогичные серий $K176$ и 564 . Диодную сборку $KЦ407А$ ($VD1$) можно

заменить на КЦ402Б, КЦ405Б или четырьмя диодами с допустимым обратным напряжением более 200 В. Транзистор VT1 — структуры п-р-п с допустимой мощностью рассеивания коллектора не менее 150 мВт. Реле К1 — напряжение срабатывания 5...7 В, например, РЭС10 (паспорт РС4.524.302 или 031-04-02), РЭС15 (паспорт РС4.591.003).

Детали устройства смонтированы на печатной плате из фольгированного стеклотекстолита. Ее чертеж показан на рис. 9.14.

Налаживание устройства сводится к подбору резисторов R1 и R2 для обеспечения четкого срабатывания элемента DD1.1 при поднятии и опускании трубки. Но сопротивление резистора R1 не должно быть менее 330 кОм. Время задержки срабатывания реле можно в случае необходимости, изменить подбором резистора R3.

9.3.8. Защита от «телефонного пиратства» [28]

В последнее время из-за роста цен на услуги АТС участились случаи «телефонного пиратства», т. е. самовольного подключения к абонентским линиям АТС. Определить такое подключение поможет предлагаемый «сторож».

«Сторож» устанавливают на входе абонентской линии в квартиру. При разговоре с «пиратского» телефона, а также при пропадании напряжения в линии «сторож» подает звуковой сигнал. Благодаря батарейному питанию он определит даже тех хитроумных пиратов, которые подключатся к телефонной линии через блокиратор.

Схема устройства показана на рис. 9.15. При положенной трубке напряжения в телефонной линии достаточно для открыва-

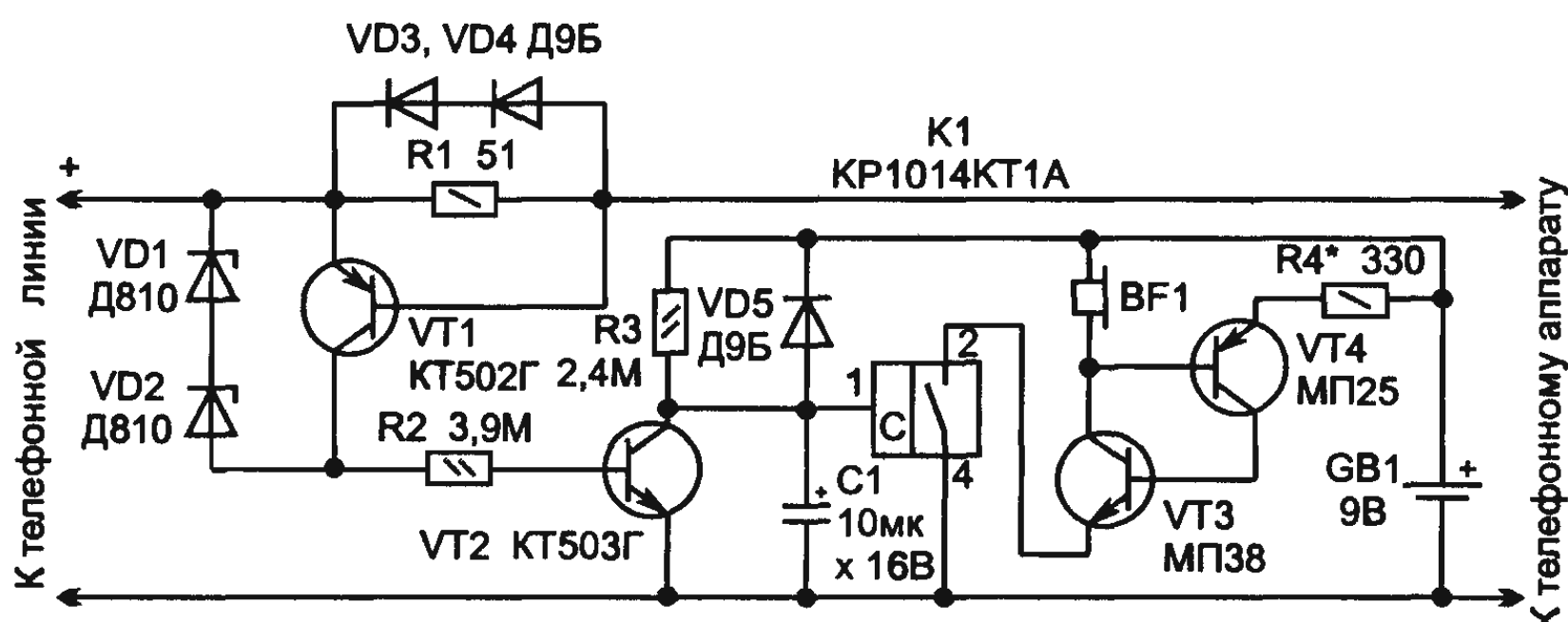


Рис. 9.15. Схема устройства защиты от «телефонного пиратства»

ния стабилитронов VD1, VD2 и на базу транзистора VT2 через резистор R2 подается напряжение. Транзистор VT2 открыт, поэтому ключ K1 закрыт. При разговоре с «пиратского» телефона напряжение в линии падает. Стабилитроны VD1 и VD2 закрываются, закрывается и транзистор VT2. На управляющий вход ключа K1 через резистор R3 поступает отпирающее напряжение, и ключ открывается. Он замыкает цепь питания звукового генератора, собранного на транзисторах VT3 и VT4. Звучит тревожный сигнал.

Если поднята трубка на «своем» телефоне (т. е. телефонном аппарате, подключаемом после «сторожа», через резистор R1 протекает ток. Транзистор VT1 открывается, ток, протекающий через его коллектор, открывает транзистор VT2. Ключ K1 закрыт, и сигнала тревоги нет.

Конденсатор C1 нужен для того, чтобы звукоизлучатель не пищивал при наборе номера. Работа генератора описана в статье Д. Приймака «Релаксационный RL-генератор» (Сб.: «В помощь радиолюбителю», вып. 106, с. 74—80). Подбором резистора R4 можно добиться максимальной громкости звука.

Ток, потребляемый устройством от источника питания в дежурном режиме, не превышает 10 мкА.

Вместо транзисторов VT1 и VT2 можно использовать КТ502Б и КТ503Б соответственно. Транзистор VT3 — любой из серий МП35, МП37, МП38, а VT4 — МП25, МП26.

Стабилитроны VD1 и VD2 — любые маломощные с напряжением стабилизации 9...10 В. Телефонный капсюль BF1 — ТА-56М

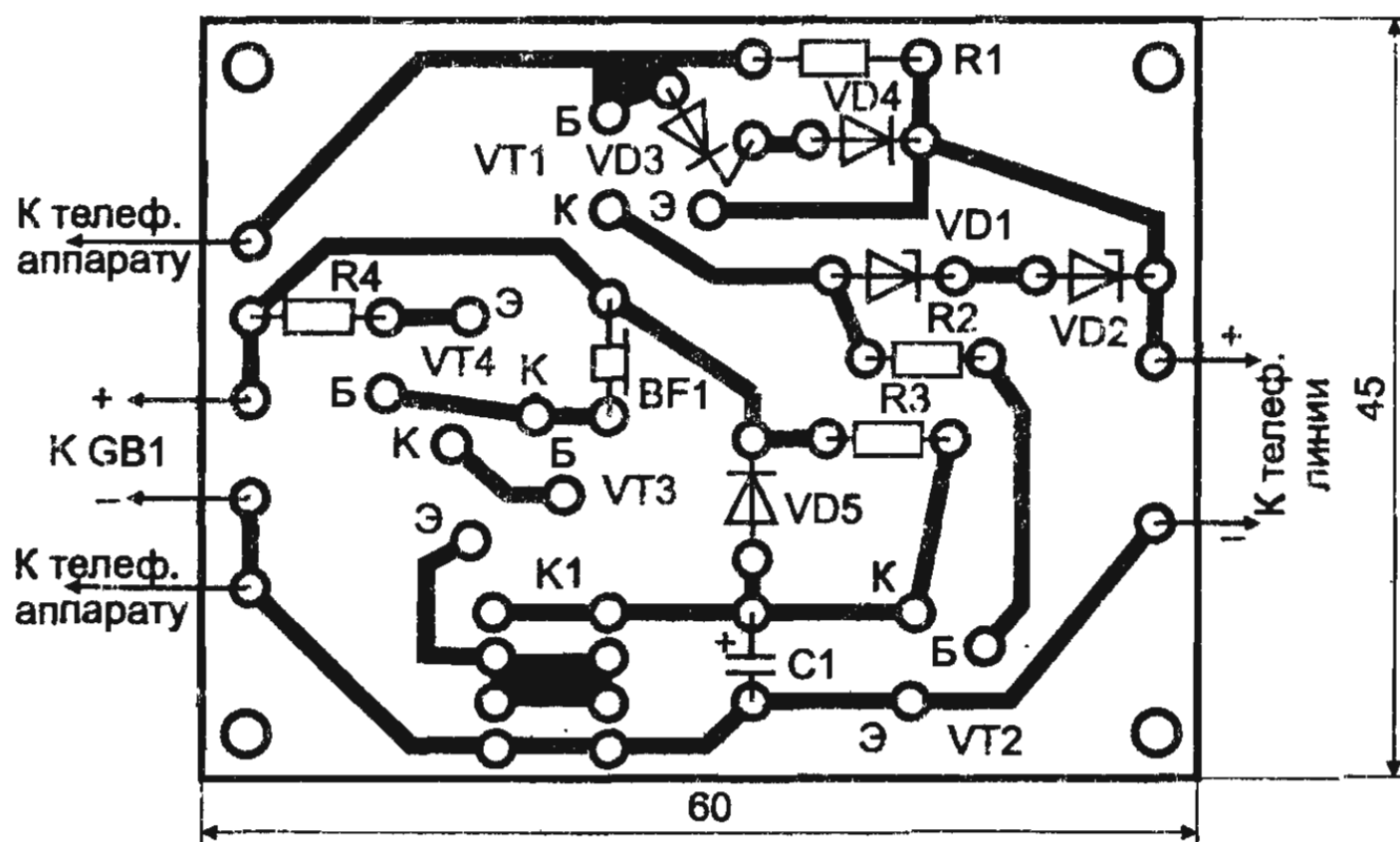


Рис. 9.16. Печатная плата устройства защиты от «телефонного пиратства»

(при использовании капсюля ТК-67 необходимо подобрать резистор R4). Источник питания GB1 — батарея «Крона» или «Корунд».

Все детали (кроме телефонного капсюля BF1 и источника питания GB1 смонтированы на односторонней печатной плате из фольгированного стеклотекстолита (рис. 9.16).

Устройство необходимо подключать к телефонной линии с соблюдением полярности. Благодаря большому входному сопротивлению (более 3,9 МОм) и малому «проходному» (менее 55 Ом) оно не оказывает влияния на работу АТС и телефонного аппарата.

Вместо микросхемы КР1014КГ1А можно попробовать установить п-р-п транзистор КТ342В, КТ3102Г, КТ3102Е или составной из двух транзисторов указанных серий.

9.3.9. Прибор оперативного контроля телефонных аппаратов

Прибор позволяет проверять телефонный аппарат на месте установки, исключая непроизводительное занятие приборов АТС.

Схема прибора показана на рис. 9.17. Прибор содержит блок питания, счетчик импульсов, генератор звуковой частоты, звуковое реле, переключатель режимов работы. Питание прибора от сети переменного тока 220 В, 50 Гц. Проверяемый телефонный аппарат подключается к входу XS1, XS2. Выбор режима проверки производится переключателями SB1...SB6.

Нажав кнопку SB1, проверяют работу номеронабирателя. Линия ТА при этом оказывается включенной между источником напряжения +20 В и обмоткой реле K1.

Контакты реле K1 управляют работой триггера на элементах DD1.1, DD1.2.

Импульсы триггера через элементы DD1.3 и DD1.4 поступают на двоично-десятичный счетчик на микросхеме DD3. Далее сигнал передается на дешифратор на микросхеме DD4, к выходу которого подключен газоразрядный цифровой индикатор HG1. После проверки каждой цифры номеронабирателя счетчик необходимо устанавливать в исходное состояние кнопкой SB7 «Сброс».

Для проверки разделительного конденсатора нажимают кнопку SB2. В цепь ТА через неоновую лампу HL3 подается напряжение

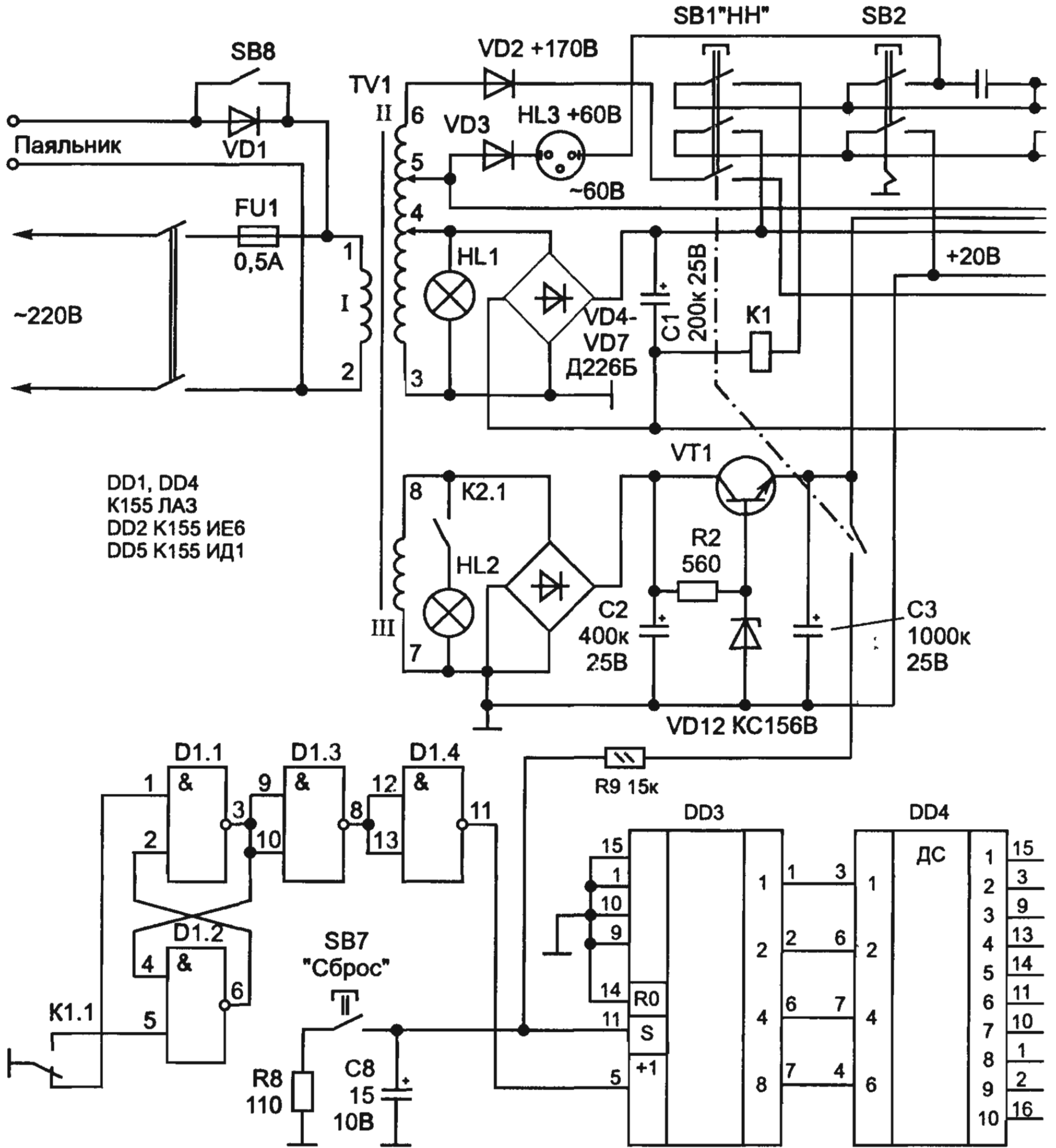
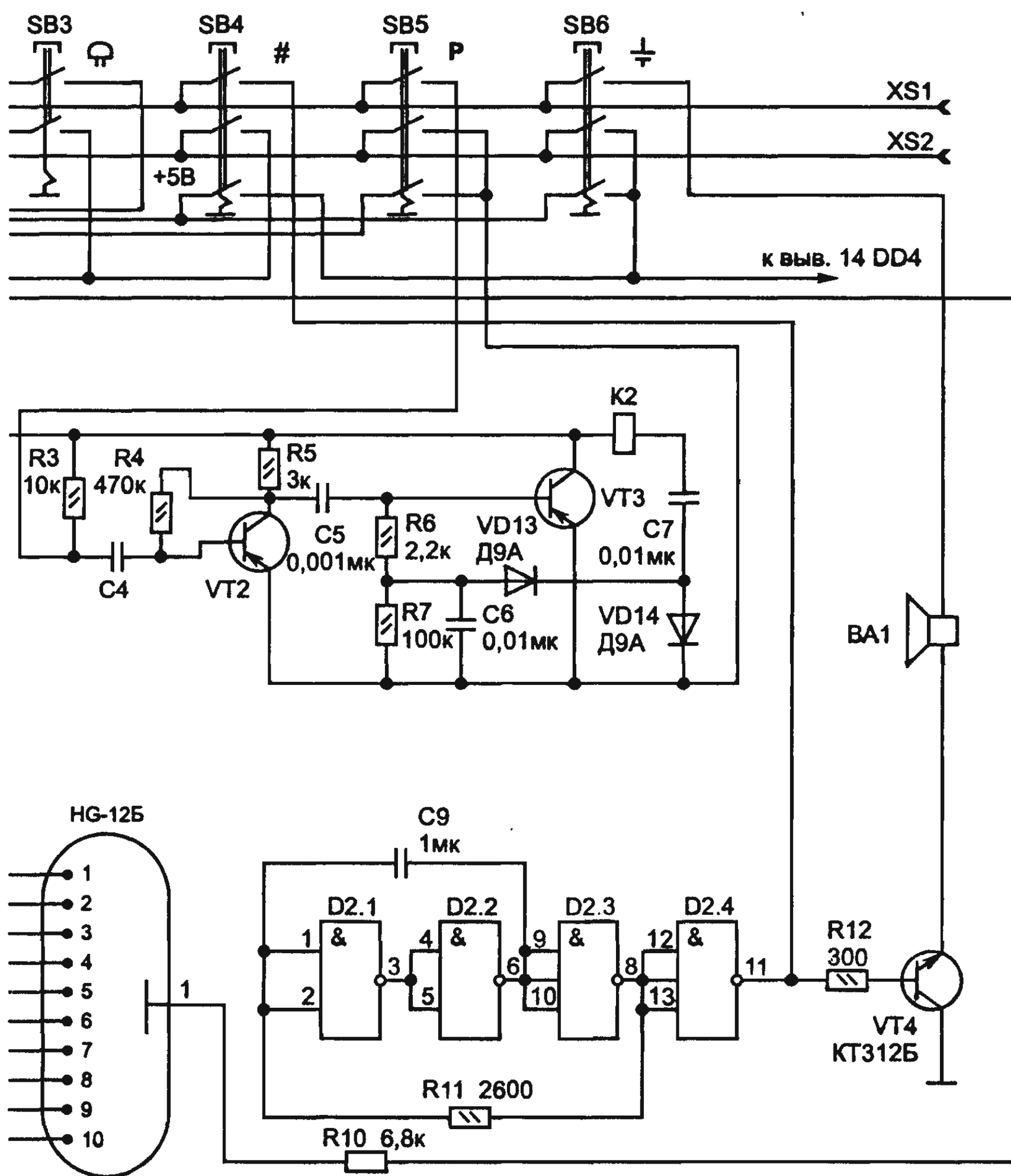


Рис. 9.17. Схема прибора оперативного

+60 В. При исправном конденсаторе лампа не светится. Переключателем SB3 на ТА подают переменное напряжение 60 В для проверки и регулировки звонка. Переключателем SB4 в цепи ТА подключают генератор, собранный на микросхеме DD1 для проверки телефонного капсюля. Микрофонный капсюль проверяется нажатием кнопки SB5, которая подключает к цепи ТА звуковое реле на транзисторах VT2 и VT3. При появлении звука перед микрофонным капсюлем срабатывает реле K2 и своими контактами включает сигнальную лампу HL2. При нажатии на кнопку SB6 прибором



контроля телефонных аппаратов

можно пользоваться как звуковым пробником для проверки исправности линии связи.

Прибор нельзя подключать к линии АТС.

Таким образом, прибор оперативного контроля телефонных аппаратов позволяет проверять работоспособность номеронабирателя, исправность разделительного конденсатора, обмоток трансформатора, звонка, микрофонного и телефонного капсюлей и других элементов телефонных аппаратов, телефонных гарнитур, головных телефонов без подключения к АТС, т. е. автономно.

9.4. ПОЛЕЗНЫЕ СОВЕТЫ

1. Как известно, напряжение питания АТС составляет 60 В постоянного тока, а между АТС и телефонным аппаратом абонента стоит ограничительный резистор R1 (рис. 9.18). Убедиться в сказанном нетрудно с помощью авометра.



Рис. 9.18. Как проверить исправность телефонной линии

Установив авометр в режим измерения постоянного напряжения, подключите щупы его к гнездам телефонной розетки — стрелка вольтметра отклонится до значения 60 В. Теперь переключите авометр в режим измерения постоянного тока и вновь подключите щупы прибора к телефонной линии. Стрелка миллиамперметра отклонится до деления примерно 40 — таков ток короткого замыкания линии (измерения проводите кратковременно).

Вновь установите на авометре режим вольтметра и подключите его параллельно проводам телефонного аппарата, соединенного с линией. Снимите телефонную трубку и дождитесь непрерывного гудка. Вольтметр должен зафиксировать постоянное напряжение 10...15 В, что укажет на удовлетворительное согласование аппарата с линией. Если напряжение меньше 8 В, в этом может скрываться причина плохой работы телефона.

2. Основные неисправности телефонной проводки и их устранение.

Таблица 9.1
Основные виды линейных повреждений в комнатной проводке и способы их устранения

Вид повреждения	Причина повреждения	Способ устранения повреждения
Обрыв	Обрыв провода 1×2	Заменить провод от телефонного аппарата до распределительной коробки

Вид повреждения	Причина повреждения	Способ устранения повреждения
	Обрыв жилы провода 1×2 в месте включения в клемму аппарата, розетки, коробки 10×2, блокиратора и т. д.	Перезаделать конец провода 1×2, используя его запас
	Неплотный контакт (зажим) в месте включения жил провода 1×2 в клеммы аппаратуры и оконечных устройств	Довернуть клеммный винт
	Перебита одна жила провода 1×2 крепежным гвоздем	Заменить проводку
Короткое замыкание	Закорачивание жил провода 1×2 крепежным гвоздем	Удалить гвоздь, заизолировать провод и укрепить
	Касание концами жил провода 1×2 соседних винтов или клемм в аппарате, розетке, коробке 10×2 и т. д.	Удалить излишек жилы или выправить включение
	Касание крепящими гвоздями жил провода и влажной стены или арматуры на различных участках линии	Удалить гвоздь, просушить, заизолировать и укрепить провод 1×2 или заменить проводку
	Неправильное сращивание провода 1×2, наличие оголенных жил в пайке	Заменить проводку
«Земля»	Касание крепежным гвоздем одной жилы провода 1×2 и влажной стены или металлической арматуры, труб и т. п., соединенных с землей	Удалить гвоздь, просушить, заизолировать и укрепить провод 1×2
	Касание оголенной жилы провода 1×2 водопроводной, канализационной, газовой и других труб или металлических конструкций	Заизолировать провод 1×2
Сообщение	Касание концом жилы провода 1×2 заземленных деталей коробки 10×2, АЗУ, блокиратора и т. д.	Удалить излишек жилы, исправить включение
	Сближение оголенных жил проводов 1×2, проложенных под общими скрепами в металлических трубах, и т. д.	Заизолировать поврежденные места или заменить провод

Вид повреждения	Причина повреждения	Способ устранения повреждения
<p>Постороннее напряжение в проводе. Прослушивается радио</p>	<p>Крепежный гвоздь касается жилы провода 1×2 и электроили радиопроводки, проложенной скрытым способом</p> <p>Оголенные жилы провода 1×2 касаются оголенных жил радиопроводки, проложенной в общих нишах, трубах и других устройствах</p> <p>Оголенные жилы провода 1×2 касаются металлического корпуса шкафа на лестничной клетке</p>	<p>Удалить гвоздь, заизолировать провод 1×2</p> <p>Заизолировать провод 1X2</p> <p>Заизолировать провод 1×2; сообщить эксплуатационной организации о наличии напряжения на корпусе металлического шкафа</p>

Глава 10

Антенные устройства

10.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Антенные устройства предназначены для приема и передачи электромагнитной энергии. Для антенн существует принцип взаимности, согласно которому одна и та же антенна при работе на передачу и прием обладает одинаковыми характеристиками и параметрами.

Антенна в значительной мере определяет качество работы приемника. От эффективности ее работы, чувствительности к промышленным помехам зависит качество воспроизводимой программы.

Электромагнитное поле, создаваемое передающей антенной, характеризуется в каждой точке пространства уровнем и поляризацией. Уровень электромагнитного поля численно оценивается напряженностью электрической составляющей поля E . Единица измерения напряженности поля — вольт/метр [В/м]. В практике радиоприема пользуются более мелкими единицами — милливольт/метр [мВ/м] и микровольт/метр [мкВ/м]. Эти единицы связаны соотношением:

$$1 \text{ В/м} = 10^3 \text{ мВ/м} = 10^6 \text{ мкВ/м}.$$

Напряженность поля часто оценивается в логарифмических единицах — децибелах (дБ) — относительно некоторого исходного уровня, в качестве которого обычно принимают 1 мкВ/м или 1 мВ/м. Напряженность поля E [дБ] рассчитывается по формуле

$$E = 20 \lg n,$$

где n — отношение напряженности поля E [мкВ/м или мВ/м] к принятому исходному уровню [1 мкВ/м или 1 мВ/м].

Например, если напряженность поля равна 2 мВ/м, то значение ее в децибелах составляет +60 дБ относительно уровня 1 мкВ/м или +6 дБ относительно уровня 1 мВ/м.

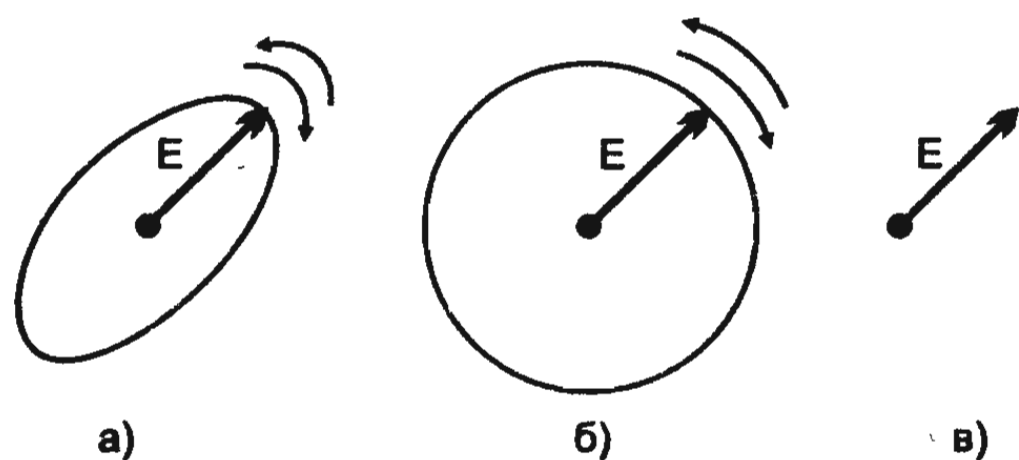


Рис. 10.1. Поляризация радиоволн а) эллиптическая; б) круговая; в) линейная

передающей антенны. Поляризация характеризуется формой кривой, которую описывает конец вектора электрического поля в плоскости, перпендикулярной направлению распространения волны. Наиболее общим случаем является эллиптическая поляризация (рис. 10.1, а). Частным случаем эллиптической поляризации являются круговая (рис. 10.1, б) и линейная (рис. 10.1, в).

Если вектор \vec{E} при линейной поляризации расположен горизонтально (параллельно земле), то поляризация называется горизонтальной, а вертикально (перпендикулярно земле) — вертикальной.

При выборе конструкции приемной антенны учитывают поляризацию проходящих радиоволн. Волны с круговой поляризацией следует принимать на антенну с круговой поляризацией либо на антенну с линейной поляризацией (хотя в этом случае будет частичное ослабление сигнала). Волны с горизонтальной поляризацией принимают на антенну с горизонтально расположенными вибраторами, а с вертикальной поляризацией — на антенну с вертикально расположенными вибраторами.

Телевизионные передачи в нашей стране ведутся в основном горизонтально-поляризованными волнами. Радиовещательные передачи на ДВ, СВ и КВ ведутся с помощью вертикально-поляризованных волн, а на УКВ с частотной модуляцией — с помощью горизонтально-поляризованных. Для любительской связи используются как горизонтально, так и вертикально-поляризованные волны.

Чтобы термин «поляризация радиоволны» стал более понятен, обратимся к аналогии в оптическом диапазоне. В фотомагазинах продаются поляризационные светофильтры, которые надеваются на объектив фотоаппарата для устранения бликов. Так как свет является неполяризованным, то светофильтр, ослабляя его примерно в два раза, пропускает на выход приблизительно линейно-поляризованную волну. Если второй такой же светофильтр надеть на объектив фотоаппарата и расположить его так, чтобы его линии поля-

Напряженность поля E — величина векторная. Она изображается графически в виде стрелки, направленной в сторону действия электрических сил.

Поляризация электромагнитного поля зависит от конструкции и расположения

ризации были параллельны таковым же в первом светофильтре, то оба светофильтра станут оптически прозрачными. При повороте одного из светофильтров на 90° система светофильтров становится непрозрачной для световых лучей. При углах, промежуточных между 0° и 90° , имеет место частичная прозрачность фильтров.

10.2. ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ АНТЕНН

Поскольку в радиолюбительской практике антенны чаще всего используются в качестве приемных, характеристики и параметры антенн будут поясняться в предположении, что они работают в режиме приема.

Направленность — зависимость э.д.с. « e » на зажимах антенны от направления прихода сигнала. Направленные свойства характеризуются диаграммой направленности (рис. 10.2). Основными параметрами диаграммы направленности являются угол раствора (ширина) главного лепестка 1 и коэффициент защитного действия. Ширина или угол раствора j основного лепестка диаграммы направленности — угол, в пределах которого э.д.с. « e » на зажимах антенны (или напряжение на нагрузке) спадает до уровня $0,707$ ($1/\sqrt{2}$) от максимального значения, а мощность в нагрузке — до уровня $0,5$ от максимального значения. Например, ширина основного лепестка диаграммы направленности, показанной на рис. 10.2, составляет 50° . Как правило, чем меньше ширина основного лепестка, тем лучше направленные свойства антенны и меньше ее восприимчивость к посторонним радиосигналам (помехам), приходящим с боковых направлений. Помехозащищенность (коэффициент защитного действия) тем выше, чем меньше уровень боковых 3 и заднего 2 лепестков.

Любая антенна является в той или иной мере направленной. Полностью ненаправленных антенн, имеющих пространственную диаграмму направленности в виде сферы, в природе не существует. Однако в антенной технике пользуются понятием о такой воображаемой антенне, называемой изотропной. Она является удобным эталоном, с которым можно сравнивать реальные антенны по их направленным свойствам.

Входное сопротивление антенны $Z_{ВХ}$ — отношение напряжения к току на зажимах антенны. В общем случае $Z_{ВХ}$ содержит активную $R_{ВХ}$ и реактивную $X_{ВХ}$ (емкостную или индуктивную) составляющие.

$$Z_{ВХ} = \sqrt{R_{ВХ}^2 + X_{ВХ}^2}.$$

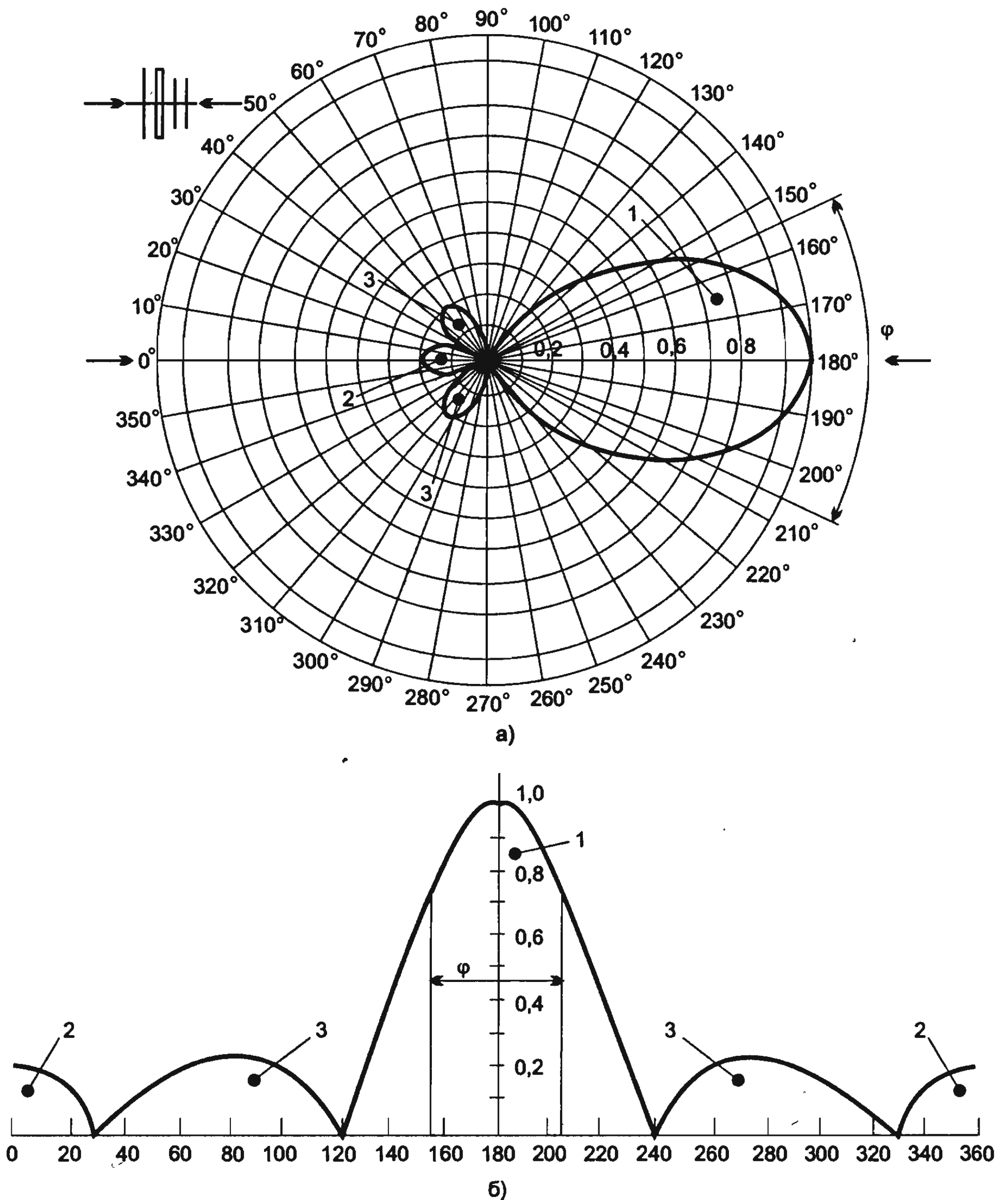


Рис. 10.2. Диаграмма направленности антенны в полярных координатах (а) и прямоугольных координатах (б)

Чем меньше $X_{ВХ}$ и чем ближе $R_{ВХ}$ к волновому сопротивлению линии, соединяющей антенну с приемником (фидерной линии), тем лучше антенна согласована с фидерной линией и тем больше

энергии радиосигнала передается из антенны в линию. Входное сопротивление является чисто активным на частоте, соответствующей резонансу антенны.

Коэффициент направленного действия антенны D характеризует выигрыш по мощности в нагрузке благодаря направленным свойствам антенны и представляет собой отношение мощности, которую выделяет антенна без потерь на согласованной нагрузке, к мощности, выделяемой на той же нагрузке, согласованной с ней воображаемой ненаправленной (изотропной) антенной при одной и той же напряженности поля в точке приема. При этом предполагается, что максимум диаграммы направленности антенны ориентирован точно на источник излучения сигнала.

Коэффициент усиления антенны по мощности K характеризует реальный выигрыш по мощности в согласованной нагрузке, даваемый антенной, по сравнению с изотропным излучателем с учетом направленных свойств антенны и потерь в ней:

$$K = D\eta_a,$$

где η_a — коэффициент полезного действия антенны.

Для антенн УКВ $\eta_a = 1$ и $K = D$, т. е. коэффициент усиления антенн этого диапазона по мощности относительно изотропного излучателя численно равен их коэффициенту направленного действия.

Действующая высота антенны h_d — параметр, позволяющий рассчитать э.д.с. « e » на зажимах простейших антенн — полуволнового вибратора, четвертьволнового штыря и т. д. в предположении, что максимум диаграммы направленности ориентирован точно на источник излучения. Измеряется в метрах и представляет собой коэффициент пропорциональности между э.д.с. « e » и напряженностью поля E : $e = E \cdot h_d$. Действующую высоту антенны не следует путать с высотой ее подвеса.

Среди электрических антенн, подключенных к радиоприемнику с высококачественным заземлением, действующая высота может достигать 80% их высоты подвеса над поверхностью земли. У комнатных и автомобильных антенн $h_d \approx 1...1,5$ м. Электрические антенны портативных приемников, работающих без заземления, имеют $h_d \leq 0,2...0,3$ м.

Рабочая полоса частот антенны ($f_{\max} - f_{\min}$) — полоса частот, в пределах которой параметры антенны не выходят за пределы допусков, определяемых ее назначением.

10.3. АНТЕННЫ ДЛЯ ПРИЕМА РАДИОВЕЩАТЕЛЬНЫХ ПЕРЕДАЧ

10.3.1. Г- и Т-образные антенны

Прием радиовещательных передач на ДВ, СВ и КВ можно вести с помощью антенны в виде вертикального или наклонного провода (рис. 10.3, а). Для увеличения действующей высоты верхний конец антенны должен обладать емкостью относительно земли, для чего к верхнему концу антенны подключают горизонтальный провод. Антенны с увеличенной действующей высотой (Г- и Т-образная) показаны на рис. 10.3,б,в. Действующая высота этих антенн составляет 0,7...0,8 их высоты подъема.

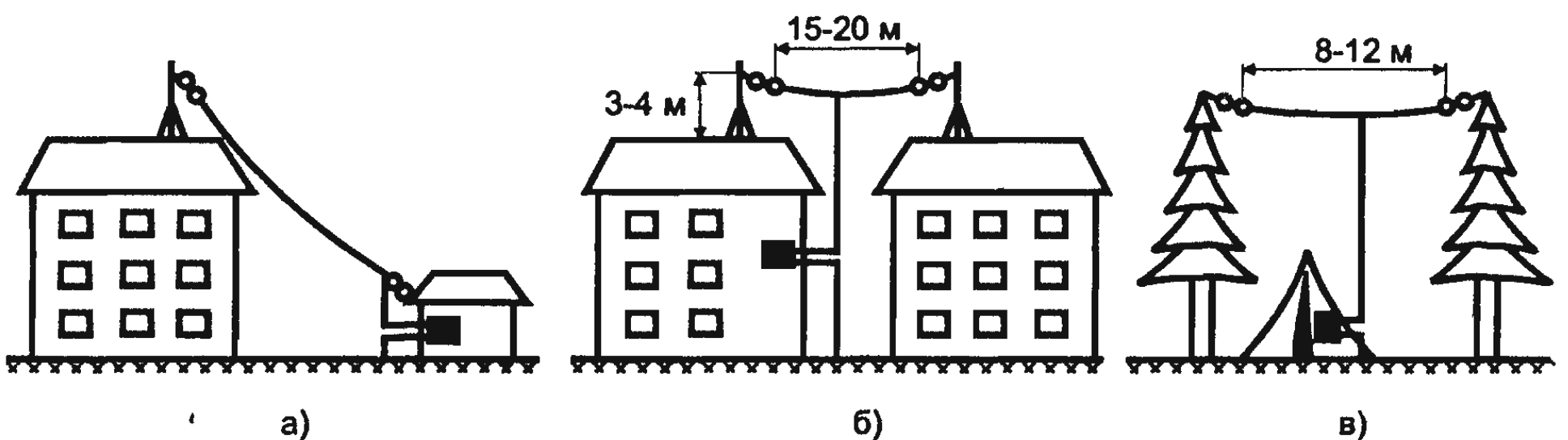


Рис. 10.3. Антенна в виде наклонного провода (а) и Г- и Т-образные антенны (б, в)

10.3.2. Антенна типа «метелочка»

Разновидностью таких антенн является вертикальный провод с «метелочкой» (рис. 10.4). Она состоит из 40...80 прутков медной проволоки без изоляции толщиной 1,5...2,0 мм и длиной по 200...300 мм. Прутки должны быть зачищены с одного конца и туго стянуты концом голого медного провода, предназначенного для снижения. Пучок прутков надо вставить в отверстие большого фарфорового изолятора или толстостенный фарфоровый или стеклянный стакан подходящего диаметра, а затем залить варом или смолой. Изолятор крепят к мачте железным хомутиком или проволокой или к раме окна, если квартира находится выше второго этажа. Верхние концы проводников раздвигают таким образом, чтобы угол между крайними из них составлял примерно 60°.

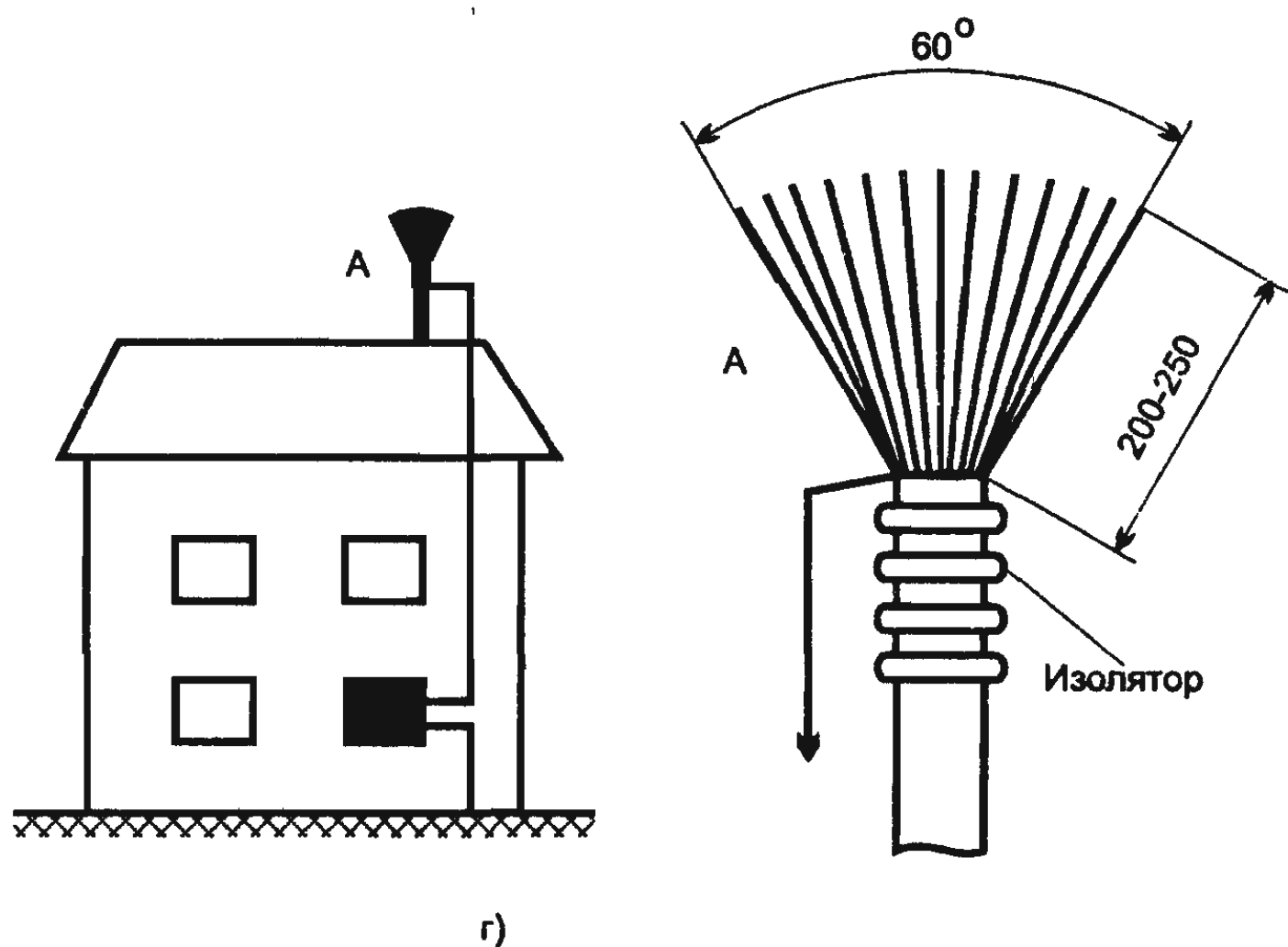


Рис. 10.4. Антенна в виде вертикального провода с «метёлочкой»

10.3.3. Спиральные комнатные антенны

Можно сделать спиральную комнатную антенну, представляющую собой изолированный или голый провод длиной 10...15 м, свитый в спираль на круглой болванке. Подвесить антенну можно на шнуре или капроновой леске между стенами комнаты. Снижение к приемнику можно сделать от любого конца или витка спирали.

10.3.4. Штыревые антенны

Представляют собой металлический штырь или телескопическое сочленение из нескольких медных или латунных тонкостенных трубок, входящих друг в друга (рис. 10.5). Число трубок зависит от заданной длины антенны и размеров приемника. В любительских условиях изготовить такую антенну весьма трудно, а небрежно выполненная антенна не даст желаемого результата.

В портативных приемниках применяется несимметричный телескопический штырь, общий для диапазонов КВ и УКВ, а в автомобильных приемниках — и для СВ и ДВ.

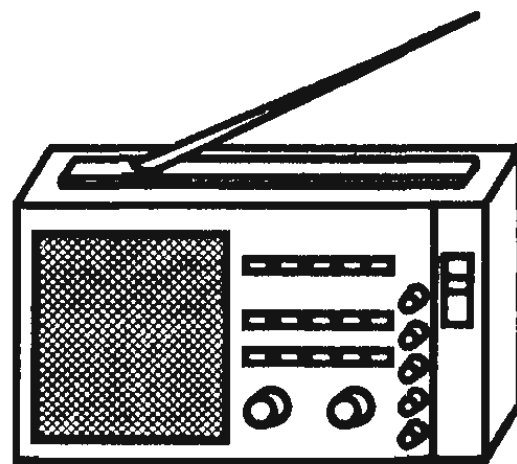


Рис. 10.5. Штыревая антенна

Действующая длина несимметричного вибратора с общей длиной, меньшей четверти длины волны ($h_d < 0,25\lambda$), определяется по формуле:

$$h_d = 0,5 \cdot \lambda \operatorname{tg}(2\pi l / \lambda) \pi,$$

где λ — длина волны;

l — длина вибратора.

Диаграмма направленности вертикально установленного вибратора в горизонтальной плоскости представляет собой окружность, а в вертикальной — «восьмерку».

Входное сопротивление штыревой антенны имеет емкостный характер. Так как емкость антенны мала, это дает возможность подключать ее к входному контуру портативного приемника непосредственно.

Недостатками приемников со штыревыми антеннами является влияние тела слушателя и окружающих предметов на настройку приемника, проникновение на вход приемника через штыревую антенну мощных телевизионных сигналов, возможность излучения антенной высших гармоник гетеродина, которые являются источником помех для других приемников, недостаточная надежность штыревой телескопической антенны из-за ее механической хрупкости и недолговечности.

10.3.5. Ферритовые антенны

Они широко применяются в переносных и высококачественных бытовых радиоприемниках ДВ и СВ-диапазонов, а также находят применение в диапазонах КВ и УКВ.

Ферритовая антенна (ФА) представляет собой стержень круглого или прямоугольного сечения из феррита, на котором расположена катушка (катушки) индуктивности входного резонансного контура приемника (рис. 10.6, а, б) и является разновидностью магнитной антенны, поэтому она не реагирует на электрическую составляющую электрического поля.

Действующая высота любой магнитной антенны определяется формулой:

$$h_d = 2\pi S W \mu_{\text{эфф}} / \lambda,$$

где S — площадь витка (рамки), м^2 ;

W — число витков;

λ — длина волны, м ;

$\mu_{\text{эфф}}$ — эффективное значение магнитной проницаемости магнитопровода, при отсутствии которого $\mu_{\text{эфф}} = 1$.

Диаграмма направленности ФА имеет форму «восьмерки» с тупым максимумом в плоскости, перпендикулярной к оси стержня, и острым минимумом по оси стержня, поэтому в стационарных приемниках предусматривается устройство, позволяющее вращать ее в горизонтальной плоскости. В малогабаритных приемниках ФА жестко закрепляют и для получения наилучшего приема приходится поворачивать весь приемник. По своей эффективности ФА на ДВ и СВ-диапазонах сравнима с эффективностью штыревой антенны длиной 1...2 м. Для повышения эффективности ФА связывают в пучок несколько ферритовых стержней.

Для увеличения действующей длины применяют сердечники с возможно большим отношением длины к диаметру. Для диапазона ДВ используются никелево-кадмиевые ферриты с начальной магнитной проницаемостью 600...1000, для диапазона СВ — 400...600, для диапазона КВ — 100...200, а для УКВ — 15...30. Для катушек применяют как можно более тонкие каркасы. Для диапазонов ДВ и СВ их можно изготавливать из пресс-шпана, из слоев бумаги, проклеенных бакелитовым, шеллачным лаком или клеем БФ, а для диапазонов КВ и УКВ — из полистирольной или фторпластовой пленки.

Катушки для диапазонов УКВ и КВ делают из круглого одножильного или ленточного провода, катушки для СВ наматывают, как правило, многожильным проводом (литцендратом). Такие катушки обладают существенно большей добротностью по сравнению с катушками, намотанными медным проводом ПЭЛ, ПЭВ и т. п.

Катушки индуктивности диапазона ДВ обладают достаточной добротностью при намотке их проводом марки ПЭВ или ПЭЛ; эти катушки чаще всего 3—5 секционные, намотаны внавал между щечками каркасов, иногда применяют и однослойную намотку.

Основные конструктивные и электрические параметры ФА для различных диапазонов волн приведены в таблице 10.1.

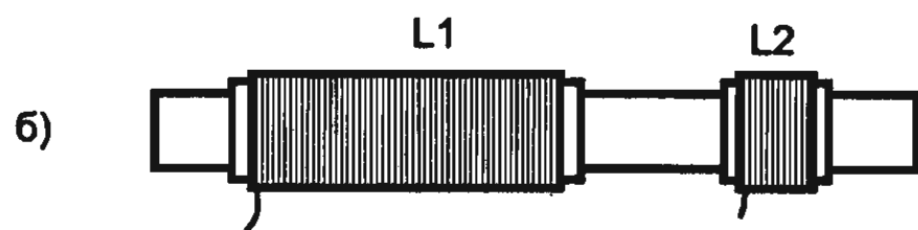
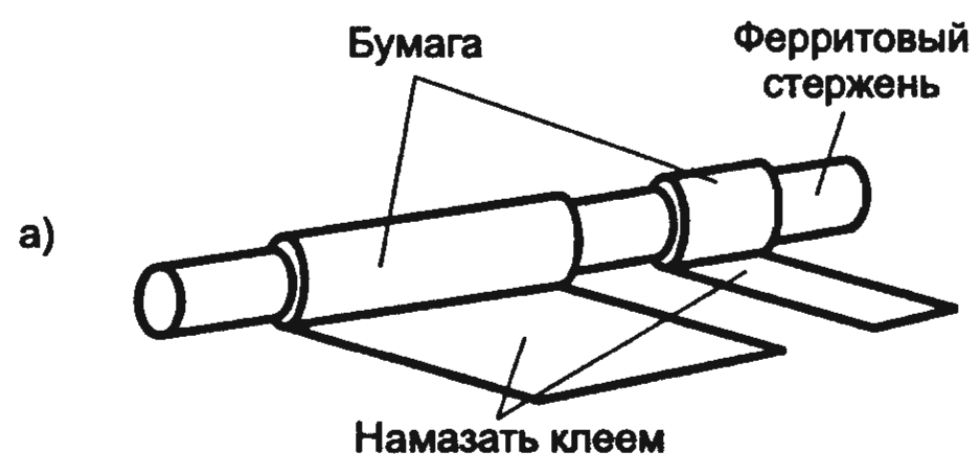


Рис. 10.6. Ферритовые антенны (ФА)

Таблица 10.1

Ферритовые антенны на цилиндрических сердечниках для транзисторных радиовещательных приемников

Сердечник		Емкость конденсатора настройки, пФ	Диапазоны волн	Контурная катушка			Катушка связи		К какому приемнику
Диаметр и длина, мм	Марка материала			Количество витков	Марка провода	Индуктивность, мкГ	Количество витков	Марка провода	
8×100	400НН	7—260	СВ ДВ1	90 240	ЛЭВ 5×0,06 ПЭВТЛ-1 0,1	500 4000	4	ПЭВТЛ-1 0,1 —	«Этюд»
8×125	150ВЧ	7—260	КВ2 СВ	11 85	ПЭВ-2 0,64 ПЭВ-2 0,18	6,3 340	1 8	ПЭЛШО 0,18 ПЭВ-2 0,18	«Орбита» «Рига-301»
8×140	600НН	7—260	СВ ДВ	60+33 7×36	ПЭВ-2 0,18 ПЭВ-2 0,18	— —	7 21	ПЭВ 0,18 ПЭВ 0,18	«Рига-301»
8×160	150ВЧ	5—240	КВ-ІІІ КВ-ІІІ	4 10	ПЭВТЛ 0,41 ПЭВТЛ 0,41	5,2	2,5 4	ПЭВТЛ 0,15 ПЭВТЛ 0,15	«Спорт-2»
8×160	400НН	5—240	СВ ДВ1	80 235	ЛЭШО 10×0,07 ПЭЛШО 0,12	365 3500	6 15	ПЭЛШО 0,12 ПЭЛШО 0,12	«Гиала»

Продолжение табл. 10.1

Сердечник		Емкость конденсатора настройки, пФ	Диапазоны волн	Контурная катушка			Катушка связи		К какому приемнику
Диаметр и длина, мм	Марка материала			Количество витков	Марка провода	Индуктивность, мкГ	Количество витков	Марка провода	
8×160	600НН	9—260	СВ4 ДВ	80 7×34	ПЭЛ 0,18 ПЭВ-2 0,15	340 3430	6 24	ПЭЛ 0,18 ПЭВ-2 0,15	«Банга»
8×160	600НН	10—430	СВ ДВ	55 180	5×ПЭВ-1 0,06 ПЭВ-2 0,12	216 2170	— —	— —	«Рига-101», «Рига-102»
8×160	600НН	9—260	СВ ДВ	80 275	ПЭЛО 0,23 ПЭВ-1 0,1	460 4950	8 20	ПЭЛО 0,23 ПЭВ-1 0,1	«Сокол-4»
8×160	600НН	4—240	СВ ДВ	74 4×66	ПЭВТЛ 0,12 ПЭВТЛ 0,12	420 4900	6 22,5	ПЭВТЛ 0,12 ПЭВТЛ 0,12	«Спорт-2»
8×160	600НН	7—240	СВ ДВ	83 4×68	ЛЭШО 15×0,05 ПЭЛШО 0,12	400 4600	5 20	ПЭЛШО 0,12 ПЭЛШО 0,12	«Сувенир»
8×160	600НН	10—365	СВ ДВ	67 190	ЛЭШО 10×0,07 ПЭВ-1 0,11	295 2460	5 16	ПЭЛШО 0,18 ПЭЛШО 0,18	«Спидола-10»

Продолжение табл. 10.1

Сердечник		Емкость конденсатора настройки, пФ	Диапазоны волн	Контурная катушка			Катушка связи		К какому приемнику
Диаметр и длина, мм	Марка материала			Количество витков	Марка провода	Индуктивность, мкГ	Количество витков	Марка провода	
8×160	600НН	10—365	СВ	53	ЛЭШО 10×0,07	250	5	ПЭЛШО 0,18 ПЭЛШО 0,18	ВЭФ-12
			ДВ	186	ПЭВ-1 0,12	3000	9		
10×200	400НН	10—430	СВ	47	ЛЭШО 10×0,07	210	5	ПЭЛШО 0,18 ПЭЛШО 0,18	«Океан»
			ДВ	160	ПЭВ-2 0,18	560	12		
10×200	400НН	10—430	СВ	47	ЛЭШО 10×0,07	230	—	— —	«Рига-103»
			ДВ	138	ПЭВ-1 0,12	1950	—		

¹ При приеме в диапазоне СВ контурная катушка диапазона ДВ замыкается накоротко.

² Контурная катушка диапазона КВ намотана с шагом 2 мм.

³ Диапазон КВ-I — 25—31 м, диапазон КВ-II — 41—75 м.

⁴ Контурная катушка диапазона СВ намотана с шагом 0,5 мм.

Перемещение контурной катушки вдоль сердечника изменяет ее индуктивность на 15...20% (по мере приближения катушки к концу сердечника индуктивность уменьшается). Это явление можно использовать при подгонке границ диапазона настройки входного контура. Однако вследствие неравномерности распределения магнитного поля по длине сердечника смещение катушки от его середины ведет к уменьшению наводимой в ней э.д.с.

Двухдиапазонную ФА выполняют на двух или одном стержне. Во втором случае катушки разных диапазонов располагают ближе к концам стержня. Добротность одностержневой антенны меньше, чем двухстержневой вследствие поглощения энергии катушкой другого диапазона. В двухдиапазонной антенне, выполненной на одном стержне, при приеме в диапазоне ДВ в резонансный контур включены последовательно две катушки индуктивности, а при переходе в диапазон СВ катушка ДВ-диапазона замыкается контактами переключателя диапазонов накоротко (рис. 10.7).

Связь ФА с первым каскадом приемника (с каскадом УВЧ или с преобразователем частоты супергетеродинного приемника), как правило, индуктивная. На КВ и УКВ-диапазонах применяют также автотрансформаторную связь. Катушки связи обычно имеют в 10...25 раз меньшее количество витков по сравнению с контурными катушками. Располагают катушки связи в непосредственной близости к контурным катушкам либо наматывают поверх последних.

ФА должна быть удалена от металлического шасси не менее чем на 25...30 мм и расположена на возможно больших расстояниях от выходного трансформатора, динамической головки, от сетевого трансформатора.

Основными недостатками ФА являются наличие небольшого внешнего поля, способного создавать нежелательные паразитные связи с другими катушками приемника, и большая хрупкость их сердечников.

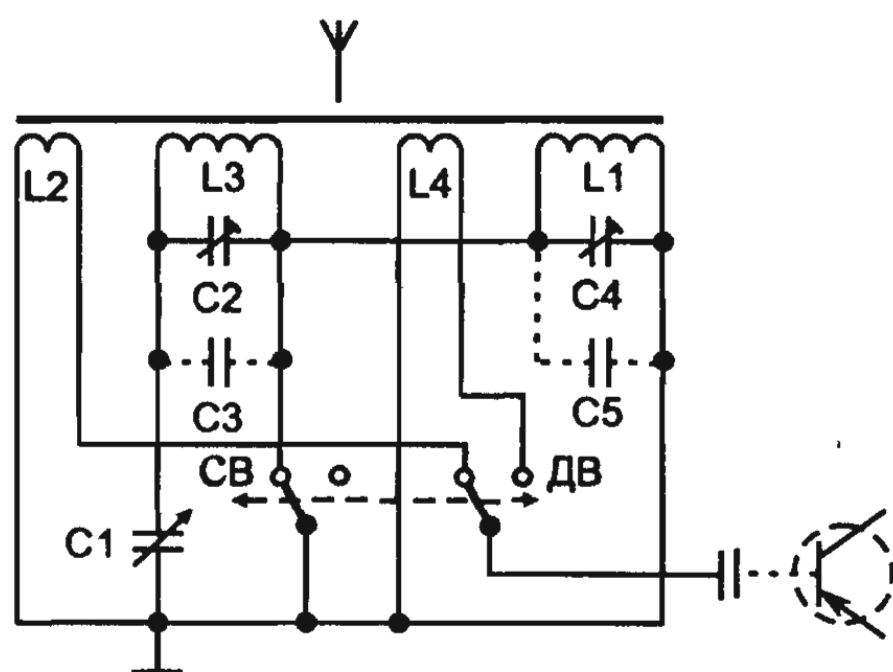


Рис. 10.7. Двухдиапазонная ФА

10.3.6. Рамочные антенны

Рамочные антенны (РА) являются магнитными антеннами и представляют собой катушку индуктивности, выполненную в виде рамки или кольца (рис. 10.8). Преимущества РА по сравнению с ФА следующие: большая действующая высота в диапазоне КВ, меньшая зависимость индуктивности от температуры, более высокая механическая прочность, меньшая подверженность магнитным наводкам. Добротность РА с повышением частоты растет (ФА падает), что позволяет достичь меньшего изменения полосы пропускания входной цепи в диапазоне рабочих частот.

РА применяют в диапазоне КВ в стационарных бытовых приемниках и приемниках «охоты на лис». В стационарных приемниках РА размещают чаще всего на задней стенке. Более высокая эффективность РА достигается при откидной конструкции рамки, позволяющей в рабочем положении развернуть ее над корпусом приемника и поворачивать с целью выбора наиболее выгодного положения диаграммы направленности. Диаграмма направленности РА имеет такой же вид, как и у ФА. Направление максимума диаграммы направленности совпадает с плоскостью рамки. Число витков для диапазона КВ может быть 1...4 в зависимости от ее размеров и диапазона рабочих частот.

Для приемника с растянутыми диапазонами КВ больше всего подходит одновитковая рамка. Настраивают контур РА при помо-

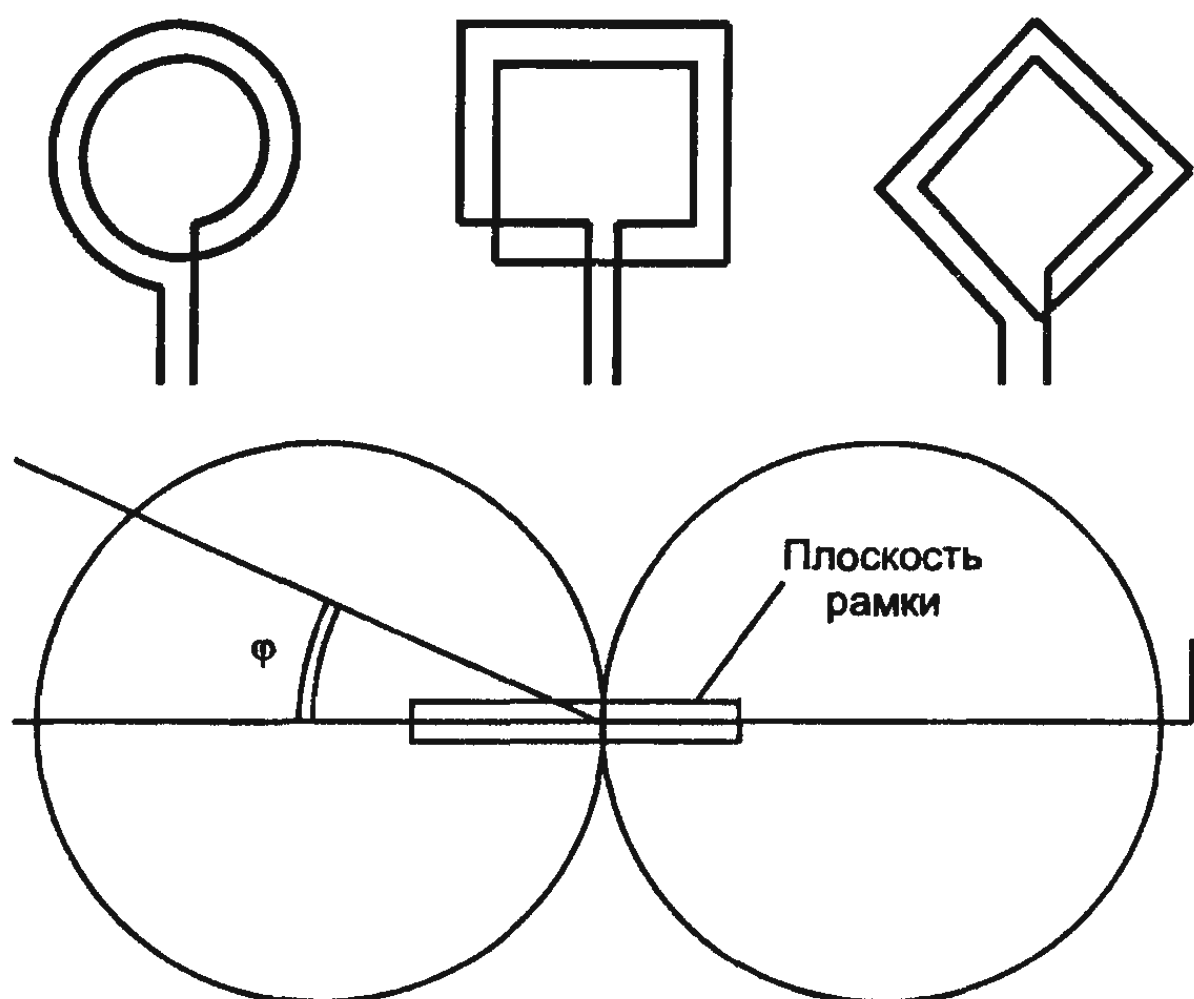


Рис. 10.8. Рамочные антенны

щи подстроечных катушек, включаемых последовательно или параллельно рамке. Действующая высота РА определяется по формуле:

$$h_d = 2\pi wS / \lambda,$$

где h_d — в метрах;

w — число витков;

S — площадь сечения, м²;

λ — длина волны, м (здесь $\mu_{эфф} = 1$).

Но РА может быть эффективно использована и на СВ.

10.4. АНТЕННЫ ВНЕШНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ И С ПЕРЕИЗЛУЧЕНИЕМ СИГНАЛА

Существенно улучшить качество работы приемника можно применением внешней дополнительной антенны, которую подключают к ФА через разделительный подстроечный конденсатор емкостью 20...30 пФ. В диапазоне КВ эта емкость должна быть уменьшена до единиц пФ. Недостаток такого способа подключения — необходимость перестройки этой емкости при изменении частоты настройки приемника.

Хорошие результаты получаются при подключении внешней антенны через дополнительную катушку связи, размещенную на одном сердечнике с контурными катушками. Обычно катушка содержит 10...15 витков провода ПЭЛ или ПЭЛШО диаметром 0,15...0,27 мм для диапазонов ДВ и СВ и 1...2 витка для диапазона КВ.

Заменителем внешней антенны могут послужить куски гибкого изолированного провода длиной до 3...5 м, трубопроводы водоснабжения и теплосети, электрическая и телевизионная проводки. При этом достаточно поднести к указанным предметам сам приемник таким образом, чтобы его штыревая антенна была параллельна оси их ориентации, либо ФА — перпендикулярна этому направлению. Оптимальное расстояние между внешней антенной и приемником подбирается экспериментально. Однако эти заменители антенн имеют существенный недостаток — они переизлучают не только полезные сигналы, но и промышленные помехи, а также не всегда удается разместить приемники достаточно близко к проводам осветительной сети. Поэтому для высококачественно-

го приема необходима специальная дополнительная антенна. В качестве такой антенны может служить любая наружная антенна, снижение которой заземлено вблизи стены здания, где осуществляется прием.

Наружные антенны обладают свойством эффективно переизлучать принимаемые сигналы. Если рядом с ней либо ее снижением разместить штыревую антенну приемника, то за счет переизлучения уровень принимаемого сигнала можно увеличить в несколько раз. Антенну приемника при этом необходимо располагать параллельно снижению на расстоянии 30...50 см от него.

Для приемников с магнитной антенной переизлучающую антенну делают из проволочной квадратной рамки с диагоналями примерно 1×1 м, а рамку — из медного монтажного многожильного либо пруткового провода диаметром 2,5...3 мм. В одном из мест перегиба провод рамки разрезается и один из образовавшихся концов подключают к отвесу антенны, а другой — к ее заземлению. Проволочную рамку закрепляют на изоляторах, прибитых к стене дома либо к оконной раме. Рамку удобно ориентировать так, чтобы одна из воображаемых диагоналей была перпендикулярна плоскости земли. Разрез провода рамки выполняется со стороны диагонали, параллельной плоскости земли. Магнитную антенну приемника располагают в 50...80 см от плоскости рамки против ее центра. При этом ось магнитной антенны должна быть перпендикулярна плоскости рамки.

Напомним, что РА имеет максимум диаграммы направленности в плоскости рамки и острый минимум по оси, перпендикулярной плоскости рамки.

10.5. КОМНАТНЫЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ АНТЕННЫ

В домах, не оборудованных коллективными телевизионными антеннами, нередко пользуются комнатными, при этом чаще всего изображение получается нечетким, с повторами. Но это может и не случиться, если владелец телевизора будет хорошо знать возможности комнатной телевизионной антенны, а также те условия, в которых она может дать желаемый эффект.

Комнатная антенна — это, как правило, симметричный одиночный вибратор с незначительным коэффициентом усиления и практически полным отсутствием помехозащищенности. Длина плеч вибратора не может быть меньше определенной величины.

Дело в том, что если длина каждого из плеч симметричного линейного горизонтального вибратора равна четверти длины принимаемой волны, то его входное сопротивление чисто активное и равно 73 Ом. Эта величина хорошо согласуется с 75-омным сопротивлением коаксиального входа всех современных отечественных телевизоров.

Длина плеча вибратора, близкая к четверти длины волны, имеет приемлемые размеры только на высокочастотных каналах метрового диапазона. Это приводит к некоторому ухудшению согласования антенны с входом телевизора на низкочастотном краю полосы первого канала, вызванному уменьшением активной составляющей и появлением реактивной (емкостной) составляющей входного сопротивления антенны. Если укорочение не превышает 20%, то с ним мирятся и не предпринимают никаких специальных мер.

Недостаточное качество согласования фидера с антенной и приемником приводит к специфическим для телевизионного приема искажениям — появлению на экране повторных изображений, сдвинутых вправо относительно основного. Причина возникновения повторных изображений иллюстрируется на рис. 10.9. Сигнал, принятый антенной 1, попадает по фидеру 2 на вход приемника 3. Частично отразившись от входа приемника, сигнал распространяется по фидеру в обратном направлении (в сторону антенны) и после частичного отражения от входа антенны снова попадает на вход приемника. Таким образом, повторный сигнал запаздывает по отношению к основному на время, равное удвоенному времени пробега сигнала по фидеру.

Для того чтобы на всех каналах метрового диапазона волн можно было вести удовлетворительный прием на одну и ту же антенну, необходим вибратор такой конструкции, которая позволяла бы легко и плавно изменять длину его плеч. Наибольшее распространение получили линейные вибраторы телескопической конструкции, при которой его плечи образуются из нескольких металлических трубок, входящих друг в друга (рис. 10.10).

В качестве комнатной телевизионной антенны можно использовать петлевой вибратор. Его входное сопротивление равно 300 Ом, поэтому для согласования с входным сопротивлением телевизора необходим трансформатор. Длину плеч петлевого

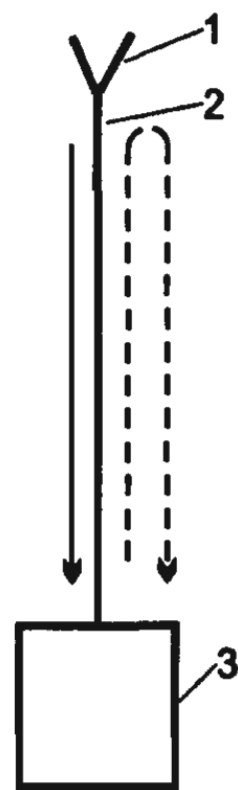


Рис. 10.9. Причины возникновения повторных изображений на экране телевизора

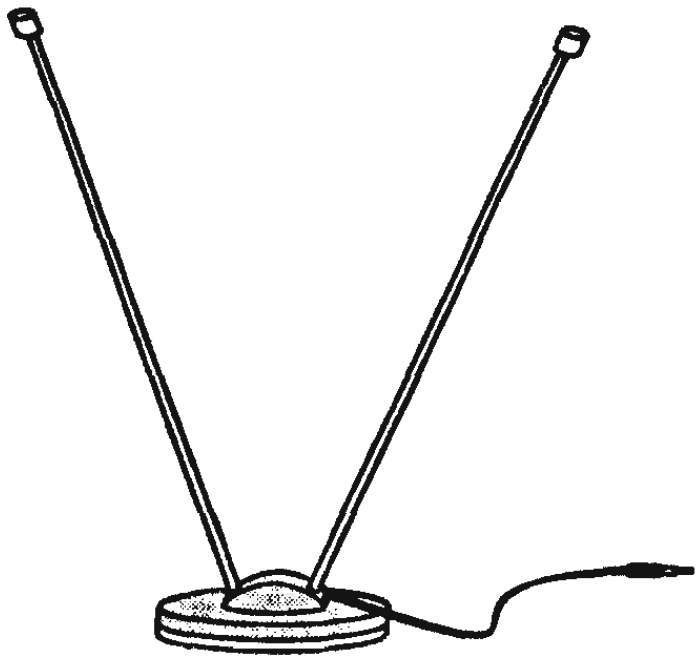


Рис. 10.10. Комнатная телескопическая антенна

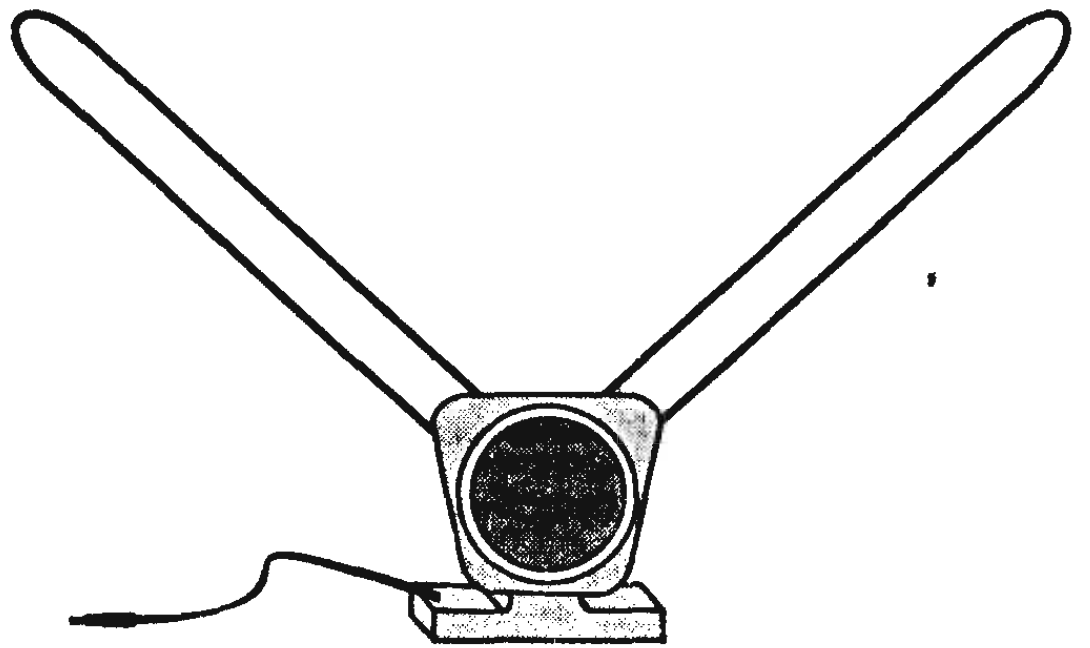


Рис. 10.11. Комнатная ленточная антенна

вибратора тоже можно изменять плавно, если выполнить их из стальной ленты. Антенна такого типа получила название ленточной антенны (рис. 10.11).

Из-за ограниченного свободного пространства в комнате плечи вибратора располагают под некоторым углом друг к другу. В ленточной антенне положение плеч вибратора относительно основания антенны из конструктивных соображений обычно делается фиксированным, при этом плечи располагают под углом 120° .

В некоторых антеннах длина плеч вибратора не регулируется. Здесь плечи вибратора имеют длину, близкую к четверти длины волны 5-го канала. Вибраторы таких антенн (рис. 10.12) выполнены из нескольких проводников (стержней или трубок), включенных параллельно с целью снижения волнового сопротивления вибратора и расширения полосы пропускания. Крепление плеч вибраторов к основанию осуществляется с помощью гибких металлических шлангов. Применение удлинительных катушек с переключателем каналов позволяет сделать такую антенну работоспособной на всех

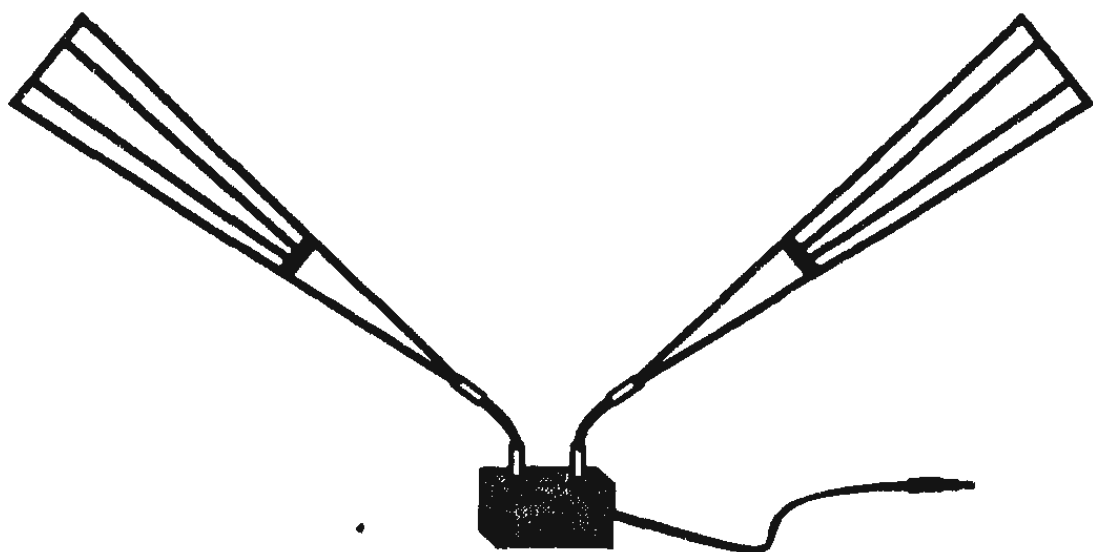


Рис. 10.12. Комнатная широкополосная антенна

каналах метрового телевизионного диапазона. Однако по согласованию с входом телевизора она значительно уступает антенне, настраиваемой на каждом из каналов. Еще одним ее недостатком являются большие габариты, сохраняемые и в нерабочем положении.

Существуют телескопические антенны, у которых положение плеч вибратора можно изменять только в одной плоскости, перпендикулярной к основанию. У современных антенн такой конструкции (рис. 10.13) плоскости, в которых происходит изменение положения плеч вибратора, параллельны. В нерабочем состоянии такие антенны занимают очень мало места.

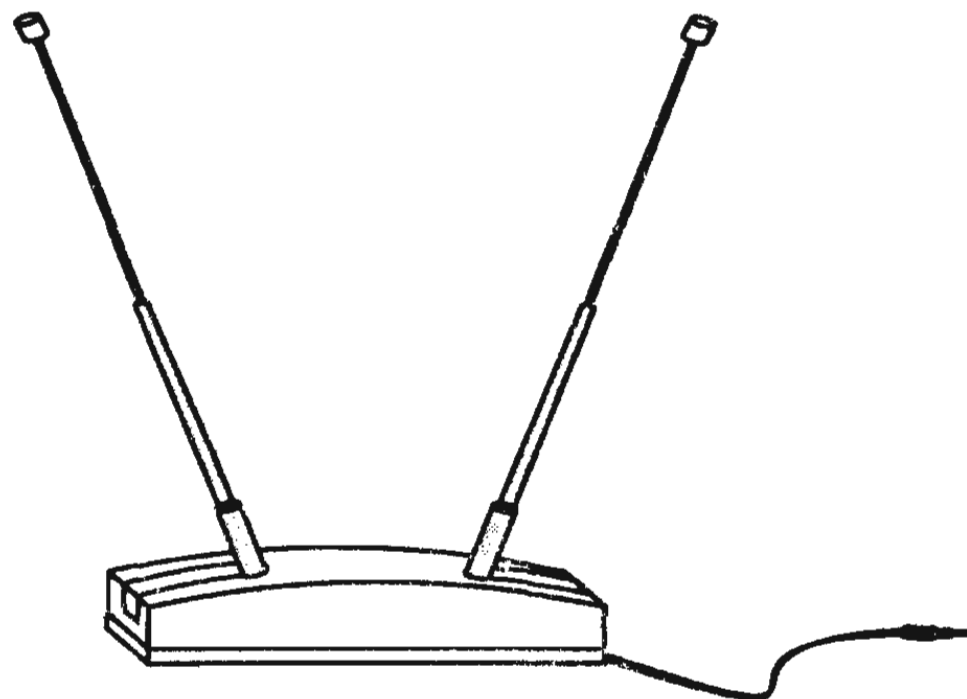


Рис. 10.13. Комнатная малогабаритная телескопическая антенна

Важным элементом любой комнатной антенны является симметрирующее устройство, применение которого вызвано необходимостью соединения симметричного вибратора с несимметричным входом телевизора. Без такого устройства в приеме сигналов будет участвовать не только собственно антенна, но и кабель или шнур, соединяющий вибратор с телевизором. При неблагоприятных условиях это может привести к нарушению электрических характеристик антенны и, в конечном итоге, к ухудшению качества изображения.

Перечисленные недостатки практически отсутствуют у симметрирующего устройства, схема которого приведена на рис. 10.14. Устройство состоит из двух идентичных половин, каждая из которых образована двумя электромагнитно связанными между собой отрезками провода. Практически каждая из половин устройства представляет собой несколько витков из двух сложенных вплотную друг к другу изолированных проводников, намотанных, как показано на рис. 10.15, на одну половину двухотверстного ферритового сердечника типа 30ВЧ2. Применение такого сердечника не обязательно.

Аналогичный результат можно получить и в случае, когда проводники каждой из половин устройства намотаны на отдельных кольцевых ферритовых сердечниках. В комнатных телевизионных антеннах с вибратором петлевого типа,

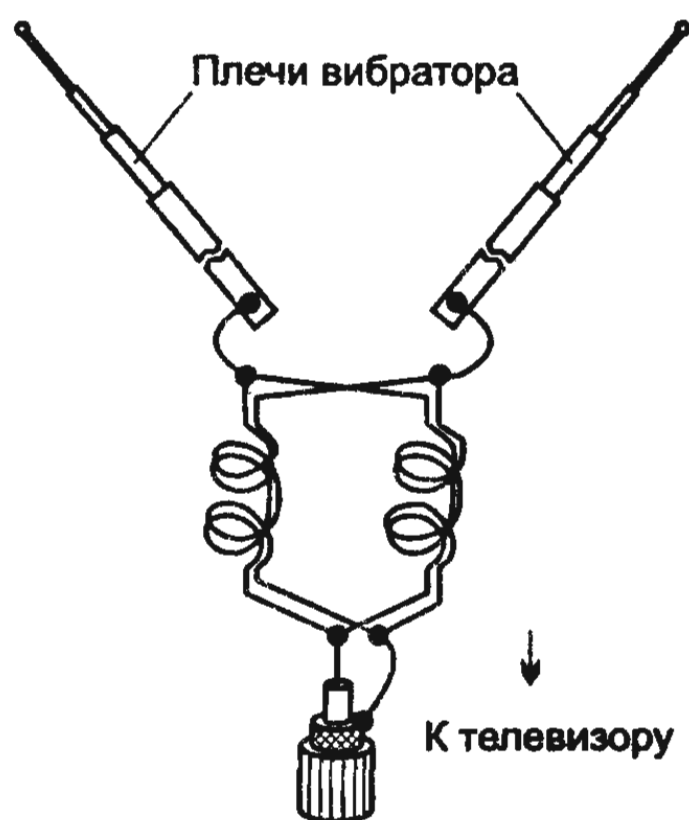


Рис. 10.14. Схема симметрирующего устройства из двух катушек

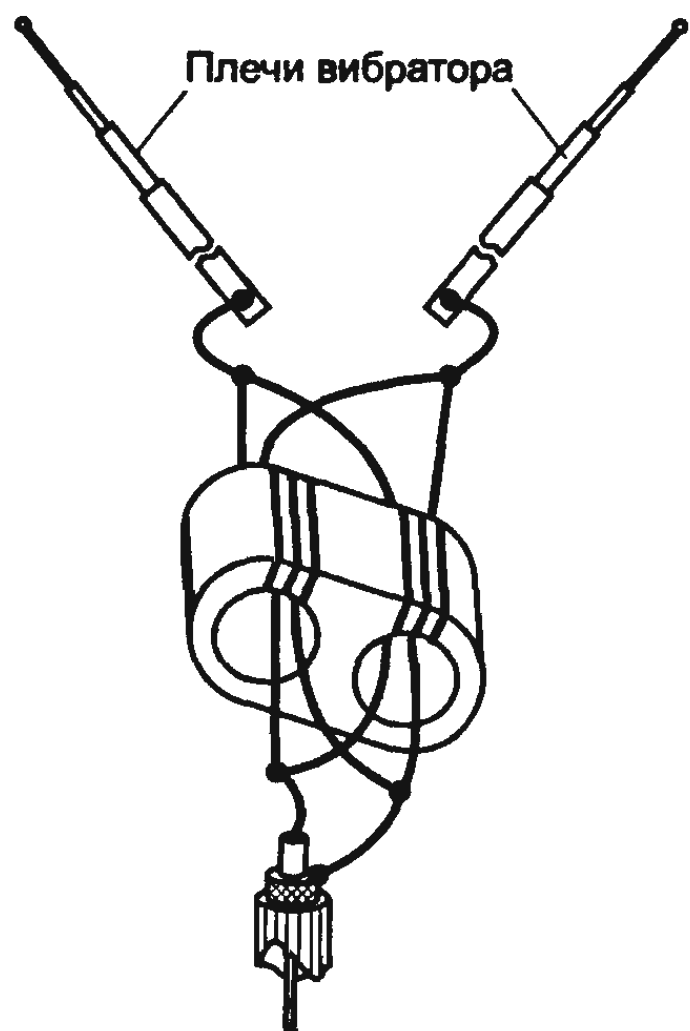


Рис. 10.15. Симметрирующее устройство из двух катушек с ферритовым сердечником

например, в ленточных антеннах, кроме задачи симметрирования, должна быть решена и задача согласования. Если подключение такой антенны к телевизору осуществляется посредством коаксиального 75-омного кабеля, то обе задачи могут быть решены одновременно с помощью симметрирующе-согласующего устройства, подобного описанному выше, выполненного на ферритовом сердечнике, но с проводниками, концы которых соединены, как показано на рис. 10.16. Кроме того, что комнатные телевизионные антенны из-за ограниченных размеров уступают наружным антеннам по усилению и помехозащищенности, качество их работы зависит и от условий применения. Действительно, комната, в которой установлен телевизор, может иметь

самую различную ориентацию по отношению к телецентру. На верхних этажах возможна прямая видимость на передающую антенну телецентра. При расположении комнаты на нижних этажах и стороне, противоположной телецентру, условия приема значительно ухудшаются. Внутри комнаты антенна может находиться в самых различных местах по отношению к окнам или стенам — источникам поля телевизионных сигналов. При прочих равных условиях напряженность поля внутри комнаты сильно зависит от материала стен здания. Из-за ряда обстоятельств, часть из которых перечислена выше, напряженность поля телевизионных сигналов внутри помещений оказывается существенно меньшей, чем снаружи, и, в частности, чем над крышей того же здания. Это вторая причина того, почему качество приема на комнатную телевизионную антенну хуже, чем на наружную.

Третья и, пожалуй, основная причина заключается в том, что внутри большинства городских помещений структура телевизионного сигнала резко отличается от структуры поля вне помещения и, в особенности — от поля в свободном пространстве над крышей здания. По напряженности поле внутри помещения крайне неоднородно, так как в любой точке помещения оно является результатом взаимодействия электромагнитных волн, проходящих в данную точку различными путями. В зависимости от

амплитудных и фазовых соотношений приходящие волны могут в различной мере усиливать или ослаблять друг друга. Случайный характер амплитудных и фазовых соотношений делает картину распределения результирующего поля внутри помещения весьма сложной. Кроме того, одновременное наличие в каждой точке помещения нескольких волн, пришедших различными путями (нередко существенно отличающимися по расстоянию), вызывает ухудшение четкости и появление многоконтурности изображения на экране телевизора. Естественно, что при многопрограммном телевидении на частотах разных каналов напряженность и структура поля в каждой точке поля будут различными. Может оказаться, что в одной и той же точке на частоте одного канала изображение будет четким, а на частоте другого — многоконтурным или смазанным.

Указанные причины во многих случаях не позволяют принимать телевизионный сигнал на комнатные антенны на таких же расстояниях и с таким же качеством изображения, как это возможно при наружных и, в особенности, при коллективных антеннах. Чтобы при приеме на комнатную антенну получить удовлетворительное изображение, необходимо не только настраивать антенну, изменяя длину плеч ее вибратора, но и подбирать место и положение антенны в комнате относительно окон, стен и окружающих предметов. Если еще учесть, что при переключении телевизора на другой канал всю процедуру надо повторять снова, то станет ясным, почему комнатная антенна не может конкурировать с наружными и, тем более, с коллективными антеннами.

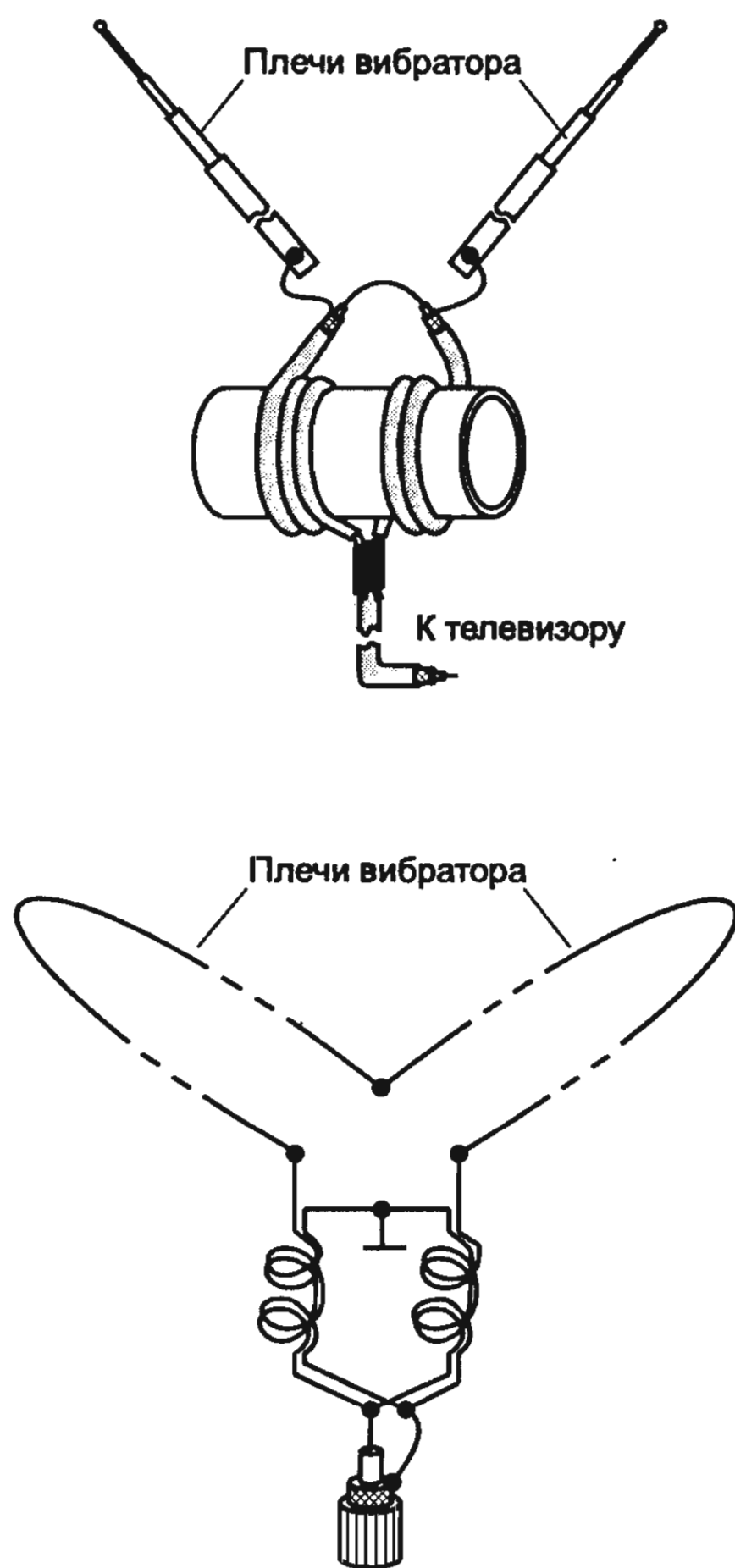


Рис. 10.16. Схема симметрирующе — согласующего устройства для ленточной антенны

10.6. ЗИГЗАГООБРАЗНЫЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ АНТЕННЫ

Эти антенны являются диапазонными антеннами. Они работают в двукратной полосе частот и обеспечивают прием сигналов многопрограммных телецентров в зоне их действия при любых сочетаниях каналов с первого по пятый, с шестого по двенадцатый, легко согласуются с 75-омным коаксиальным кабелем без использования согласующих и симметрирующих устройств, так как коаксиальный кабель вводится в полотно антенны в точке нулевого потенциала.

Первый вариант антенны состоит из двух рамок, расположенных в одной плоскости. Рамки выполняют из металлических трубок, полосок либо толстого медного провода и соединяют их параллельно (рис. 10.17). Антенны из трубок диаметром 8...16 мм для 1...5 каналов и 4...8 мм для 6...12 каналов эффективны в более узкой полосе частот, чем антенны из провода.

Конструкция и размеры антенны на каналы с 1-го по 5-й показаны на рис. 10.18. К деревянной стойке 1 крепят две поперечные металлические рейки 2. В верхней и в нижней частях стойки устанавливают металлические планки 3. Такие же планки 4, но через изоляционные прокладки 5 крепят на концах реек. На стойке между рейками размещают изоляционную пластину 6, на которой укреплены две металлические планки 7. Провода диаметром 2...3

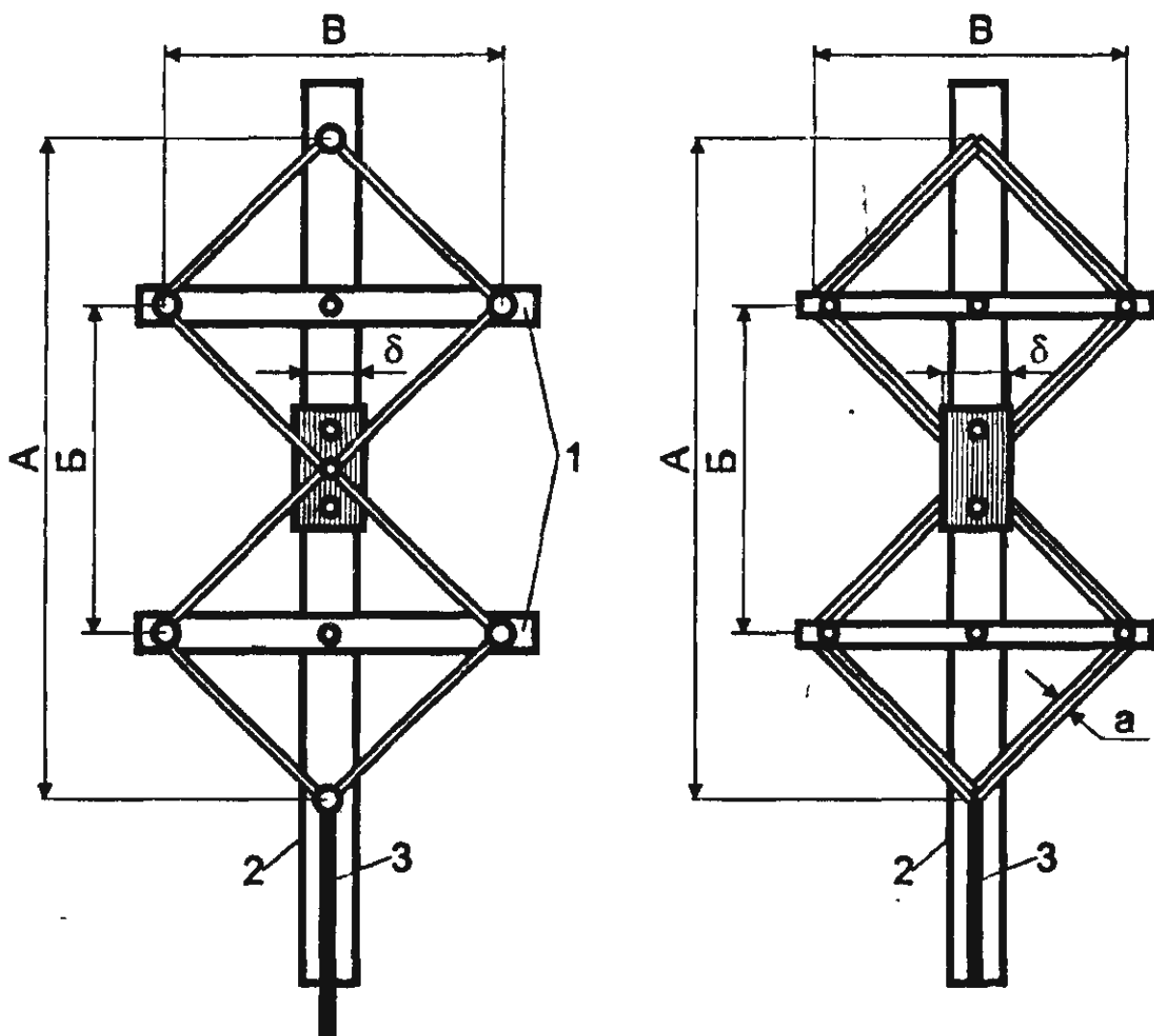


Рис. 10.17. Зигзагообразная телевизионная антенна

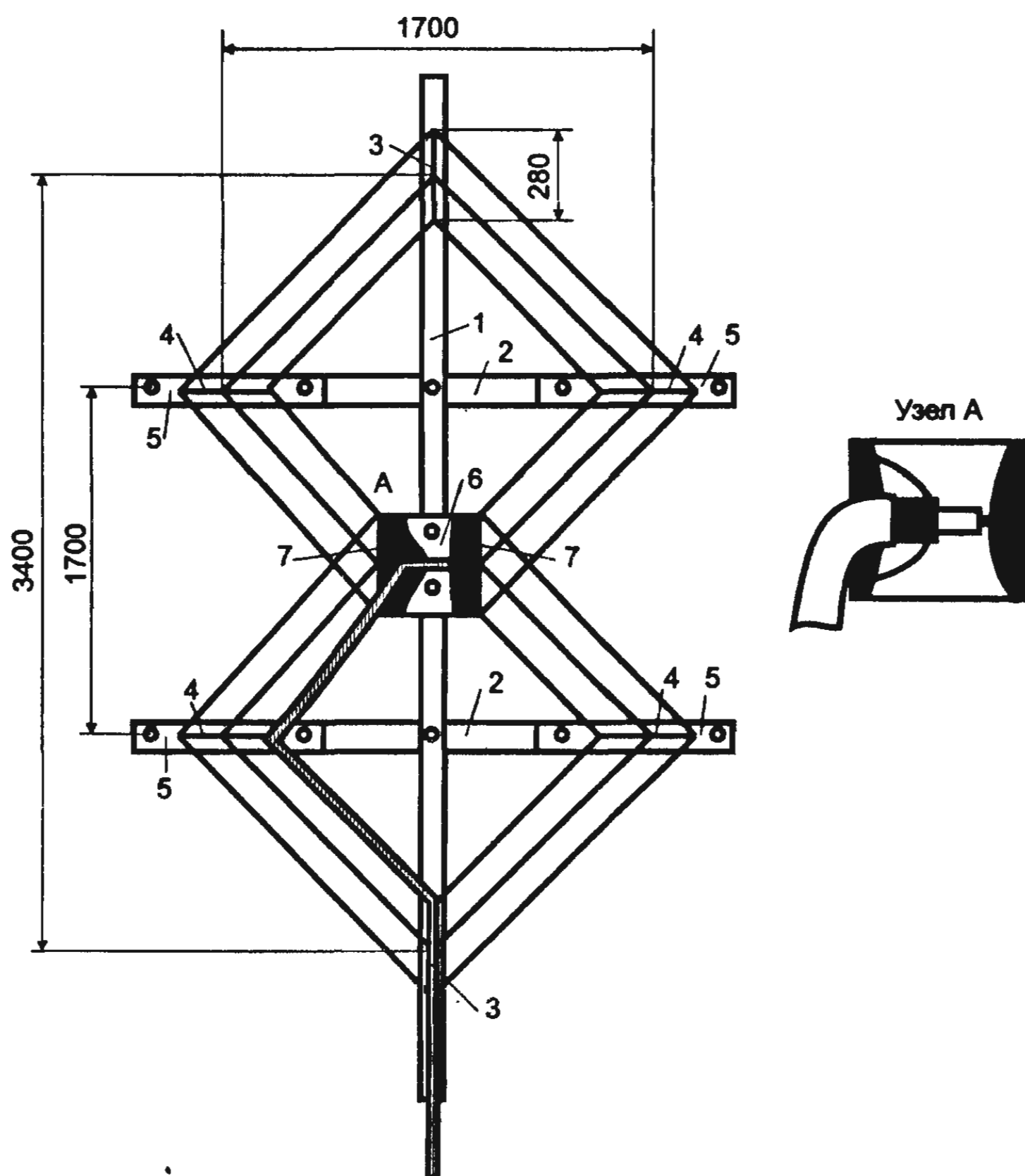


Рис. 10.18. Конструкция зигзагообразной антенны для 1—5 телевизионных каналов

мм либо антенный канатик припаивают к металлическим планкам 3, 4, 7. Кабель снижения с волновым сопротивлением 75 Ом крепят к нижней планке 3, являющейся точкой нулевого потенциала. Кабель укладывают вдоль двух сторон внутреннего провода нижней рамки и припаивают к планкам 7 (оплетку — к левой планке, центральный проводник — к правой).

Основные размеры антенны для различных телевизионных каналов приведены в таблицах 10.2.

Таблица 10.2

Каналы	А, мм	Б, мм	В, мм
1	4850	2420	2420
2	4100	2050	2050
3	3200	1600	1600

Продолжение табл.10.2

Каналы	А, мм	Б, мм	В, мм
4	2900	1450	1450
5	2670	1330	1330
6	1440	720	720
7	1370	685	685
8	1320	660	660
9	1270	635	635
10	1220	610	610
11	1170	585	585
12	1130	565	565
1—5	3400	1700	1700
6—12	950	475	475

Расстояние между точками подключения фидера к антенне должно быть равно 10...15 мм для 1—5 каналов и 7...10 мм — для 6—12 каналов. Размер $a = 100$ мм для 1—5 каналов и $a = 60$ мм для 6—12 каналов.

Для повышения коэффициента направленного действия, приема сигналов только одного направления и увеличения коэффициента усиления на 30...40% с тыльной стороны зигзагообразной антенны устанавливают экран (рефлектор), представляющий собой набор трубок длиной в $0,5\lambda$, расположенных параллельно плоскости антенны на расстоянии $0,1$ друг от друга (рис. 10.19). Но при этом диапазонные свойства антенны ухудшаются. Вместо трубок можно использовать металлические полоски либо такой же провод, как для рамки антенны. В табл. 10.3 приведены основные размеры рефлектора.

Таблица 10.3

Каналы	А, мм	Б, мм	В, мм	Г, мм
1—5	4000	3200	620	300
6—12	1170	900	175	130

Диаграмма направленности антенны в горизонтальной плоскости — симметричная типа «восьмерки». При ориентировании плоскость рамок устанавливается перпендикулярно направлению на телецентр. Поляризация горизонтальная. Коэффициент направленного действия 6...8 дБ, КБВ — 0,5...0,8.

Другим вариантом зигзагообразной антенны является кольцевая антенна или, как ее называют радиолюбители, «Паутинка», показана на рис. 10.20. Такая антенна способна работать во всем метровом диапазоне волн, отведенном для телевидения, и принимать передачи на любом из двенадцати частотных каналов. Коэффициент усиления антенны плавно нарастает с увеличением номера канала на 0,5 дБ на первом канале, до 11 дБ — на двенадцатом.

Антенна представляет собой металлический обруч, выполненный из дерева или другого изоляционного материала, с проложенным по поверхности обруча проволочным кольцом. Обруч крепится к деревянной мачте. В центре кольца к

мачте крепятся на изолированном основании из гетинакса, текстолита или оргстекла две металлические пластины полукруглой формы, выполненные из листовой меди, латуни или белой жести. Толщина пластин не имеет значения, а их радиус равен 50 мм. Каждая пластина соединяется с металлическим обручем или проволочным кольцом пятью лучами, расположенными под равными углами. Затем лучи соединяют между собой пятью перемычками на равных расстояниях. Кольцо, лучи и перемычки можно изготовить из антенного канатика или медного провода диаметром 1,5...3,0 мм. Все соединения нужно тщательно пропаять. Затем к антенне подключается фидер, соединяющий ее с телевизором.

Зигзагообразные антенны могут использоваться на дальней границе зоны прямой видимости или вблизи от ближней зоны полутени в зависимости от мощности передатчика и рельефа местности на трассе между передатчиком и телевизионным приемником.

Основное их достоинство состоит в широкой полосе частот, позволяющей с помощью одной антенны принимать несколько телевизионных программ по разным частотным каналам. Для них можно считать общим принципом постоянство для данной конкретной конструкции произведения коэффициента усиления на

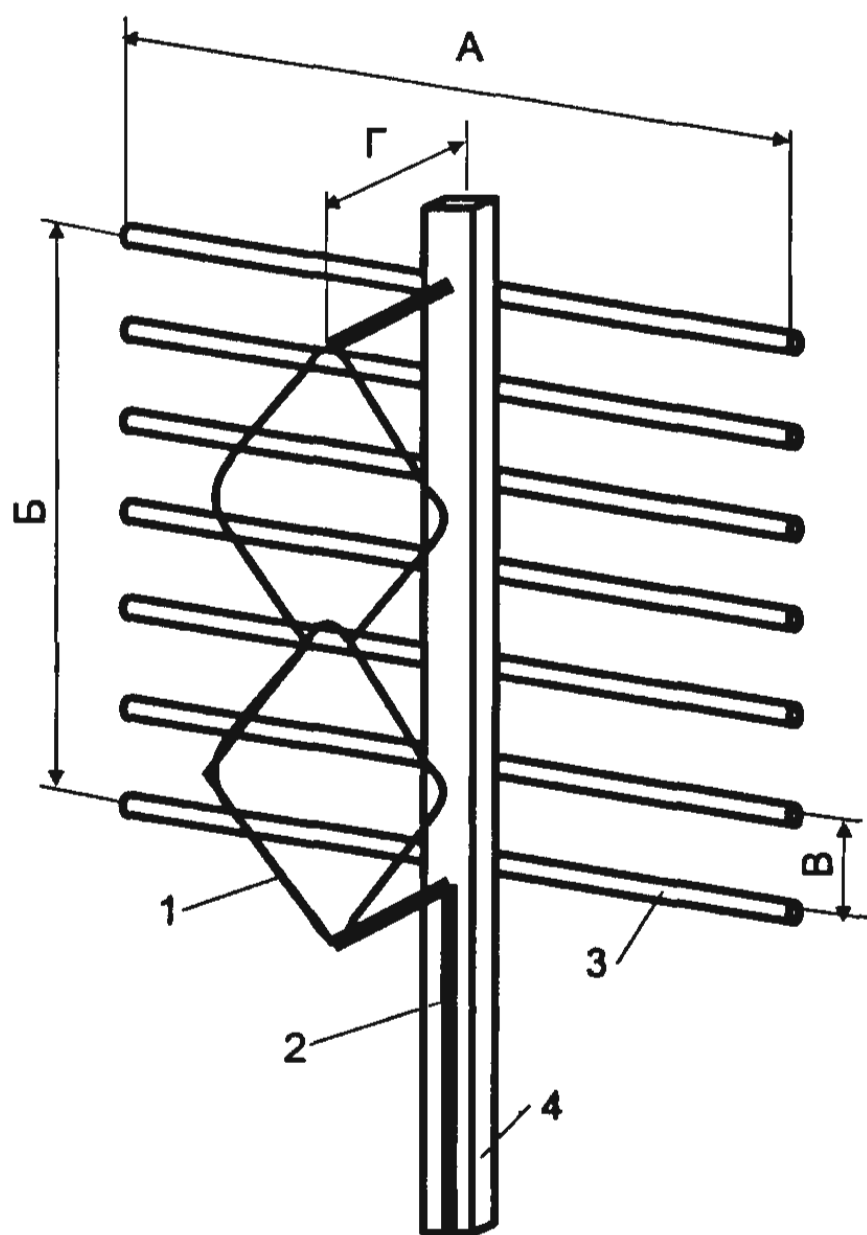


Рис. 10.19. Зигзагообразная телевизионная антенна с рефлектором

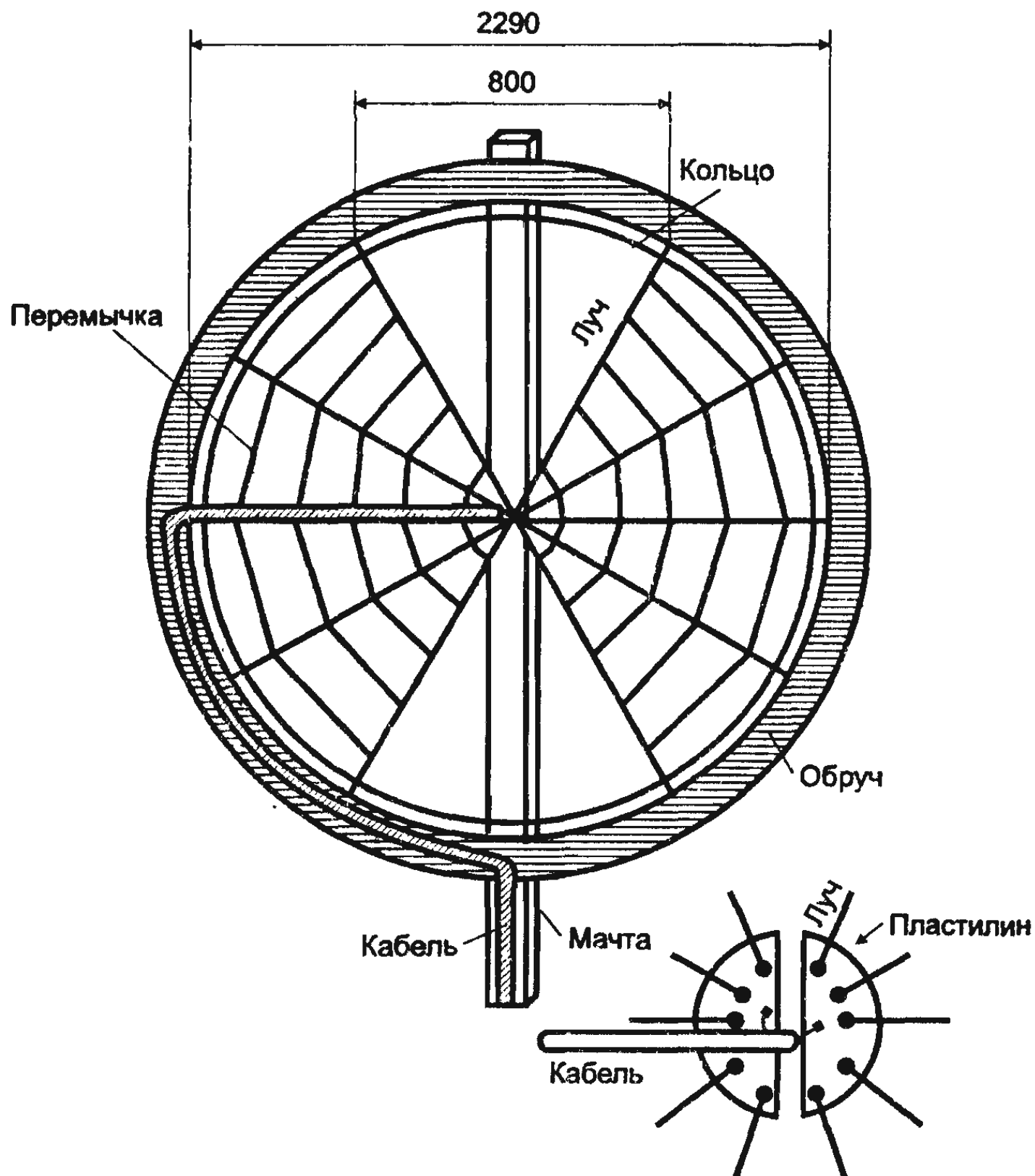


Рис. 10.20. Зигзагообразная телевизионная антенна типа «Паутинка»

рабочую полосу частот. Чем шире рабочая полоса частот, тем меньше коэффициент усиления при данных габаритах антенны. Отсюда следует, что для получения высокого значения коэффициента усиления следует выбирать узкополосные антенны, рассчитанные на прием одного, от силы двух — трех соседних по частоте каналов. При этом нужно учитывать, что между вторым и третьим, а также между пятым и шестым каналами имеются большие частотные промежутки. Поэтому эти каналы, хотя и являются соседними по номерам, но не являются соседними по частоте.

В табл. 10.4 приведено соответствие частот и телевизионных каналов, используемых в Российской Федерации. На основании данных этой таблицы можно определить длину волны телевизионного сигнала, зная частоту f [Гц]:

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{f}.$$

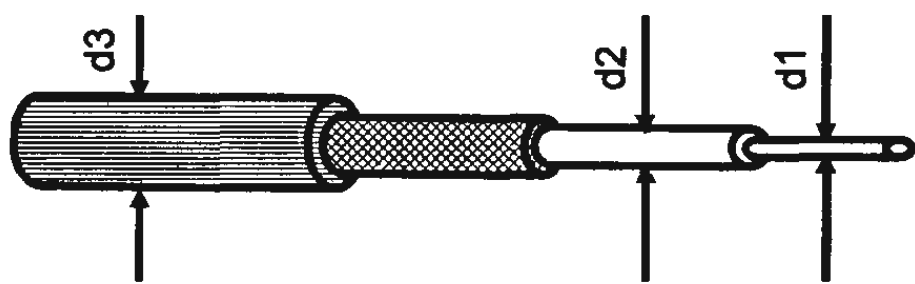
Таблица 10.4

Номер канала	Частотные границы канала, МГц	Несущая частота изображения, МГц	Несущая частота звукового сопровождения, МГц	Номер канала	Частотные границы канала, МГц	Несущая частота изображения, МГц	Несущая частота звукового сопровождения, МГц
МВ				34	574—582	575,25	581,75
1	48,5—56,5	56,25	35	35	582—590	583,25	589,75
2	58—66	59,25	65,75	36	590—598	591,25	597,75
3	76—84	77,25	83,75	37	598—606	599,25	605,75
4	84—92	85,25	91,75	38	606—614	607,25	613,75
5	92—100	93,25	99,75	39	614—622	615,25	621,75
6	174—182	175,25	181,75	40	622—630	623,25	629,75
7	182—190	183,25	189,75	41	630—638	631,25	637,75
8	190—198	191,25	197,75	42	638—646	639,25	645,75
9	198—206	199,25	205,75	43	646—654	647,25	653,75
10	206—214	207,25	213,75	44	654—662	655,25	661,75
11	214—222	215,25	221,75	45	662—670	663,25	669,75
12	222—230	223,25	229,75	46	670—678	671,25	677,75
ДМВ				47	678—686	679,25	685,75
21	470—478	471,25	477,75	48	686—694	687,25	693,75
22	478—486	479,25	285,75	49	694—702	695,25	701,75
23	486—494	487,75	493,75	50	702—710	703,25	709,75
24	494—502	495,25	501,75	51	710—718	711,25	717,75
25	502—510	503,25	509,75	52	718—726	719,25	725,75
26	510—518	511,25	517,75	53	726—734	727,25	733,75
27	518—526	519,25	525,75	54	734—742	735,25	741,75
28	526—534	527,25	533,75	55	742—750	743,25	749,75
29	534—542	532,25	541,75	56	750—758	751,25	759,75
30	542—550	543,25	549,75	57	758—766	759,25	765,75
31	550—558	551,25	557,75	58	766—774	767,25	773,75
32	558—566	559,25	565,75	59	774—782	775,25	781,75
33	566—574	567,25	573,75	60	782—790	783,25	789,75

10.7. КОНСТРУКЦИЯ И ПАРАМЕТРЫ КОАКСИАЛЬНЫХ КАБЕЛЕЙ

Коаксиальные кабели нашли широкое применение в телевидении. Он состоит (рис. 10.21) из медного внутреннего проводника, одножильного или многожильного, полиэтиленовой изоляции, внешнего проводника, плетеного из медных проволок диаметром 0,1...0,2 мм, и пластмассовой оболочки.

Обозначение коаксиального кабеля состоит из букв и трех чисел: буквы РК означают радиочастотный коаксиальный кабель,



первое число показывает волновое сопротивление кабеля в омах, второе — внутренний диаметр оплетки в миллиметрах, третье — номер разработки.

Рис. 10.21. Конструкция коаксиального кабеля

К числу основных параметров коаксиального кабеля относятся волновое сопротивление, погонное затухание и коэффициент укорочения волны.

Волновое сопротивление Z_B — определяется через погонную индуктивность $L_{\text{пог}}$ и погонную емкость $C_{\text{пог}}$:

Волновое сопротивление Z_B — определяется через погонную индуктивность $L_{\text{пог}}$ и погонную емкость $C_{\text{пог}}$:

$$Z_B = \sqrt{L_{\text{пог}} / C_{\text{пог}}}$$

Режим работы фидерной линии (коаксиального кабеля) определяется соотношением между волновым сопротивлением линии Z_B и сопротивлением нагрузки Z_H . Если сопротивление нагрузки — активное и равно волновому сопротивлению ($Z_H = R = Z_B$), то энергия от генератора (от антенны) полностью передается по коаксиальному кабелю в нагрузку. Этого всегда надо добиваться. Если сопротивление нагрузки — чисто активное, но не равно волновому сопротивлению кабеля ($Z_H = R \neq Z_B$) либо комплексное, состоящее из активной и реактивной составляющей, то не вся энергия генератора (антенны) передается в нагрузку, часть ее отражается обратно в сторону антенны.

Погонное затухание β — затухание на единицу длины коаксиального кабеля; выражается в децибелах на метр [дБ/м] или [дБ/км]. Затухание — в децибелах в линии длиной l равно:

$$T = \beta l$$

Коэффициент укорочения длины волны в коаксиальном кабеле n — параметр, показывающий, во сколько раз длина волны в линии λ_k меньше длины волны λ в свободном пространстве, т. е.

$$n = \lambda / \lambda_k.$$

В табл. 10.5 приведены конструктивные данные и параметры наиболее распространенных коаксиальных кабелей.

На рис. 10.22 приведены графики зависимости погонного затухания коаксиальных 75-омных кабелей от частоты. Из графиков видно, что удельное затухание зависит от толщины кабеля (второе число в обозначении кабеля): чем он толще, тем удельное затухание меньше. Пользуясь этими графиками, можно подсчитать значение затухания сигнала в кабеле при определенной его длине на любом частотном канале метрового и дециметрового диапазона. Наиболее распространенным кабелем является кабель марки РК-75-4-11, обладающий погонным затуханием 0,06...0,08 дБ/м в диапазоне 1—5 каналов, 0,11...0,14 дБ/м в диапазоне 6—12 каналов и 0,25...0,37 дБ/м в диапазоне 21—60 каналов. Отсюда: при длине кабеля 20 м затухание на 12-ом канале составит всего 2,8 дБ, что соответствует уменьшению сигнала всего в 1,38 раза, а при длине кабеля 50 м затухание на 12-ом канале составит 7,0 дБ (уменьшение сигнала в 2,24 раза). В дециметровом же диапазоне при длине кабеля 20 м затухание окажется равным 5,0...7,4 дБ/м, что соответствует уменьшению напря-

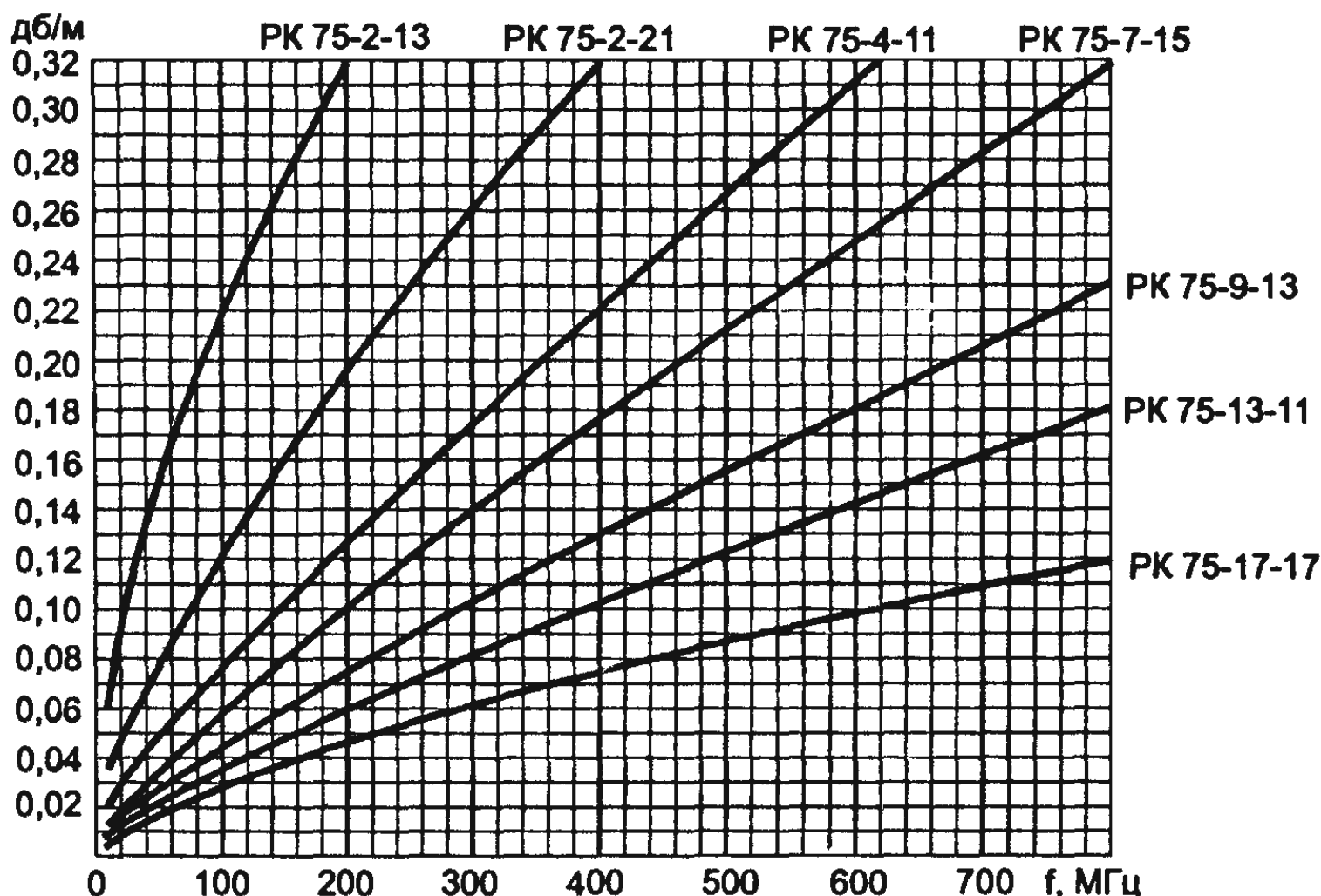


Рис. 10.22. Кривые погонного затухания коаксиального кабеля

Таблица 10.5
Конструктивные данные и параметры коаксиальных кабелей

Марка	зв, Ом	Слог, пФ/м	п	Размер (рис. 10.21)			Минимально допустимый радиус изгиба, мм	Интервал температур, °С	Масса, кг/км
				d1, мм	d2, мм	d3, мм			
PK 75-1-12	75±7	67	1,52	0,17	1±0,1	1,9±0,2	20	-60+85	5,4
PK 75-2-13	75±5	67	1,52	0,36**	2,2±0,1	3,2±0,3	30	-60+85	14,7
PK 75-3-31***	75±5	55	1,24	0,69**	2,95±0,15	5,5±0,3	60	-60+85	34
PK 75-4-11	75±3	67	1,52	0,72	4,6±0,2	7,3±0,4	70	-60+85	63
PK 75-4-12	75±3	67	1,52	0,72**	4,6±0,2	7,3±0,4	70	-60+85	63
PK 75-4-15	75±3	67	1,52	0,72	4,6±0,2	7,3±0,4	70	-40+70	72
PK 75-4-16	75±3	67	1,52	0,78**	4,6±0,2	7,3±0,4	70	-40+70	72
PK 75-9-12	75±3	67	1,52	1,35	9±0,3	12,2±0,8	120	-40+70	189
PK 75-9-13	75±3	67	1,52	1,35	1,35	12,2±0,8	120	-60+85	172
PK 50-1-12	50±5	100	1,52	0,32	1±0,1	1,9±0,2	20	-60+85	5,8
PK 50-2-13	50±3	100	1,52	0,67	2,2±0,1	4,0±0,3	20	-40+70	24,6
PK 50-3-11*	50±2,5	100	1,52	0,9	2,95±0,15	5,3±0,3	60	-60+85	50
PK 50-4-13	50±2	100	1,52	1,37	4,6±0,2	9,6±0,6	100	-40+70	141
PK 50-7-11	50±2	100	1,52	2,28**	7,25±0,25	10,3±0,6	100	-60+85	134
PK 50-7-12*	50±2	100	1,52	2,28**	7,25±0,25	11,2±0,7	100	-60+85	178
PK 50-9-12	50±2	100	1,52	2,7**	9±0,3	12,2±0,8	120	-40+70	213

* Двойной экран.

** Семижильный проводник.

*** Полувоздушная изоляция.

жения сигнала в 1,78...2,34 раза, а при длине кабеля 50 м — 12,5...18,5 дБ (уменьшение сигнала в 4,22...8,41 раза).

Таким образом, при длине кабеля 50 м даже на 12-ом канале сигнал, проходя по кабелю, уменьшается более чем вдвое, и отношение сигнал/шум на входе телевизора окажется пониженным также более чем вдвое. Для компенсации ослабления сигнала на входе телевизионного приемника следует включать сразу же после антенны антенный усилитель с коэффициентом усиления, равным затуханию сигнала в кабеле. Использовать антенные усилители с большим усилением не имеет смысла.

Коаксиальные кабели РК-75-9-13 и РК-75-13-11 обладают меньшим затуханием, чем кабель РК-75-4-11. Особенно это заметно в дециметровом диапазоне. На частоте 785 МГц при длине кабеля 50 м он вносит затухание 18,5 дБ (ослабление напряжения в 8,4 раза), кабель РК-75-9-13 — 11,0 дБ (ослабление в 3,55 раза), кабель РК-75-13-11 — 7,5 дБ (ослабление в 2,4 раза). Таким образом, применением лучшего кабеля можно поднять уровень сигнала на входе телевизора в несколько раз (при приеме сигналов дециметрового диапазона) даже без использования антенного усилителя.

Если не известна марка кабеля, оказываются не известны ни его волновое сопротивление ни его удельное затухание, то эти параметра можно определить при наличии штангенциркуля или микрометра. Нужно снять внешнюю защитную оболочку с конца кабеля, завернуть оплетку и измерить диаметр внутренней полиэтиленовой изоляции. Затем снять изоляцию и измерить диаметр центральной жилы. После этого результат первого измерения разделить на результат второго: при полученном соотношении 3,3...3,7 волновое сопротивление равно 50 Ом, при отношении 6,5...6,9 волновое сопротивление составляет 75 Ом. Если по результатам измерений кабель оказался 75-омным, то используя рис. 10.22, можно определить приблизительно его удельное затухание (используя диаметр изоляции).

10.8. ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ

10.8.1. Рамочная средневолновая антенна [30]

Число витков антенны можно определить по формуле для расчета индуктивности круглой рамки диаметром d (м):

$$L = kw^2d,$$

где k — коэффициент, зависящий от плотности намотки, его значение лежит в пределах $(1...3) \cdot 10^{-6}$.

Для РА цилиндрическая форма обмотки неудобна, предпочтительнее радиальная. Очень удобна «корзиночная» обмотка (рис. 10.23), автоматически обеспечивающая шаг между витками, равный диаметру провода. В этом случае катушку наматывают на плоском каркасе из диэлектрика с нечетным числом радиальных прорезей, в которые и укладывают провод, проходящий попеременно с одной или с другой стороны каркаса. Для «корзиночной» обмотки, описанной ниже, $k = 1,6 \cdot 10^{-6}$.

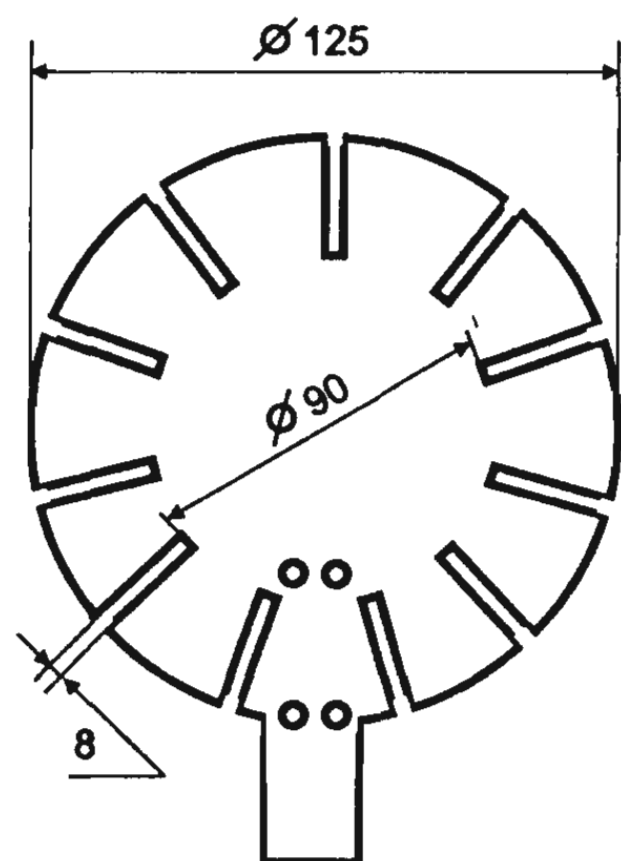


Рис. 10.23. Каркас рамочной антенны с «корзиночной» обмоткой для СВ

Указанная на рис. 10.23 конструкция представляет собой каркас с одиннадцатью прорезями из листа органического листа толщиной 4 мм. Края прорезей следует скруглить острым ножом или надфилем, чтобы не повредить провод при намотке. Центральную часть каркаса можно вырезать и удалить. Обмотка содержит 37 витков провода ЛЭШО $21 \times 0,07$, выводы закрепляют в специально просверленных отверстиях каркаса или припаивают к закрепленным на каркасе лепесткам. Нижний выступ каркаса нужен для крепления всей антенны.

Добротность РА (как колебательного контура) с «корзиночной» обмоткой достаточно высока, достигая значения 280 на частоте 1600 кГц, и увеличивается с частотой. Это обеспечило полосу пропускания контура антенны не шире 6 кГц во всем СВ-диапазоне. Напряжение, наводимое полем центральных радиостанций на выводах контура магнитной антенны, составило от 15 до 300 мВ в условиях Москвы, на девятом этаже панельного дома.

10.8.2. Необычное использование осветительной сети [31]

Если использовать приставку, схема которой приведена на рис. 10.24, то для улучшения качества радиоприема можно использовать сетевую проводку. Приставка представляет собой двухканальный апериодический усилитель радиочастоты, ко входу которого гибким экранированным кабелем длиной до 1,5 м подклю-

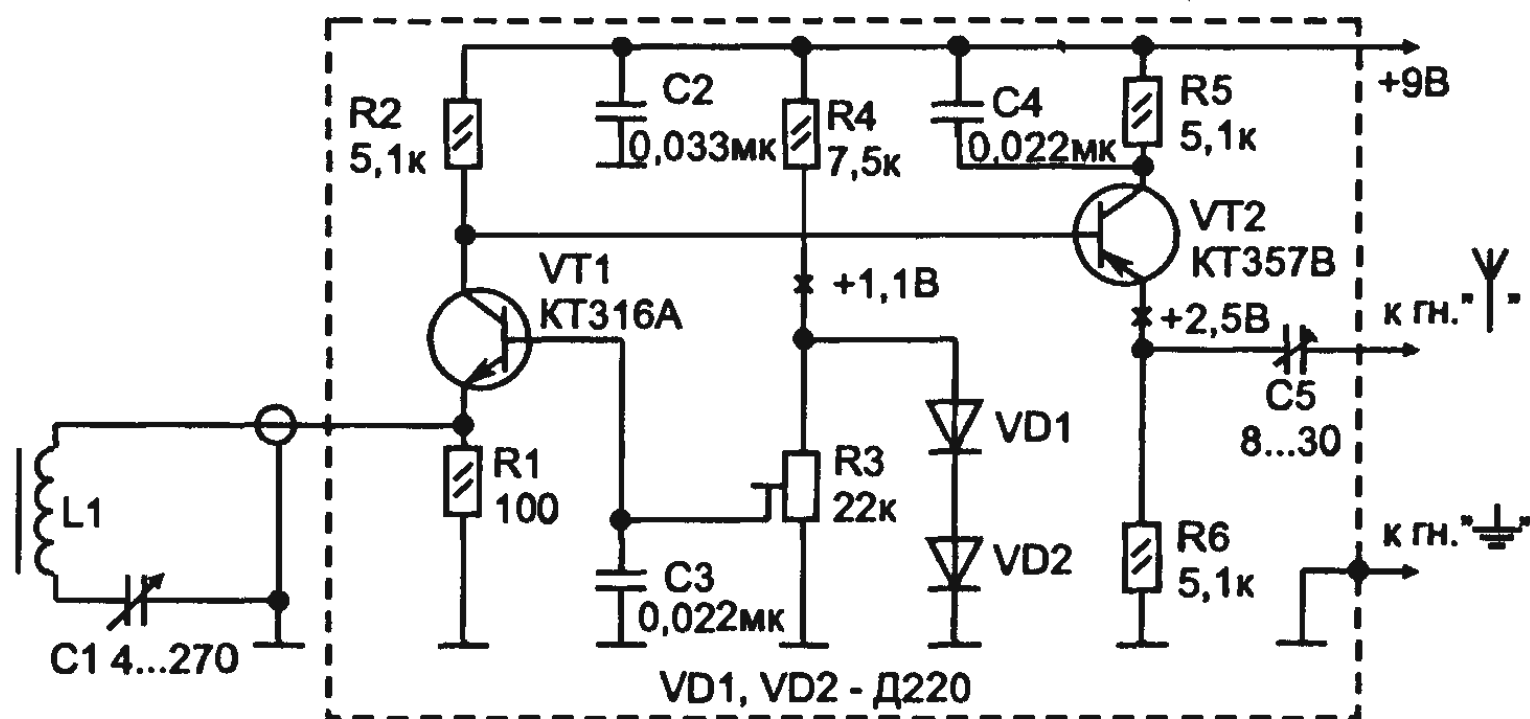


Рис. 10.24. Схема усилителя для антенны СВ и ДВ

чен последовательный колебательный контур $L1C1$. Сам контур располагают рядом с электрической проводкой. Благодаря применению последовательного контура и низкому входному сопротивлению первого каскада усилителя радиочастоты, собранного по схеме с общей базой, потери сигнала в кабеле минимальны.

Режимы работы обоих каскадов усилителя радиочастоты по току практически не зависят от напряжения питания благодаря стабилизатору напряжения на диодах $VD1$, $VD2$ и резисторе $R4$. Нужные режимы транзисторов $VT1$, $VT2$ устанавливаются резистором $R3$.

Сигнал с выхода апериодического усилителя через конденсатор $C5$ подается на вход внешней антенны радиоприемника. Длина проводов, соединяющих этот вход с выходом приставки, не должна превышать 20 см (рис. 10.25), поэтому усилитель радиочастоты следует разместить рядом с радиоприемником.

При монтаже приставки использованы постоянные резисторы МЛТ—0,125 (можно и МЛТ—0,25), подстроечный резистор — СПЗ-38в. Конденсаторы $C2$ - $C4$ — КМ-5 (К10У-5 или К10-7в), $C5$ — КПК-МН или КПК-МП. Конденсатор переменной емкости — от любого переносного приемника с максимальной емко-

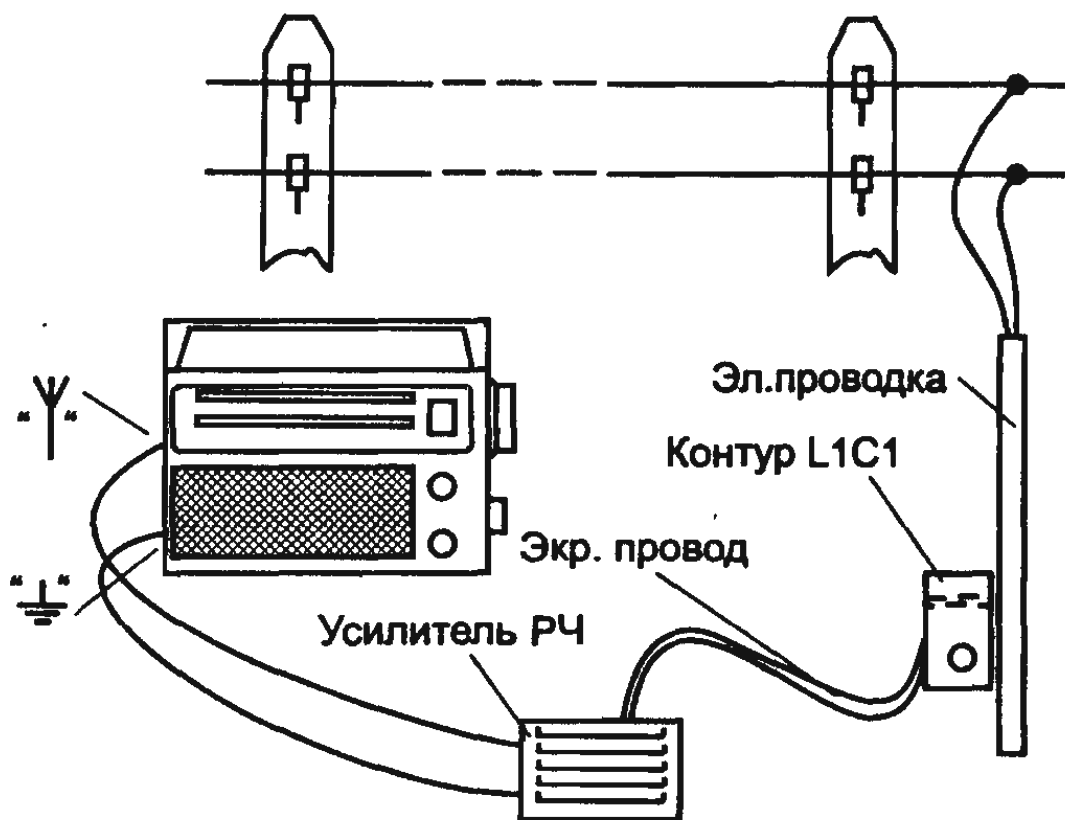


Рис. 10.25. Использование осветительной сети в качестве антенны ДВ и СВ

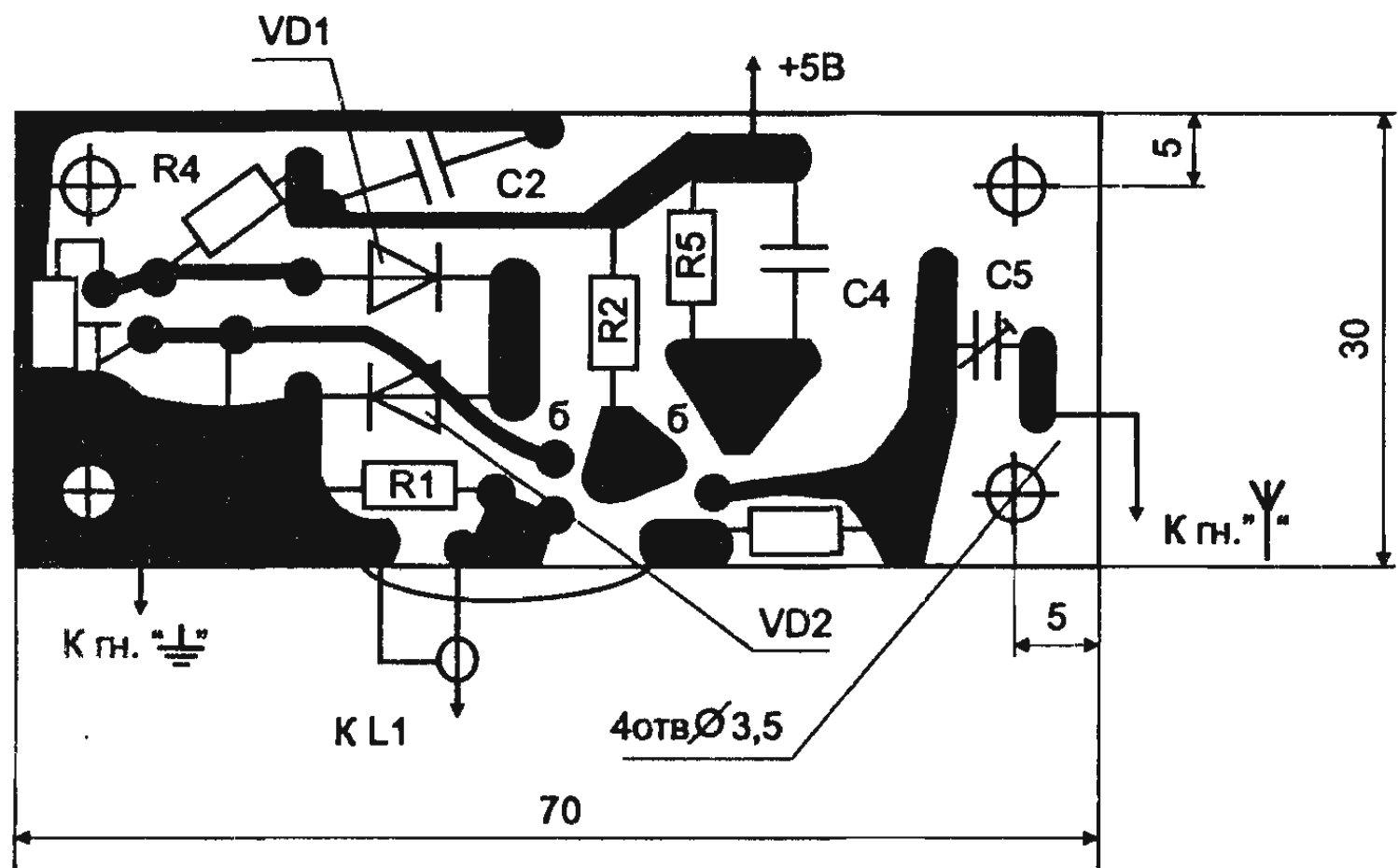


Рис. 10.26. Печатная плата усилителя для антенны СВ и ДВ

стью не менее 270 пФ. Транзистор КТ316А можно заменить КТ316 и КТ339, а КТ357В—КТ357 и КТ361 с любыми буквенными индексами. Вместо диодов Д220 подойдут диоды Д223 и КД221 также с любыми буквенными индексами.

Функции катушки L1 выполняет магнитная антенна от радиоприемника «Селга-309». В средневолновом диапазоне используется секция 1-2, а в длинноволновом — последовательное включение секций 1-2 и 3-4.

Если приобрести указанную антенну не удалось, то катушку L1 можно намотать на ферритовом стержне от магнитной антенны любого радиоприемника диаметром 8 и длиной 65 мм (более длинный стержень следует укоротить). Катушку наматывают проводом ПЭТВЛ-1 0,1 на пластмассовом секционном каркасе. Обмотку длинноволнового диапазона размещают в восьми секциях по 35 витков в каждой, а средневолнового — в шести секциях по 17 витков в каждой.

Плату усилителя радиочастоты (рис. 10.26) размещают в металлическом корпусе, электрически связанном с минусовой шиной источника питания. Колебательный контур следует поместить в небольшой пластмассовый футляр. Важно, чтобы катушка была как можно ближе к той его стенке, которая прикладывается к электропроводке. Приставка может питаться как от автономного источника, так и от источника питания приемника. В последнем случае параллельно конденсатору С2 следует подключить оксидный конденсатор емкостью не менее 50 мкФ. Напряжение пита-

ния подается на усилитель радиочастоты приставки через развязывающий резистор сопротивлением 300 Ом, оно может находиться в пределах 7...9 В. Потребляемый ток не превышает 2,5 мА.

Следует отметить, что приставка рассчитана на работу с приемником, имеющим емкостную связь с внешней антенной. При индуктивной связи с антенной выход приставки подключают непосредственно к входному контуру приемника. Так поступают и при отсутствии гнезд внешней антенны в приемнике.

Для налаживания приставки устанавливают движок резистора R3 в нижнее (по схеме) положение, включают питание. Затем с помощью этого резистора устанавливают на коллекторе транзистора VT2 напряжение $2,5 + 0,2$ В относительно общего провода.

Далее, установив роторы конденсаторов C1 и C5 в положение максимальной емкости, подключают приставку к гнездам «антенна» и «заземление» приемника и устанавливают верхнюю границу перекрываемого приемником длинноволнового или средневолнового диапазона. Для этого на вход контура L1C1 подают соответствующий сигнал от генератора стандартных сигналов, настраивают на эту частоту приемник и, перемещая каркас катушки L1 по магнитопроводу, добиваются настройки контура L1C1 в резонанс. Состояние резонанса определяют по индикатору настройки приемника или, измеряя уровень постоянной составляющей сигнала на выходе детектора, с помощью вольтметра. После этого подносят контур к электропроводке и, установив магнитопровод катушки L1 перпендикулярно проводам осветительной сети и вращая ручку настройки приемника, пытаются принять сигнал какой-либо удаленной радиостанции. Наибольшей громкости приема добиваются конденсатором переменной емкости приставки. После чего устанавливают наименьший уровень помех подстройкой конденсатора C5.

При работе с приставкой полезно снабдить шкалой конденсатор переменной емкости C1. Настройку на желаемую радиостанцию следует производить в такой последовательности: сначала ручкой настройки конденсатора C1 (см. рис. 10.24) нужно установить приблизительно соответствующую длину волны, затем настроить приемник точно на радиостанцию и после этого еще раз подстроить конденсатор C1.

Приставка позволяет увеличить радиус уверенного приема радиостанций по сравнению с приемом на магнитную антенну, а также повысить селективность приемника по паразитным каналам приема.

10.8.3. Приемная комнатная антенна

Ниже приведено описание еще одной, более простой, приставки, которая тоже позволяет улучшить качество приема. В качестве внешней антенны для этой комнатной антенны могут быть использованы трубы системы отопления. Ведь металлические трубы системы отопления проходят через все этажи здания, образуя вертикальный токопроводящий «штырь», длина которого зависит от высоты дома. Наведенные в нем токи сигналов радиостанций могут порой значительно превышать токи, возникающие в рамочных комнатных антеннах. Вот почему такая антенна — «штырь» вполне подойдет для любительских радиоприемников, нужно только обеспечить с ней эффективную связь. Наиболее просто реализовать индуктивную связь, к тому же ее можно сделать частотно-избирательной, повысив тем самым селективность и помехоустойчивость системы антенна-приемник. Ось катушки индуктивности при этом следует располагать перпендикулярно к трубе и как можно ближе к ней. Для увеличения связи катушку нужно намотать на ферритовом магнитопроводе.

На рис. 10.27 изображена схема согласующего устройства для всеволновых любительских приемников, имеющих гнезда для подключения антенны и заземления. Оно крепится к трубе с помощью двух магнитов и представляет собой колебательный контур, образованный катушкой индуктивности $L1$ и конденсатором переменной емкости $C1$.

Соединяется приставка с приемником витым двухжильным кабелем, причем емкость и индуктивность кабеля входят в колебательный контур. Для перекрытия диапазона СВ (160 м) и КВ катушка индуктивности выполнена с отводами. Нужный рабочий диапазон согласующего устройства выбирают переключателем

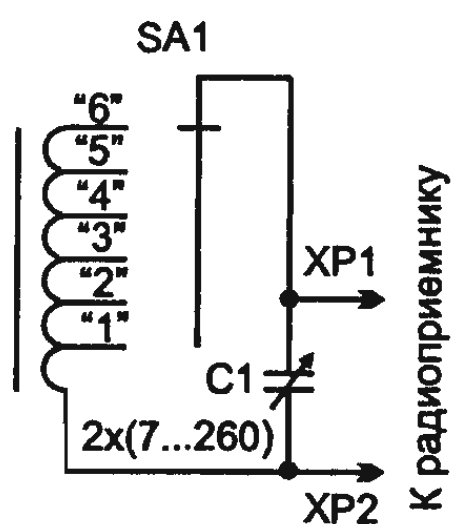


Рис. 10. 27. Схема согласующего устройства для всеволнового приемника

SA1, а более точно резонансную частоту контура, а значит, максимальный сигнал на входе приемника, устанавливают конденсатором переменной емкости.

Катушка индуктивности намотана на отрезке ферритового стержня диаметром 10 и длиной 19 мм из феррита 400НН (отрезок стержня от магнитной антенны приемника «Альпинист-405»). Всего нужно на-

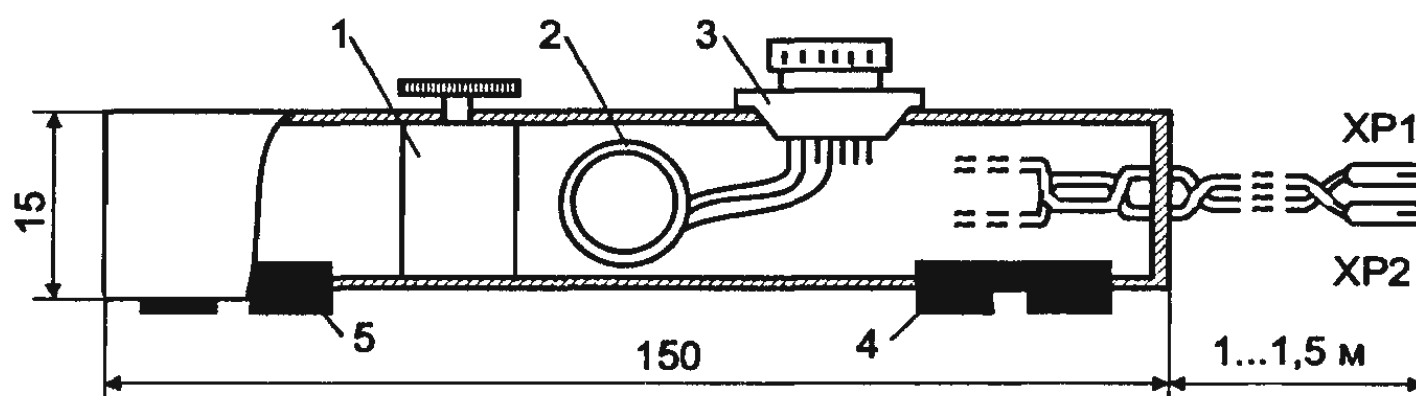


Рис. 10.28. Конструкция согласующего устройства

мотать виток к витку 85 витков провода ПЭВ — 1 0,19 и сделать отводы от 2, 10, 20, 35, и 50-го витков, считая от нижнего по схеме вывода. Конденсатор переменной емкости — КПТМ, обе его секции соединены параллельно. Подойдет и другой малогабаритный конденсатор с максимальной емкостью не менее 500 пФ. Переключатель SA1 — малогабаритный, типа МПВ или МПН.

Конденсатор 1 (рис. 10.28), катушку индуктивности 2 и переключатель 3 размещают в пластмассовом корпусе — футляре от авторучки размерами 150×22×15 мм. На дне корпуса закреплены постоянные магниты 4 и 5, с помощью которых приставка крепится к трубе-«штырю». Соединительный кабель составлен из двух свитых отрезков проводов МГШВ 0,12, к наружным концам которых припаяны вилки.

Чтобы приставка перекрывала СВ-вещательный диапазон, надо увеличить число витков катушки индуктивности.

10.8.4. Активный ответвитель ТВ сигнала

Если в квартире имеется два телевизора (в разных комнатах), то можно рекомендовать изготовить ответвитель для подключения к фидеру телевизионной антенны одновременно обоих телевизоров.

Ответвитель собран на полевом транзисторе (рис. 10.29). Он практически не вносит рассогласования в фидер и в то же время обеспечивает выходной сигнал, достаточный для нормальной работы телевизора.

Устройство представляет собой апериодический усилитель радиочастоты с высокоомным входом и согласованным с 75-омным кабелем выходом. Полевой транзистор VT1 включен по схеме с общим истоком. Режим его работы задан напряжением на затворе, снимаемым с делителя R1R2. Входной сигнал поступает в цепь затвора через конденсатор небольшой емкости C1, усиленный сиг-

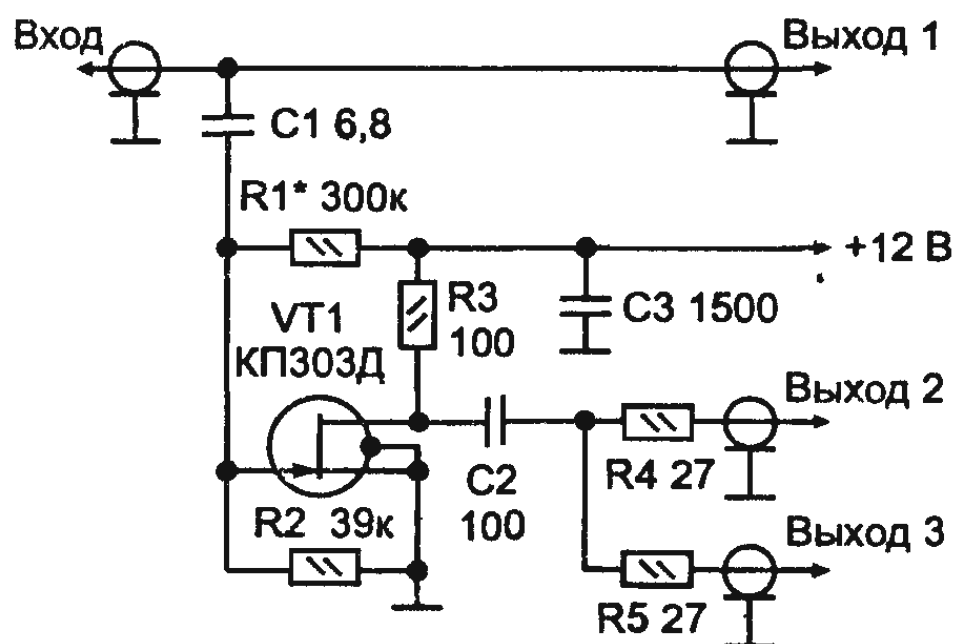


Рис. 10.29. Активный ответвитель телевизионного сигнала

сток изолирующей оболочки кабеля, надрезают оплетку и изоляцию внутренней жилы, после чего к последней припаивают конденсатор $C1$ (его выводы необходимо укоротить до минимально возможной длины), а к оплетке — общий провод ответвителя. Требуемый уровень выходного сигнала устанавливают подбором резистора $R1$ (на практике — до получения тока стока в пределах 5...7 мА).

Ответвитель хорошо работает во всех 12-ти каналах метрового диапазона волн. Взаимного влияния телевизоров, подключенных к основному фидеру и выходам ответвителя, не обнаружено.

Для питания ответвителя необходим источник с малым напряжением пульсаций (при недостаточной фильтрации на экране телевизора может наблюдаться помеха в виде неподвижной или перемещающейся горизонтальной полосы). Конструкция ответвителя произвольная.

Другой вариант активного ответвителя приведен на рис. 10.30 [32]. Он состоит из усилителя на сверхвысокочастотных транзи-

нал снимается со стока и через конденсатор $C2$ и резисторы $R4R5$ подается на антенные входы телевизоров.

При монтаже детали входной и выходной цепей усилителя необходимо расположить по разные стороны от транзистора. С фидером (на рис. 10.29 — линия связи Вход-Выход 1) ответвитель соединяют следующим образом: удалив небольшой участ-

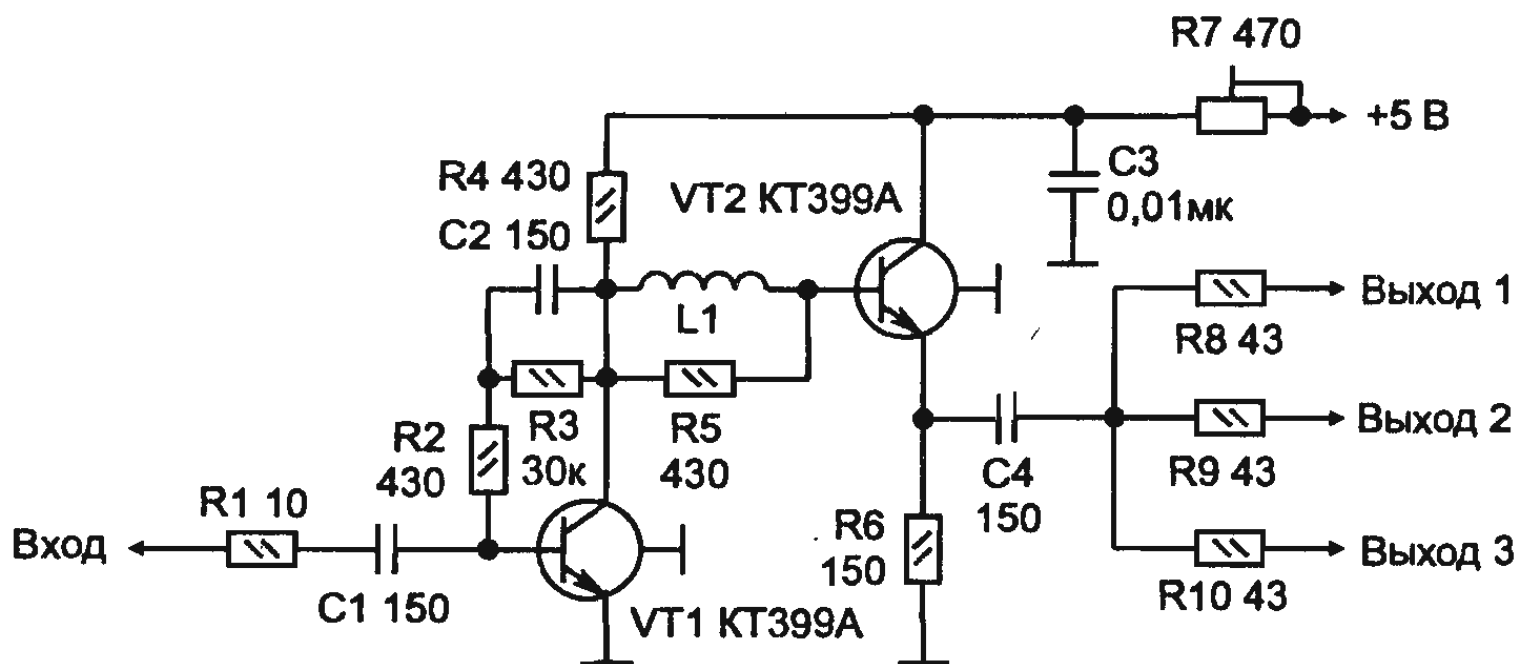


Рис. 10.30. Вариант ответвителя телевизионного сигнала

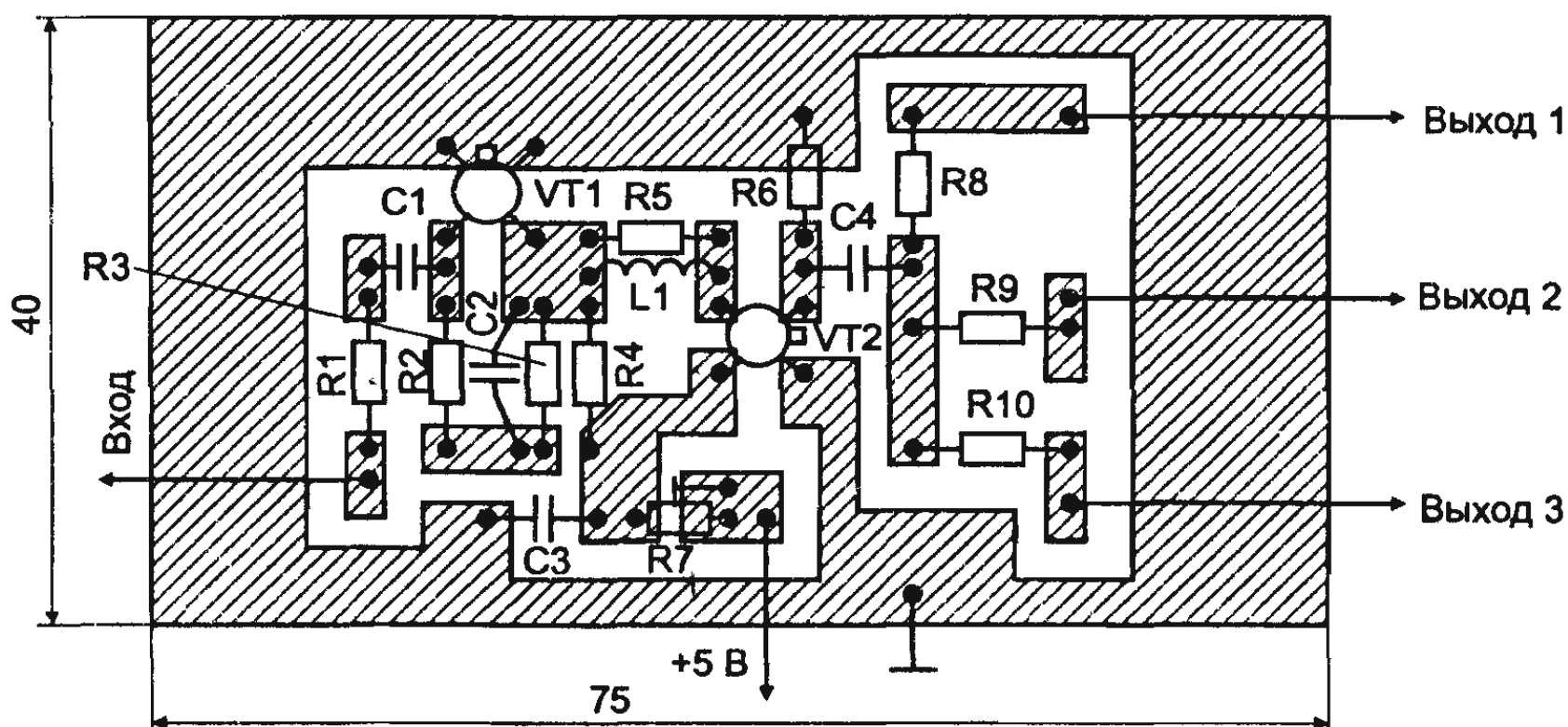


Рис. 10.31. Печатная плата варианта ответвителя телевизионного сигнала

сторях VT1, VT2 и резистивного разветвителя на резисторах R8—R10. Наличие усилителя обеспечивает дополнительное усиление сигнала примерно до 15 дБ на каждом из выходов сигнала. Кроме того, усиление можно регулировать в пределах 6...15 дБ подстроечным резистором R7, что позволяет в случае необходимости подобрать оптимальный уровень сигнала.

Усилитель обеспечивает полосу пропускания по уровню -3 дБ от 40 до 240 МГц. При уменьшении усиления полоса немного расширяется.

Чтобы не ухудшить качество изображения при слабых сигналах, в усилителе применены малошумящие транзисторы.

Детали ответвителя размещают на печатной плате (рис. 10.31) из двустороннего фольгированного текстолита. Монтаж ведут на одной стороне, без отверстий, вторую сторону используют как экран и соединяют через край платы в нескольких местах с общей шиной. Входной и выходные кабели закрепляют на плате с помощью скоб, а оплетки припаивают к общему проводу на плате.

Питание (от батареи, выпрямителя либо телевизора) к усилителю подводят по отдельному проводу, но если возникнет необходимость питать его через один из кабелей, выходной каскад придется переделать в соответствии с рис. 10.32. Резистор R7 в этом случае удобнее разместить в блоке питания.

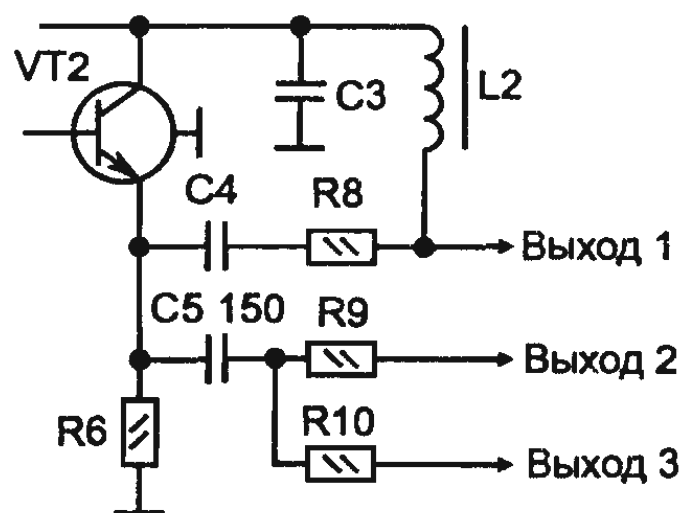


Рис. 10.32. Питание варианта ответвителя телевизионного сигнала через кабель

В устройстве можно применить следующие детали: транзисторы КТ399А, КТ368А, конденсаторы КЛС, КМ, резистор R7 — СПЗ-3, остальные МЛТ. Катушка L1 бескаркасная, она намотана проводом ПЭВ-2 0,4 на оправке из изоляционного материала диаметром 5 мм и содержит 4...5 витков. Катушка L2 — дроссель ДМ-0,4 индуктивностью 10...40 мкГ. Настройка сводится к получению требуемой АЧХ. Нижнюю границу при необходимости изменяют подбором конденсатора С4, верхнюю — подбором индуктивности катушки L1. Усилитель потребляет ток не более 12 мА.

10.8.5. Пассивный ответвитель ТВ сигнала

Для его изготовления требуются только резисторы, поэтому изготовить его значительно проще.

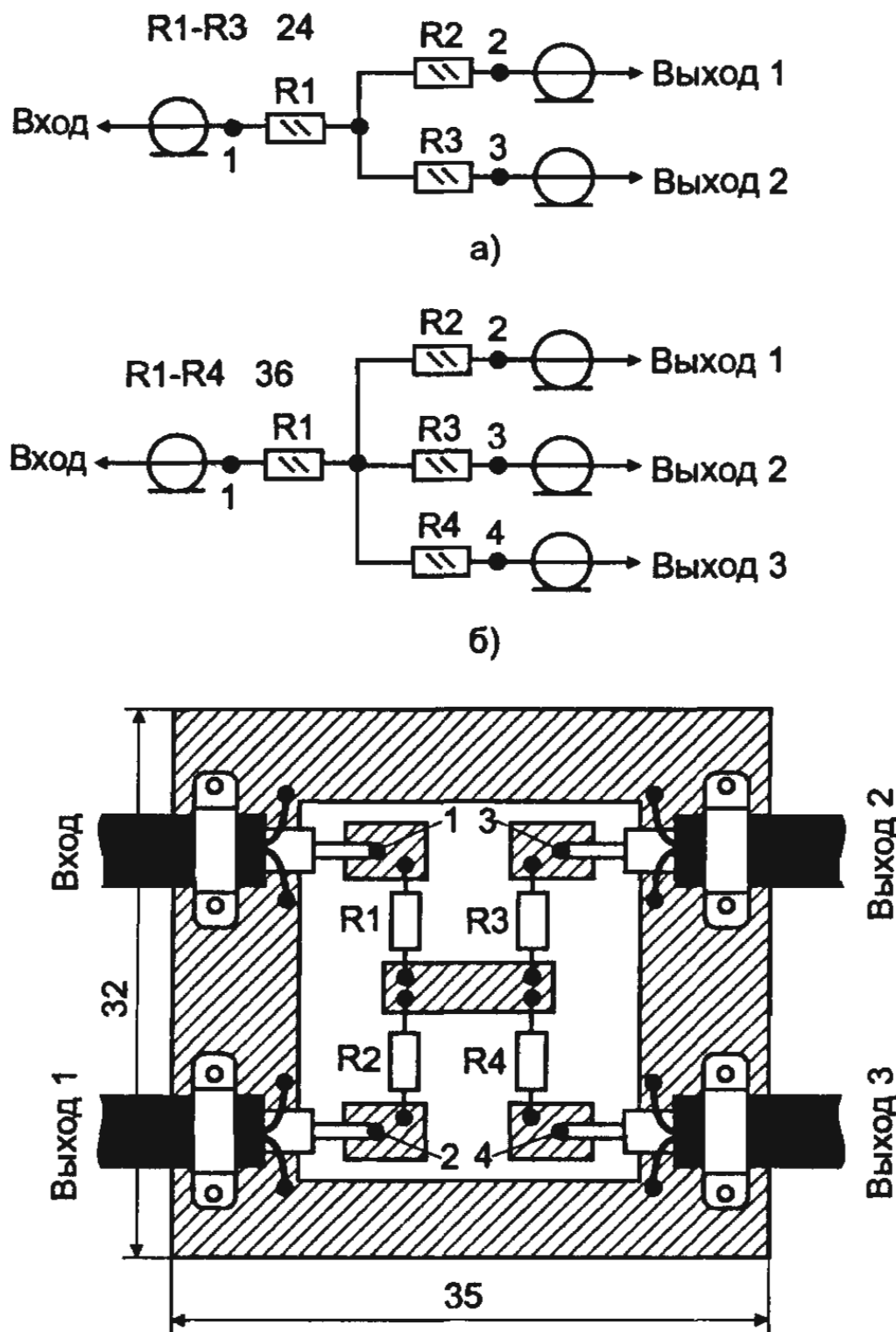


Рис. 10.33. Пассивный ответвитель телевизионного сигнала

На рис. 10.33 приведена схема подключения трех телевизионных приемников к одной антенне через простейшее согласующе-развязывающее устройство на резисторах. Таким же способом можно подключить любое число приемников (n). Однако надо учитывать, что с ростом их числа увеличивается и затухание сигнала.

Сопротивление согласующих резисторов (в нашем случае $R_n = R1 = R2 = R3 = R4$) связано с волновым сопротивлением фидера (чаще всего $r = 75 \text{ Ом}$) следующим соотношением:

$$R_n = \frac{n - 1}{n + 1} \rho.$$

Коэффициент передачи ответвителя обратно пропорционален числу ветвей развязки: $K = 1/n$.

Если какой-либо выход ответвителя не используется, то к нему необходимо подключить балластный резистор сопротивлением 75 Ом.

Вся конструкция должна быть заключена в экран, в крайнем случае подойдет и пластмассовый корпус; подключение коаксиальных кабелей осуществляется через высокочастотные разъемы.

10.8.6. Зигзагообразная антенна из магнитных дисков [33]

Сейчас, когда из магазинов исчезли алюминиевый профиль и трубки, а со свалок — отходы цветных металлов, радиолюбители делают свои антенны порой из самых неожиданных предметов. Соответственно и параметры таких антенн могут оказаться самыми неожиданными.

Автором [Радиолюбитель, 10/98] была исследована одна из таких конструкций, достаточно популярная — «восьмерка» из жестких дисков для устаревших накопителей ЕС ЭВМ (рис. 10.34). Электрически эта антенна представляет собой вариант зигзагообразной; судя по ее размерам и форме, она может хорошо работать во всем ДМВ-диапазоне.

Испытания на панорамном рефлектометре подтвердили, что антенна вполне удовлетворительно согласуется в диапазоне 21...50 каналов, однако на частотах 11—12 каналов ее КСВ оказался равен 18...20 (рис. 10.35, кривая 1). Сравнение «восьмерки» с другими типами антенн ДМВ показало, что по качеству получаемого

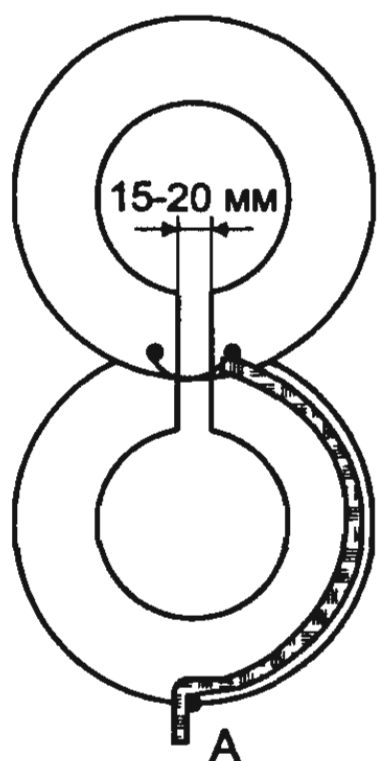


Рис. 10.34. Зигзагообразная антенна из магнитных дисков

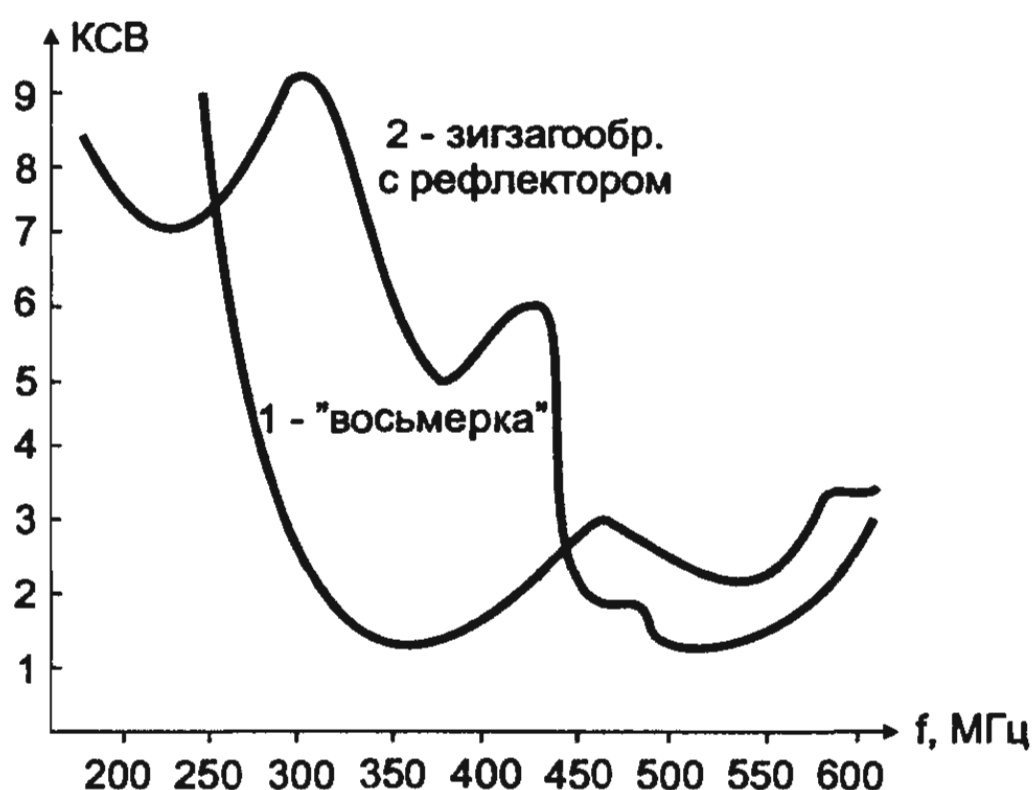


Рис. 10.35. Зависимость КСВ от частоты зигзагообразной антенны на магнитных дисках

изображения она превосходит одинарный диск, сопоставима с комнатной логопериодической антенной промышленного изготовления и уступает «тройному квадрату», но только в полосе его пропускания (5...8 каналов).

Несколько слов об особенностях монтажа и эксплуатации. Как показывают измерения КСВ, любой металлический предмет вблизи антенны увеличивает потери и ухудшает согласование. Особенно чувствительной в этом отношении оказалась вся зона пропила в дисках. На согласование влияет и укладка кабеля — он должен проходить по внешнему краю диска, по той его половине, к которой припаивается оплетка, причем обязательно прилегая к диску в самой нижней его точке «А».

Кабель удобно прикрепить нитками через заранее просверленные вдоль края диска отверстия диаметром 1,5...2 мм. Исследованная антенна имела пропил шириной 25 мм.

Также была испытана зигзагообразная антенна из колец-прокладок для жестких дисков с рефлектором из самого диска [34, рис. 3.1]. Вместо сетки центральное отверстие в диске-рефлекторе было заделано горизонтальными полосками. Полученная характеристика показана на рис. 10.35, кривая 2. Как видно из графика, данная антенна может работать на частоте 11...12 каналов, однако, судя по величине КСВ, эффективной работы в этом диапазоне ждать не стоит.

10.8.7. Простые радиомикрофоны [37]

Предлагаются три простые схемы радиомикрофонов. При испытаниях прием осуществлялся на УКВ-приемник китайского производства, настроенный на частоту 100 МГц и работающий со штыревой антенной длиной около 40 см.

В ходе экспериментов выяснилось, что необходимую девиацию частоты передатчика можно получить и без применения варикапов. Его схема показана на рис. 10.36. Такой радиомикрофон сохраняет работоспособность в диапазоне питающих напряжений 3...12 В. Следует, однако, учитывать, что при изменении напряжения питания будет наблюдаться и существенное изменение рабочей частоты. При напряжении питания 4,5 В радиомикрофон потребляет ток около 4 мА. Дальность его действия в открытом пространстве достигала 50...60 м. Акустическая чувствительность

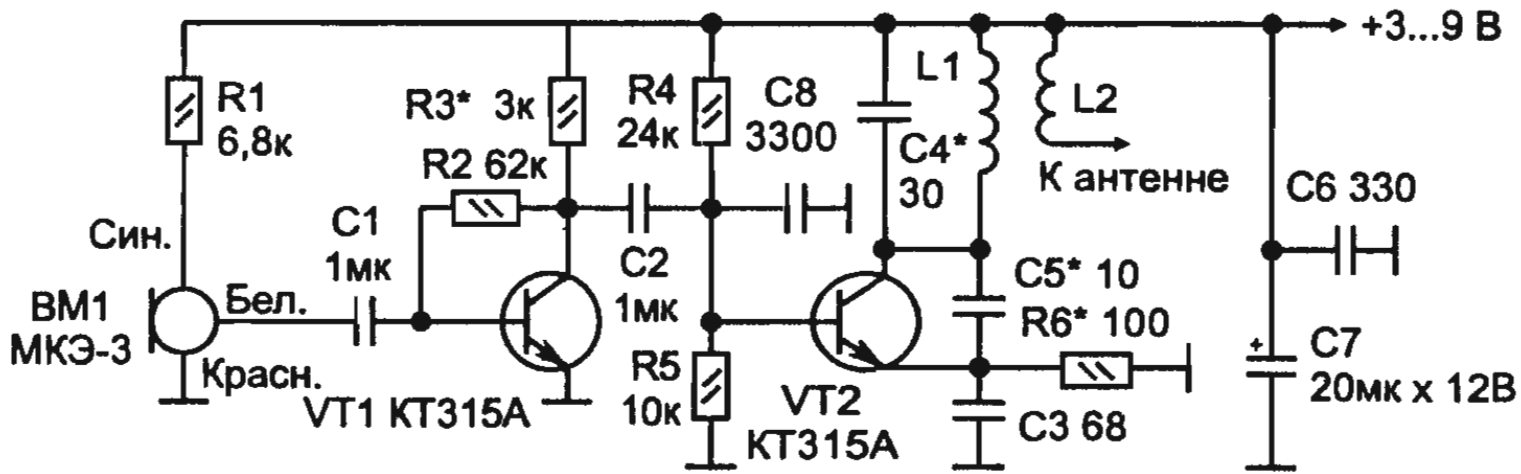


Рис. 10.36. Схема радиомикрофона на двух транзисторах

примененного микрофона МКЭ-3 обеспечивает нормальную работу устройства на расстоянии 3...4 м от говорящего человека.

Попытки упростить схему привели к созданию радиомикрофона всего на одном транзисторе (рис. 10.37). При напряжении питания 3 В он потребляет ток 1,5 мА и обеспечивает дальность действия 35...40 м при расстоянии от источника звука 10...15 см.

Оба микрофона почти не требуют налаживания (кроме установки рабочей частоты). Чтобы избавиться от ухода частоты из-за влияния руки оператора, микрофон необходимо поместить в металлический корпус или экран из фольги, соединенный с общим проводом. При тщательном подборе элементов удавалось добиться работы микрофонов от источника питания напряжением 1,5 В, однако она была крайне неустойчива. По этой причине пришлось собрать радиомикрофон на германиевых транзисторах (рис. 10.38). Он способен работать от источника напряжением 1,5...0,9 В, потребляемый ток при этом составлял 1 мА, а дальность действия равнялась 10...15 м при расстоянии 1 м от источника звука. Этот микрофон очень чувствителен к номиналам элементов и напряжению питания. Например, при попытке повысить последнее до 3 В транзистор

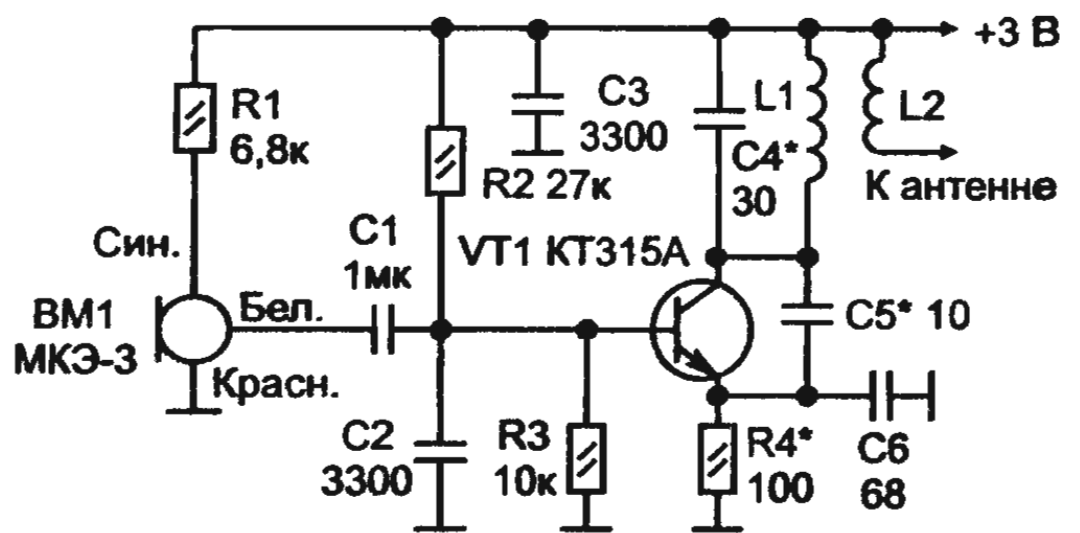


Рис. 10.37. Схема радиомикрофона на одном транзисторе

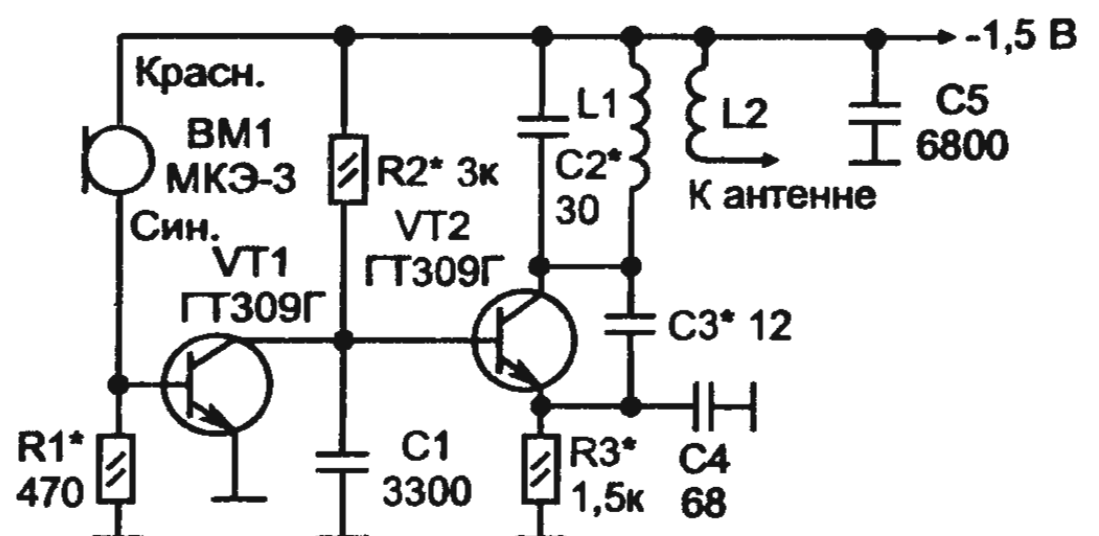


Рис. 10.38. Схема радиомикрофона на двух транзисторах с напряжением питания 1,5...0,9В

VT2 закрывался и микрофон не работал. Настроивая микрофон, следует подбором резистора R1 добиться, чтобы при напряжении питания 1,5 В ток эмиттера транзистора VT1 был около 0,3 мА. После такой настройки радиомикрофон сохраняет работоспособность при снижении питания до 0,9 В.

Катушки L1, L2 всех трех конструкций бескаркасные. Они намотаны на оправке диаметром 7 мм и содержат соответственно 6 и 2 витка посеребренного провода диаметром 0,5 мм. Катушка L2 размещена рядом с L1.

В передатчиках использовалась спирально-штыревая антенна, изготовленная из отрезка полиэтиленового стержня шариковой авторучки диаметром 3 и длиной 70...80 мм. На расстоянии 3...5 мм от конца трубки иглой следует сделать отверстие, в которое пропустить один из концов отрезка провода ПЭВ 0,15 длиной 165 мм. После изготовления антенны этот конец провода нужно припаять к катушке L2. Затем провод с некоторым натягом аккуратно намотать на стержень. Шаг намотки равен двум диаметрам используемого для намотки провода. Вторым концом провода закрепляют, надев на конец обмотки резиновое кольцо или отрезок виниловой трубки соответствующего диаметра.

Далее следует зафиксировать витки на стержне авторучки, промазав их клеем БФ-2. Штырь изготавливают из медного провода диаметром 1,5...2 и длиной 60...100 мм. Остается лишь подобрать отрезок виниловой трубки, который бы надевался на конец штыря и с небольшим усилием входил внутрь изготовленной спиральной катушки со стороны ее свободного конца, — и антенна готова.

Ее настройка сводится к перемещению штыря внутри катушки. Штырь фиксируют клеем или каким-либо другим способом.

10.9. ПОЛЕЗНЫЕ СОВЕТЫ

1. При соединении элементов токонесущих конструкций (в том числе и в антенно-фидерных устройствах) следует избегать контактирования металлов и сплавов, образующих недопустимые гальванические пары: алюминиевых сплавов — с медью, латунью, бронзой, оловом; цинка — с медью, латунью, бронзой; меди — с оловянно-свинцовыми сплавами, сталью нелегированной. Наличие такой гальванической пары приводит к коррозии в местах соединения. К примеру, нельзя приклепывать или крепить винтом к меди стальные лепестки (оцинкованные или неоцинкованные)

или поджимать медную жилу провода к медной трубе стальным винтом.

Допустимо, например, к вибратору антенны, изготовленному из стальной трубки, присоединить медную жилу коаксиального кабеля путем зажима ее под стальной оцинкованный винт с обязательным предварительным лужением конца медной жилы, соприкасающегося со сталью.

К вибратору, изготовленному из медной трубки, жилу коаксиального кабеля можно припаивать, а также поджимать медным (латунным) винтом или припаивать к медному лепестку, приклепанному к трубе. При этом медный лепесток в местах соприкосновения с медной трубкой не должен быть облужен, так как медь и оловянно-свинцовый припой образуют при контакте недопустимую гальваническую пару.

2. Практическое определение волнового сопротивления.

Определить волновое сопротивление линии передачи — будь то коаксиальный кабель или суррогатная линия передачи типа «пары» телефонной линии или «лапши», используемой для прокладки радио- или электросети, можно с использованием измерителя индуктивности и емкости или с помощью методов, позволяющих измерять эти величины.

Согласно общеизвестной из теории линий передач формуле волновое сопротивление любой линии передачи с малыми потерями можно определить как

$$Z_w = \sqrt{\frac{L}{C}},$$

где Z_w — волновое сопротивление линии (Ом);

L — индуктивность закороченной линии (Гн);

C — емкость разомкнутой линии (Ф).

Для проведения такого измерения необходимо измерить индуктивность закороченного куска линии длиной от 1 до 5 метров (при меньших и больших значениях длины погрешность измерения будет больше), а затем измерить емкость разомкнутой на конце линии. Найденное с помощью такого измерения и расчета волновое сопротивление линии очень близко к ее действительному значению.

Результаты экспериментов показывают, что волновое сопротивление большинства экранированных микрофонных шнуров лежит в пределах 40...70 Ом, «радиолапши» — 400...600 Ом, «электролапши» — 300...400 Ом, сетевых шнуров питания — 30...60 Ом, телефонной «пары» — 70...100 Ом.

Глава 11

Распространение радиоволн

Радиоволны, излученные антенной, представляют собой электрические и магнитные поля, меняющиеся во времени. Скорость распространения радиоволн в свободном пространстве составляет $3 \cdot 10^8$ м/с. Длина волны λ [м] и частота f [МГц] связаны между собой соотношением:

$$\lambda = 300/f,$$

которым удобно пользоваться на практике.

Радиовещательные станции работают в диапазонах километровых (30...300 кГц), гектаметровых (300 кГц-3 МГц), декаметровых (3-30 МГц) и метровых (30...300 МГц) радиоволн.

Телевизионное вещание ведется в диапазонах метровых и дециметровых (300-3000 МГц) радиоволн.

Диапазон частот, принимаемых приемниками звукового вещания, условно разбит на участки: ДВ — 148...285 кГц (2027...1050 м), СВ — 525...1607 кГц (571,4...186,7 м), КВ — 3,95...26,1 МГц (75,9...11,49 м), УКВ — 65,8...74 МГц (4,56...4,06 м), FM — 87,5...108 МГц (3,4...2,78 м).

Диапазон КВ разбит на поддиапазоны:

3,95...4,0 МГц — (поддиапазон 75 м);

5,95...6,20 МГц — (49 м);

7,16...7,36 МГц — (41 м);

9,500...9,775 МГц — (31 м);

11,700...11,975 МГц — (25 м);

15,10...15,45 МГц — (19 м);

17,7...17,9 МГц — (16 м);

21,45...21,75 МГц — (13 м);

25,6...26,1 МГц — (11 м).

В диапазонах ДВ, СВ и КВ радиовещание ведется с использованием амплитудной модуляции, а в диапазоне УКВ и FM — с использованием частотной.

Радиосвязь может осуществляться с помощью поверхностных и пространственных радиоволн (рис. 11.1). Поверхностная волна распространяется вдоль земной поверхности. Благодаря дифракции она огибает неровности земного шара (горы, здания и т. д.) и распространяется на расстояния, превышающие дальность прямой видимости.

Дифракцией радиоволн называют явления, возникающие при встрече радиоволн с препятствиями, когда волна огибает препятствие, отклоняясь от прямолинейного пути.

Чем ниже частота сигнала, тем больше дальность распространения поверхностной волны.

Пространственная волна распространяется путем однократных или многократных отражений от ионосферы и земли.

В диапазоне ДВ устойчивый прием ведется на расстояниях до 2500...3000 км за счет распространения поверхностной волны. Качество приема мало зависит от времени суток и года. Но в этом диапазоне имеется высокий уровень атмосферных и промышленных помех. В этом диапазоне частот можно разместить мало радиостанций, поэтому радиопередатчики модулируют узким диапазоном частот (большой частью до 7 кГц) и используют их в основном для речевого вещания. Передача музыки в диапазоне ДВ отличается невысоким качеством (в основном за счет ослабления верхних частот спектра).

В диапазоне СВ расположено большое количество радиостанций, хотя качество музыкальных передач и здесь относительно невысокое (полоса частот модуляции не более 10 кГц). За счет поверхностной волны удастся обеспечить надежный прием до 1000 км; в темное время суток прием существенно улучшается за счет отраженных от ионосферы (пространственных) радиоволн. Кроме того, прием улучшается в зимние месяцы из-за уменьшения поглощения радиоволн земной поверхностью (увеличивается проводимость почвы). Но в этом диапазоне волн имеют место замирания сигнала. На расстояниях, где в течение круглых суток доминирует поле поверхностной волны, вообще замирания отсутствуют. Далее расположена зона ближних замираний, где с наступ-

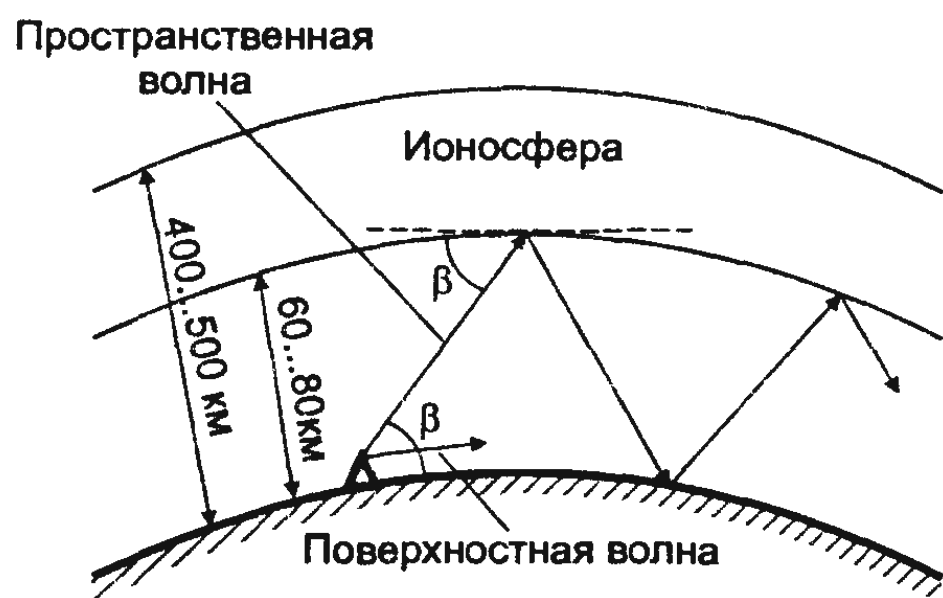


Рис. 11.1. Изображение поверхностных и пространственных волн

лением темноты принимаемое поле является результатом интерференции соизмеримых по амплитуде поверхностной и пространственной волн. Последняя вследствие нерегулярных флуктуаций в ионосфере непрерывно изменяет свою фазу.

Интерференция радиоволн это явление взаимного наложения радиоволн, проходящих в точку приема по разным путям. Если амплитуды радиоволн, проходящих по двум путям различной длины, одинаковы, то при совпадающих фазах результирующее поле удваивается, при противоположных фазах — равно нулю.

В этой зоне наблюдаются замирания не только интерференционного, но и поляризационного происхождения (о поляризации радиоволн см. главу 10). Наиболее резко замирания выражены в более коротковолновой части диапазона СВ из-за больших случайных фазовых изменений интерферирующих волн.

В диапазоне КВ поверхностные волны сильно поглощаются почвой. Поэтому надежный прием в любое время суток обеспечивается только на небольших расстояниях примерно до 100 км. КВ имеют ограниченное применение для вещания ввиду большой загруженности этого диапазона, высокого уровня помех от радиостанций и относительно низкого качества КВ-канала (глубокие и частые замирания). Наиболее типично применение КВ для вещания на труднодоступные удаленные районы, когда системы вещания на УКВ, СВ и ДВ оказываются непригодными из-за ограниченного радиуса действия. Вещание на КВ предусматривает обслуживание заданной территории с помощью отраженных от ионосферы (пространственных) волн. Электронная плотность ионосферы меняется в зависимости от времени суток и сезона, и замирания на КВ имеют интерференционное и поляризационное происхождение. Днем хорошо принимаются радиостанции, работающие на более коротких волнах (в поддиапазоне 25 м и меньше), а ночью условия приема оптимальны для поддиапазонов 75...31 м.

Передатчики в КВ-диапазоне обычно модулируются в диапазоне звуковых частот, обеспечивающем качество лишь речевых передач.

В УКВ и FM-диапазонах ведется, как правило, художественное вещание. Применение частотной модуляции и относительно низкий уровень помех позволяют получить в этих диапазонах высококачественный радиоприем. Этим и объясняется применение стереофонического вещания в УКВ и FM-диапазонах, который, кроме того, позволяет выделить для вещательных радиостанций

широкую полосу частот (в странах СНГ, например, стереофоническое вещание занимает полосу частот примерно 140 кГц).

Из-за малой длины волны радиоволны этого диапазона распространяются только на расстояние прямой видимости между антеннами. Если на пути распространения имеется препятствие, будь то лес, здание или холм, напряженность электромагнитного поля резко убывает. Естественно, возникает вопрос — где граница прямой видимости? Ответить на этот вопрос нетрудно: в том случае, если местность, над которой распространяются волны, представляет собой гладкую сферическую поверхность, например, море, степь и т. п., расстояние, где наступит предел прямой видимости, равно:

$$R_{\text{пр}} = 3,57(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}), \text{ км,}$$

где h_1 — высота передающей антенны в м; h_2 — высота приемной антенны в м.

Для наглядности на рис. 11.2 показаны условия приема на трех кораблях. Корабль в пункте А ведет уверенный прием в зоне прямой видимости, корабль в пункте В — на границе этой зоны. Антенна корабля в пункте С находится за пределами прямой видимости, в зоне «тени». Гораздо сложнее определить зону уверенного приема на пересеченной местности. Представьте себе, что перед вами имеется модель рельефа местности вокруг передающей станции (скажем, телецентра). Если теперь в точку, где должна находиться передающая антенна, поместить миниатюрную осветительную лампочку, то устойчивый прием будет там, где виден свет этой лампочки. В реальных условиях при малых затенениях лампочки будет какой-то прием, потому что УКВ обладают большей способностью огибать препятствия по сравнению со световыми волнами (так как у них длина волны больше, чем у света).

Земная поверхность существенно влияет на напряженность поля в месте приема. Если антенны приподняты над гладкой пло-

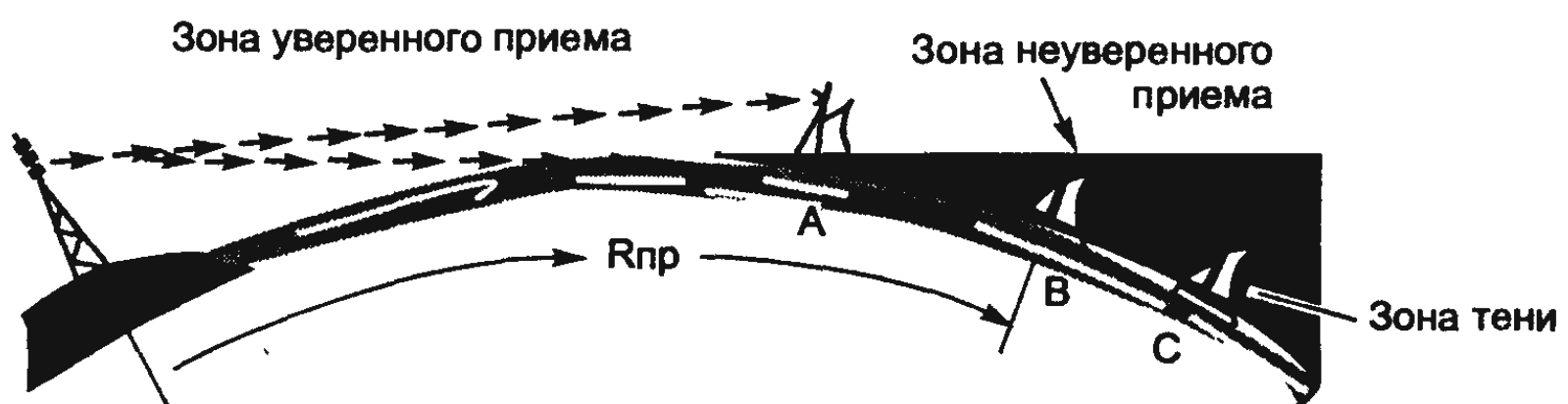


Рис. 11.2. Наглядная демонстрация распространения УКВ

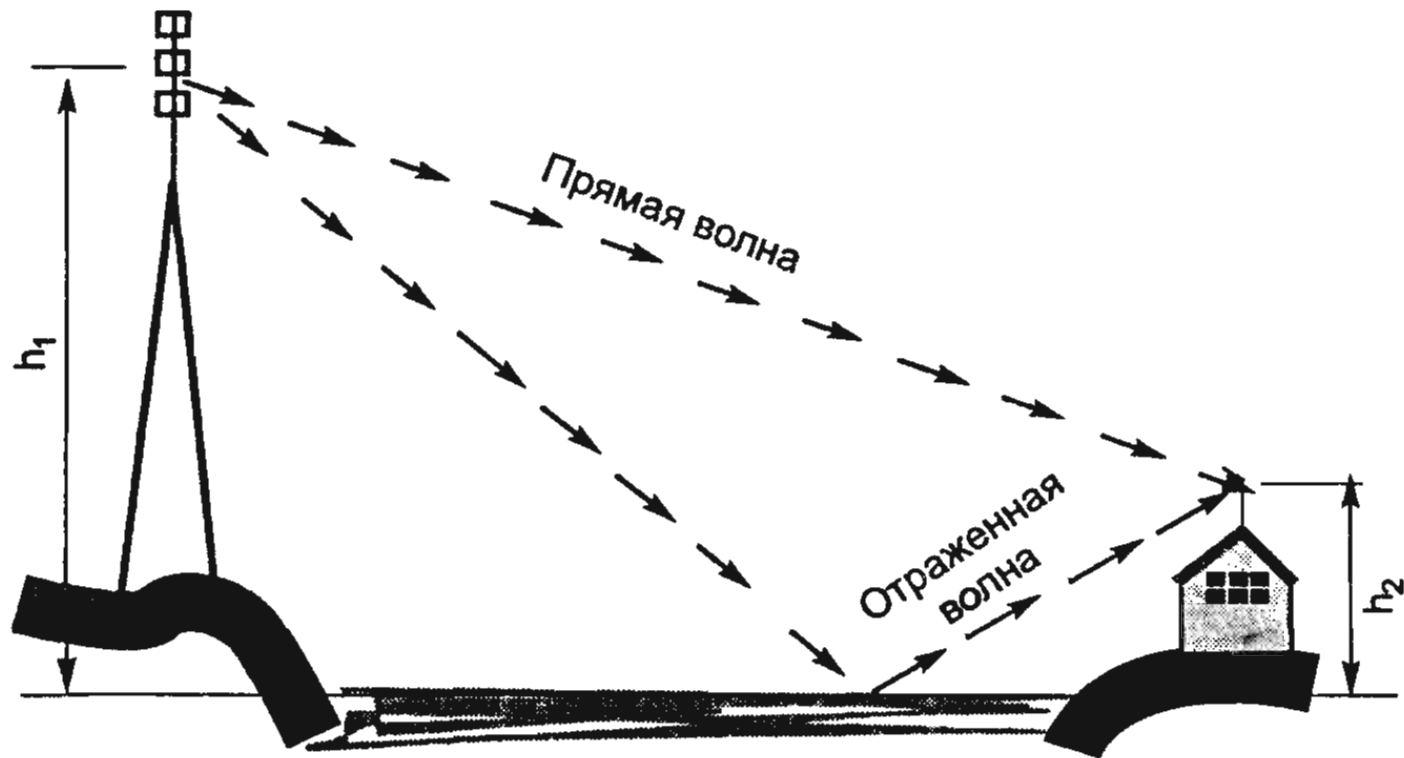


Рис. 11.3. Длина пути прямой и отраженной волн различны

ской поверхностью земли, то последняя отражает радиоволны подобно тому, как зеркало отражает свет. К приемной антенне приходят две волны (рис. 11.3) — прямая и отраженная. Длина пути этих волн различна, следовательно, будут различны и их фазы. Если волны приходят к приемной антенне в одной и той же фазе, то напряженность поля достигает наибольшего значения. Наименьшее значение получается в случае прихода волн в противофазе (вспомните трансформатор: если две вторичные обмотки соединить согласно, т. е. конец первой обмотки соединить с началом второй обмотки, то напряжение на них будет равно сумме напряжений на отдельных обмотках. Если же обмотки соединить встречно, т. е. начало первой обмотки соединить с началом второй обмотки, то результирующее напряжение будет равно разности напряжений на этих обмотках). В результате по мере удаления от передатчика напряженность поля то возрастает, то резко падает, и лишь начиная с некоторого расстояния, убывает плавно. На метровых волнах при небольшой высоте приемной антенны плавное спадание поля начинается уже на расстоянии нескольких километров от передатчика.

Наибольший интерес представляет распространение УКВ и FM над неровной поверхностью (покрытой горами, оврагами, лесами, строениями и т. п.). Над такой местностью отраженный от земли луч будет в месте приема ослаблен, так как земная поверхность представляет собой уже «кривое зеркало». Помимо этого луча в точку приема могут приходиться волны, отраженные от соседних высоких зданий и гор. Над неровной поверхностью зависимость напряженности поля от расстояния и высоты неопределенна и почти не зависит от длины волны.

Характер влияния местности можно себе представить, глядя на рис. 11.4,а, где показан реальный профиль местности перед телецентром и результат измерений напряженности поля на этой местности (сплошная кривая на рис. 11.4,б). В начале трассы местность ровная и напряженность поля убывает плавно так же, как над плоской поверхностью (ср. сплошную и пунктирную кривую). На расстоянии 8 км местность приподнята и напряженность поля растет. За холмом напряженность поля резко падает, это — область тени. За следующим холмом напряженность поля немного выше, чем поле, которое должно быть над плоской поверхностью. Это объясняется тем, что данный холм благодаря своим определенным геометрическим размерам «работает» как ретранслятор. Падающие на него волны он переизлучает во все стороны, в том числе и в область тени.

Первый признак приема УКВ и FM за пределами прямой видимости — неустойчивый уровень сигнала. Он подтвержен в этой зоне замираниям, продолжительность и глубина может быть самой различной. Распространение УКВ и FM здесь почти полностью зависит от электрических свойств атмосферы. Поскольку ее состояние часто неустойчиво, то и принимаемый сигнал будет неустойчив, изменяясь в сложной зависимости от погоды. За пределами прямой видимости имеется некоторое электромагнитное поле за счет огибания (дифракции) земной поверхности радиоволнами. Однако напряженность такого поля быстро уменьшается по мере увеличения расстояния, и тем быстрее, чем короче волна. При высоте приемной антенны 10...20 м напряженность дифрак-

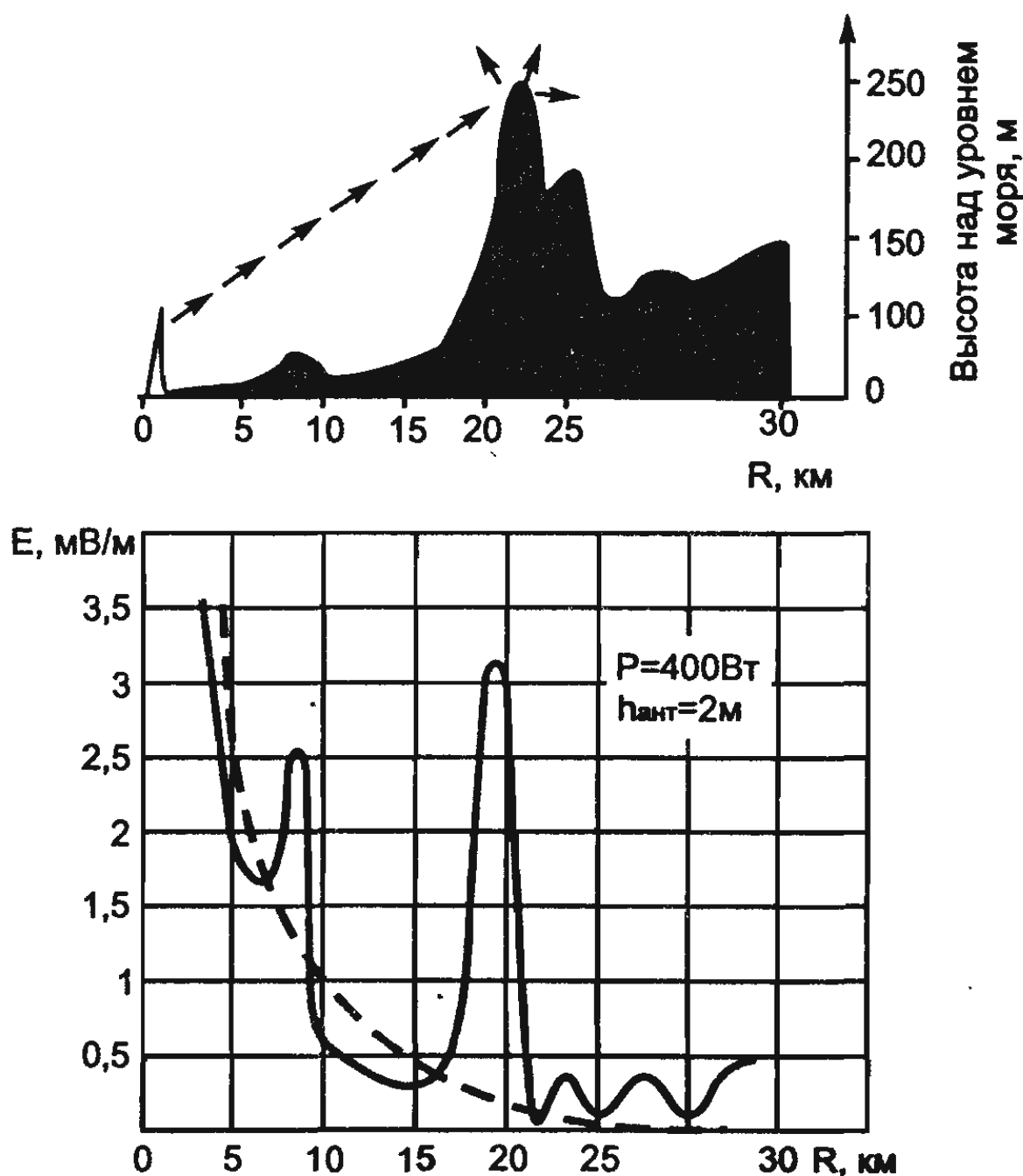


Рис. 11.4. а) Характер влияния местности на распространение УКВ; б) изменение уровня напряженности поля от расстояния для этой горной местности

При высоте приемной антенны 10...20 м напряженность дифрак-

ционного поля на расстояниях свыше 100...150 км пренебрежимо мала по сравнению с напряженностью поля, полученной благодаря дальнему тропосферному распространению УКВ и FM.

Тропосферой называют область атмосферы до высоты 10 км. Она характерна тем, что в ней по мере увеличения высоты, как правило, наблюдается понижение температуры, давления и влажности. Диэлектрическая проницаемость воздуха находится в зависимости от этих параметров и также уменьшается с высотой. Кроме того, в тропосфере наблюдаются отдельные неоднородности с диэлектрической проницаемостью, отличающейся от диэлектрической проницаемости окружающего воздуха, например, облака.

Картину обычного распространения УКВ в тропосфере можно представить по рис. 11.5,а и 11.5,б. На рис. 11.5,а показано преломление траектории волны (рефракция), которое возникает из-за то-



Рис. 11.5,а. Рефракция УКВ в тропосфере

го, что скорость фронта волны в верхних слоях воздуха оказывается больше, чем у поверхности земли. Благодаря этому зона прямой видимости расширяется на 20%. Из-за рассеивания и отражения волн метрового диапазона, происходящего на неоднородностях тропосферы (рис. 11.5,б), в точку приема приходит ряд волн со случайной фазой и амплитудой, в результате чего возникают замирания сигнала. Практически вся излучаемая энергия волн метрового диапазона проникает через толщину тропосферы и не возвращается на землю.



Рис. 11.5,б. Пояснение замираний сигнала за счет отражения волн на неоднородностях тропосферы

го, что скорость фронта волны в верхних слоях воздуха оказывается больше, чем у поверхности земли. Благодаря этому зона прямой видимости расширяется на 20%. Из-за рассеивания и отражения волн метрового диапазона, происходящего на неоднородностях тропосферы (рис. 11.5,б), в

Особо следует остановиться на распространении УКВ и FM в городах и обратить внимание на две особенности: повышенное ослабление поля по сравнению с открытой местностью и большая неоднородность напряженности поля в различных точках наблюдения, особенно внутри домов. Так, внутри здания на 7-ом этаже в разных условиях поле может составлять от 6 до 40% от напряженности поля над крышей, а в аналогичных условиях на 1 этаже — от 3 до 7%.

Большая неоднородность поля в различных точках приема обусловлена

интерференцией большого числа волн, отраженных от различных препятствий в пределах города. Уровень отраженных сигналов может составлять 50-60% от прямого сигнала, что обуславливает значительные искажения передаваемого изображения в телевидении (многоконтурность). Наличие отраженных волн приводит также к изменению поляризации первичного поля. Так, если передающая антенна излучала волны с горизонтальной поляризацией (телевизионный прием), то при приеме в городских условиях обнаруживается вертикальная составляющая, уровень которой в среднем составляет 30% от уровня горизонтальной составляющей.

Глава 12

Занимательные задачи и кроссворды по радиоэлектронике

ЗНАЕТЕ ЛИ ВЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКУ?

Занимательные задачи

1. ЧТО В БЛОКЕ?

При подключении омметра на рис. 12.1,а он показывает сопротивление 10 кОм, а на рис. 12.1,б — 20 кОм. Какие элементы заключены в этом блоке и как они соединены?

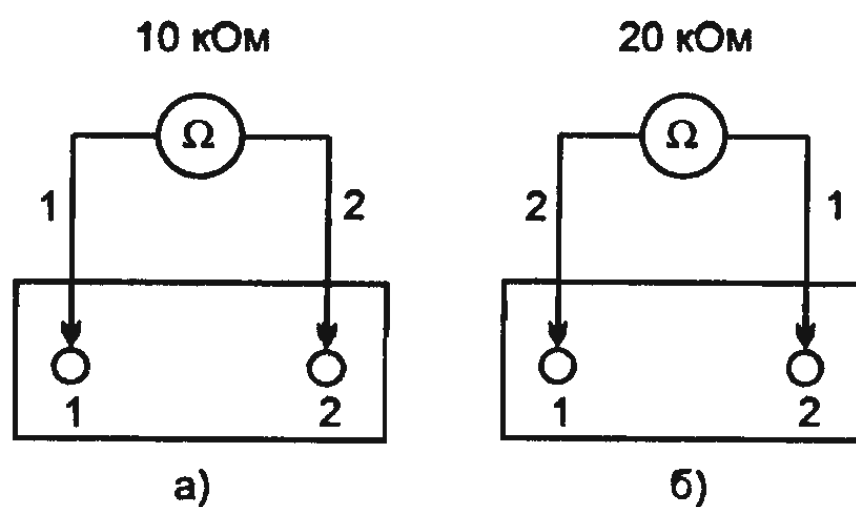


Рис. 12.1. Какие элементы заключены в этом блоке и как они соединены?

2. ВОПРОС НАЧИНАЮЩИМ

Два прямоугольных стальных стержня, магнитный и обычный, имеют одинаковые внешний вид, размеры и форму. Как определить, какой из них магнит, не пользуясь никакими другими предметами?

3. «ЧЕРНЫЙ ЯЩИК»

На рис. 12.2,а и рис. 12.2,б вы видите «черный ящик», на крышке которого имеются четыре клеммы. В обоих случаях клеммы 1 и 2 включены в сеть переменного тока, а клеммы 3 и 4 на рис. 12.2,а разомкнуты, а на рис.рис. 12.2,б — замкнуты накорот-

ко. Амперметр, включенный со стороны сети, в первом случае показывает 20 А, а во втором — 6,7 А. Какие элементы скрыты внутри ящика и как они соединены между собой?

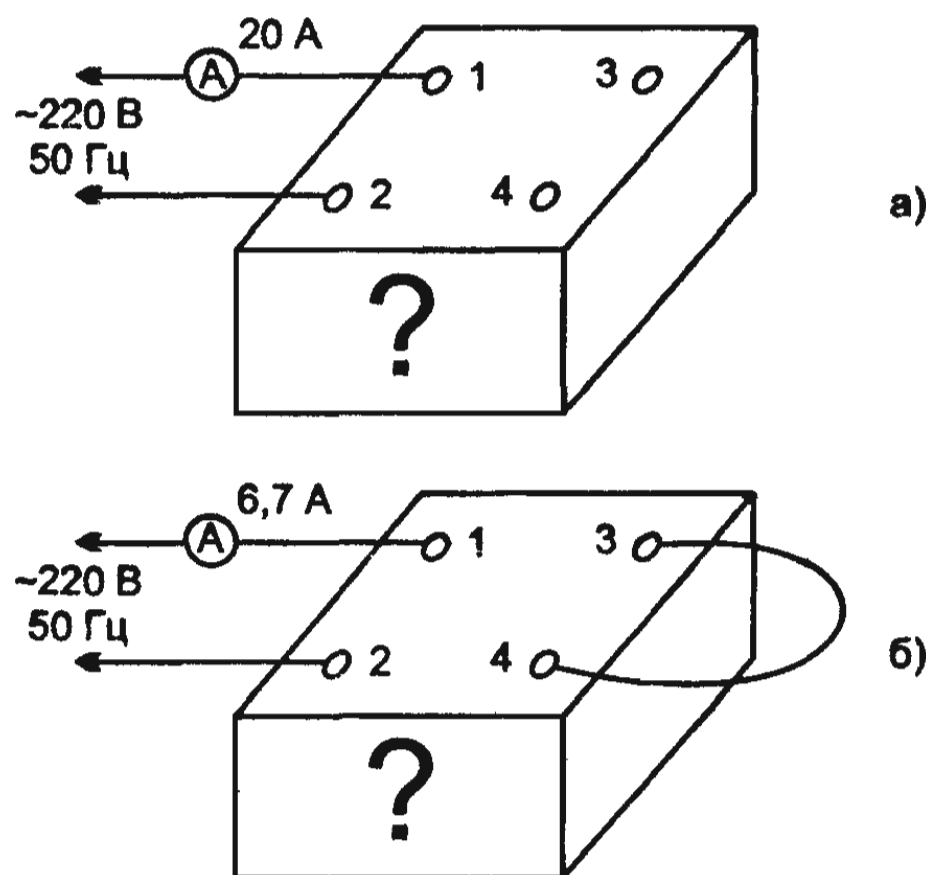


Рис. 12.2. Какие элементы внутри «черного ящика» и как они соединены между собой?

4. КАКОЕ НАПРЯЖЕНИЕ НА КОНДЕНСАТОРАХ?

Три конденсатора, каждый из которых заряжен первоначально до указанного на схеме напряжения рис. 12.3, соединены последовательно с резистором R_1 сопротивлением 1 кОм и выключателем SA1. Определите установившееся напряжение на каждом конденсаторе после замыкания выключателя.

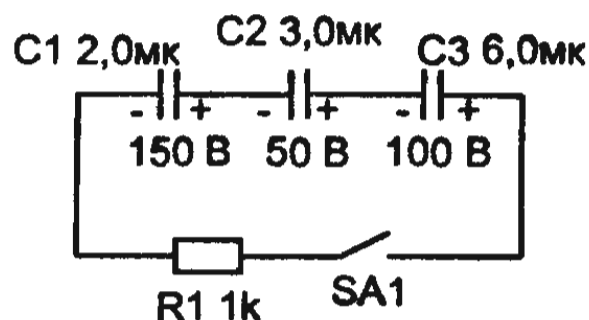


Рис. 12.3. Чему равно напряжение на каждом конденсаторе после замыкания выключателя?

5. КТО И КОГДА?

а) Кто и когда первым установил, что скорость распространения электромагнитных волн конечна и составляет 300 000 км/с?

б) Кто и когда впервые установил радиосвязь между космосом и Землей?

6. Когда А. С. Попов демонстрировал свой приемник?

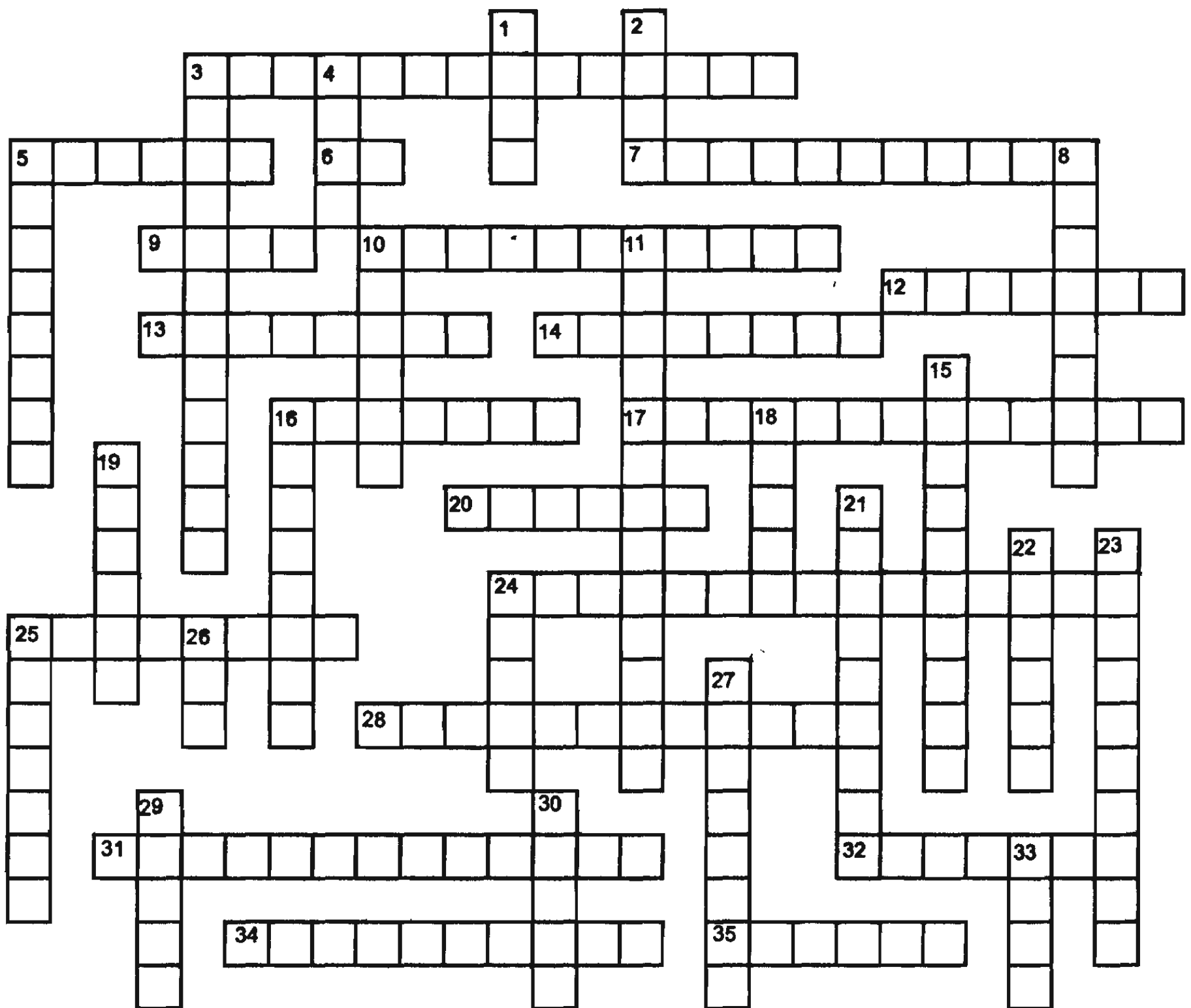
7. Кто и когда изобрел триод?

8. Кем и когда был изобретен транзистор?

9. Когда целесообразно применять радиолампы вместо транзисторов?

10. Когда телевизор подключен в сеть напряжением 220 В, то используют предохранитель, рассчитанный на силу тока 3 А, а если напряжение сети 127 В, то предохранитель используют на 5 А. Чем это объяснить?

11. Кроссворд №1 «Радиоэлектроника».



По горизонтали:

3. Деталь электронного аппарата, предохраняющая его от перегрузок и коротких замыканий.

5. Устройство с гнездами для включения электронной лампы в приемник.

6. Единица электрического сопротивления в системе СИ.
7. Деталь электронного аппарата, состоящая из двух металлических пластин, между которыми помещен диэлектрик.
9. Вывод полупроводникового диода.
10. Часть, из которых складывается диапазон принимаемых приемником радиоволн.
12. Отношение числа полных циклов какого-либо периодического процесса к промежутку времени, в течение которого совершается это число циклов.
13. Условные сигналы, присваиваемые радиостанции, которые позволяют отличить ее от других радиостанций.
14. Катушка индуктивности, которая состоит из проводника спиральной намотки, при этом ее длина значительно больше диаметра.
16. Устройство, применяемое при проверке исправности деталей и монтажа электронных аппаратов.
17. Способность экрана электронно-лучевой трубки светится некоторое время после того, как на него прекратили подавать напряжение.
20. Металлическая проволока в изоляции, служащая для передачи электрической энергии.
24. Элемент радиоприемника, в котором происходит преобразование принимаемых радиоволн высокой частоты в колебания промежуточной частоты.
25. Деталь конденсатора переменной емкости.
28. Скалярная характеристика электрического поля (единица измерения в СИ-вольт).
31. Неотъемлемая часть составного катода электронной лампы.
32. Элемент электрической цепи, предназначенный для использования в качестве индуктивности, который состоит из проводника спиральной намотки.
34. Диэлектрик, применяемый в электротехнике и радиотехнике.
35. Прибор для измерения сопротивления резисторов.

По вертикали:

1. Единица мощности в системе СИ.
2. Вывод полевого транзистора.
3. Определение направления, в котором находится передающая радиостанция.
4. Полупроводниковый прибор.
5. Элементарная частица, имеющая положительный заряд, равный по величине заряду электрона, и массу, равную массе электрона.
8. Явление резкого возрастания амплитуды вынужденных колебаний системы при приближении частоты вынуждающей силы к собственной частоте колебаний системы.
10. Радиолампа с пятью электродами.

11. Вещество, характеризующееся значением электропроводности, промежуточным между металлами и диэлектриками.

15. Радиотехническое устройство для генерирования электрических колебаний несущей частоты, модуляции этих колебаний и передачи их в антенну.

16. Радиотехническое устройство для выделения, усиления и преобразования полезного радиосигнала определенной полосы частот из всей совокупности радиосигналов, действующих на его входе.

18. Искусственный источник света, широко применяемый в быту.

19. Степень усиления в радиоприемнике.

21. Вещество, обладающее значительной электропроводностью.

22. Интервал времени, через который повторяются мгновенные значения периодического сигнала или процесса.

23. Вырезанная определенным образом из кристаллического кварца пластина, способная совершать механические колебания под действием переменных электрических полей.

25. Величина, характеризующая какое-либо свойство или состояние процесса, явления системы, изделия или технического устройства.

26. Звук определенной высоты.

27. Электронный прибор для усиления и генерирования сверхвысоко-частотных электромагнитных колебаний.

29. Проводник, с помощью которого источник электрического тока соединяется с электрической цепью.

30. Единица индуктивности и взаимоиндуктивности в системе СИ.

33. Добавочный резистор, подключаемый параллельно электроизмерительному прибору или участку электрической цепи.

12. Кроссворд №2 «Радиоэлектроника».

По горизонтали:

1. Включенные в электрическую цепь потребители.

3. Неотъемлемая часть громкоговорителя.

8. Пятиэлектродная электронная лампа.

9. Устройство, преобразующее любой параметр в электрическое напряжение и таким образом регистрирующее этот параметр.

11. Процесс соединения деталей, используемый при сборке радиоэлектронных схем.

12. Электронная трехэлектродная лампа.

18. Устройство, преобразующее переменный ток одного напряжения в ток другого напряжения.

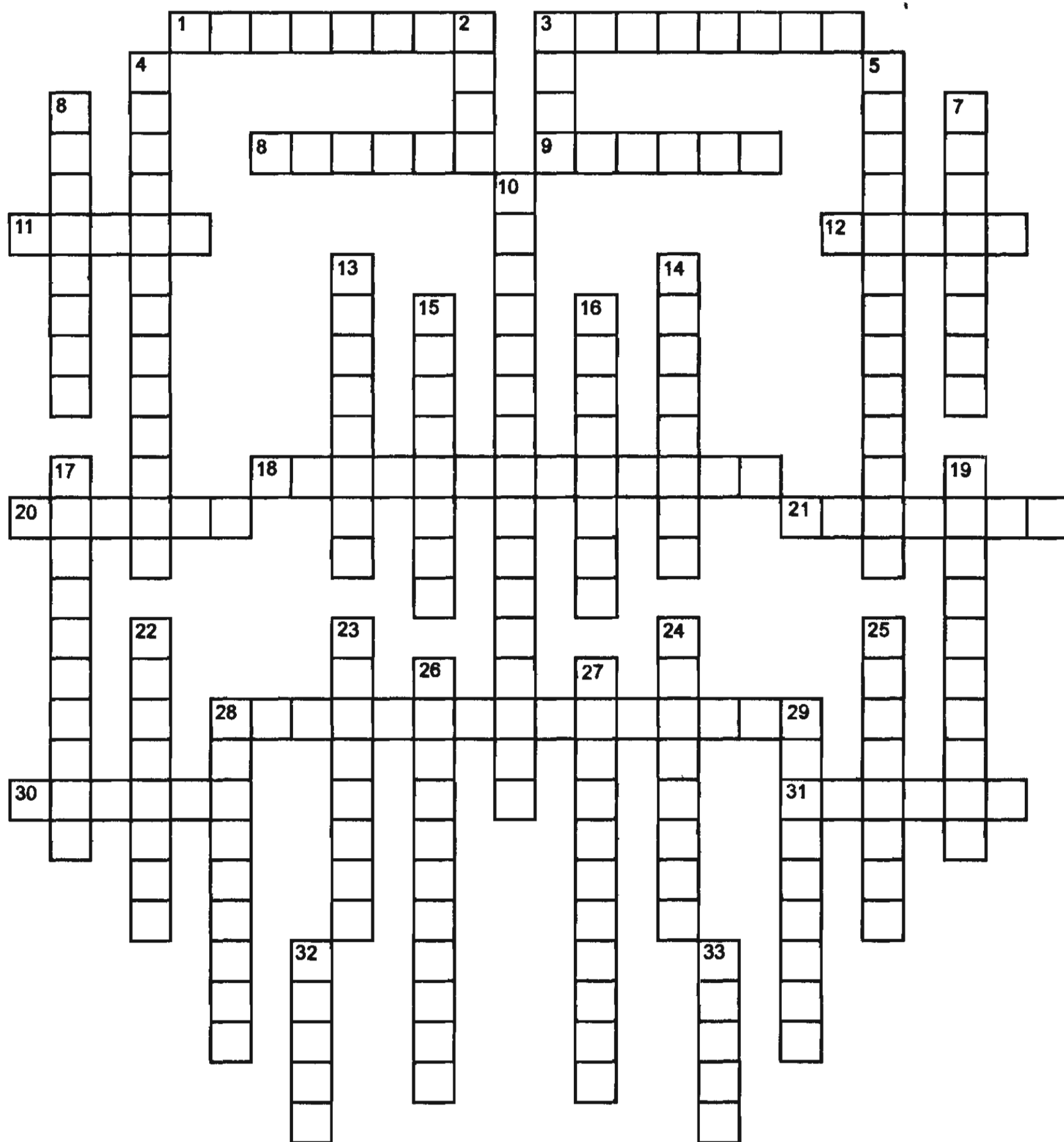
20. Сборка радиоэлектронных устройств.

21. Линия, которой следует форма некоторых радиоантенн.

28. Материал, широко применяемый радиолюбителями для изготовления стенов, плат при монтаже радиоэлектронных устройств.

30. Радиотехническая цепь.

31. Степень усиления в приемнике.



По вертикали:

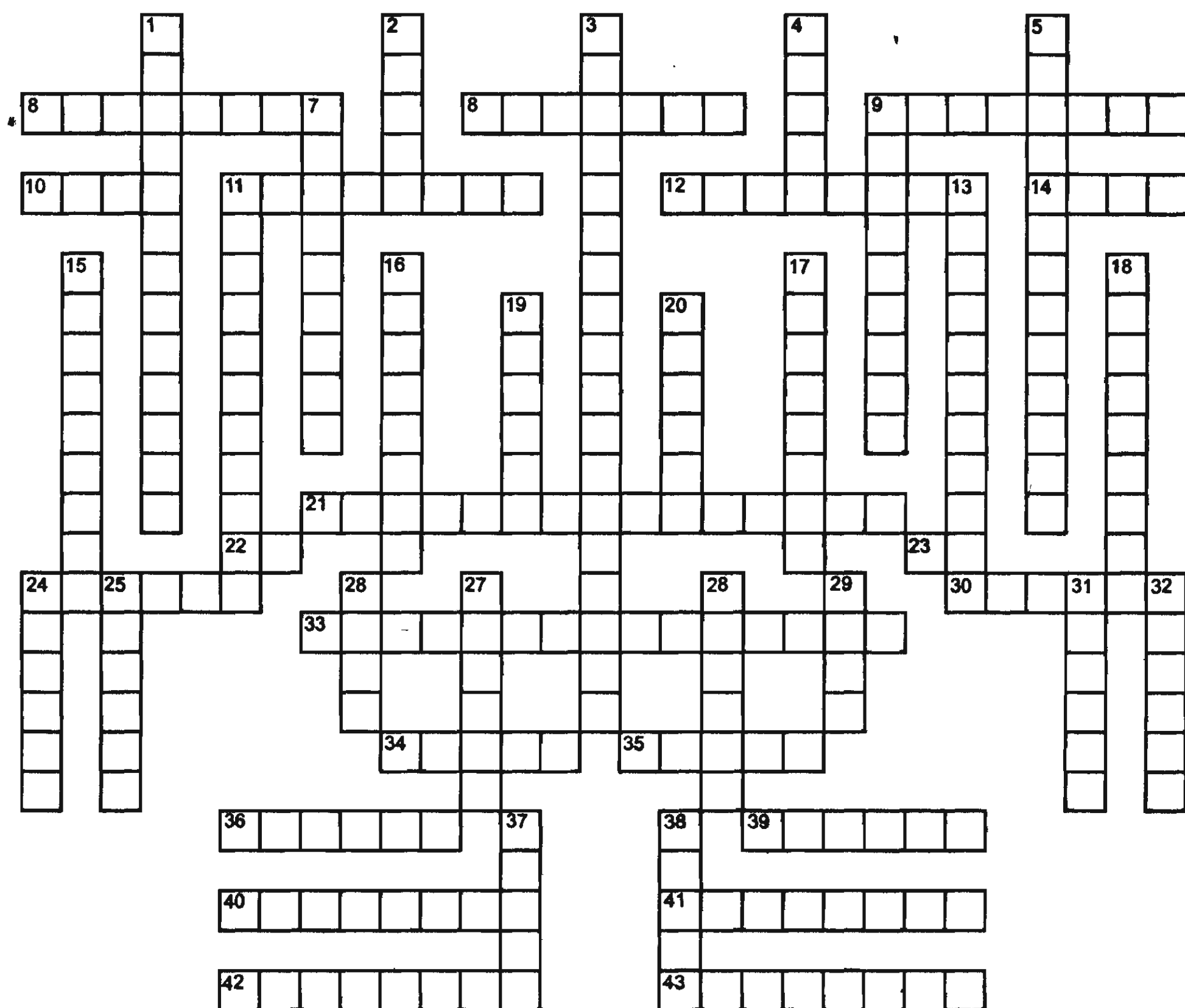
2. Электрод электронной лампы.
3. Двухэлектродный прибор с односторонней электрической проводимостью.
4. Электромагнитный параметр, характеризующий колебательный контур.
5. Процесс возбуждения колебаний генератором.
6. Трех- или многоэлектродный газонаполненный прибор.
7. Двухэлектродный ионный (газоразрядный) прибор, наполненный инертным газом или ртутными парами.
10. Источник звука для больших помещений, пространств.
13. Материал, широко используемый для изготовления стенов и устройств, на которых монтируются радиоэлектронные приборы и детали.

14. Полупроводниковый или электровакуумный диод, преобразующий модулированные колебания.
15. Элемент электрической цепи, назначение которого — оказывать сопротивление электрическому току.
16. Внесистемная единица длины, применяемая для измерения длины электромагнитных волн.
17. Автоматический переключатель контактов.
19. Полоса частот электромагнитных колебаний, определенная для отдельных радиовещательных компаний.
22. Двухэлектродная электровакуумная лампа, предназначенная для выпрямления переменного тока.
23. Устройство для преобразования звука в электрические сигналы.
24. Элемент фильтра нижних частот.
25. Телевизионная электронно-лучевая трубка.
26. Элемент колебательного контура.
27. Прибор для визуального наблюдения изменений электрических параметров.
28. Деталь соленоида.
29. Материал, используемый для изготовления электротехнических и радиотехнических плат.
32. Изобретатель первого в мире радиоприемника.
33. Электрод электронной лампы.

13. Кроссворд №3 «В мире электричества».

По горизонтали:

6. Приемная телевизионная электронно-лучевая трубка, преобразующая электрические сигналы в видимое изображение.
8. Объективно существующая в виде вещества и поля реальность.
9. Электродвижущая сила, возникающая в цепи из последовательно соединенных разнородных металлов, спаи которых имеют разные температуры.
10. Единица мощности электрического тока в СИ.
11. Автоматическое электронное устройство, служащее для остановки поезда при подходе к закрывающему путь сигналу.
12. Профессия человека, обслуживающего электрические цепи и приборы.
14. Частицы, образующиеся при потере электронов атомом или при соединении их к нему.
21. Теория электромагнитного поля, осуществляющего взаимодействие между электрическими зарядами.
22. Единица сопротивления в СИ.
23. Аббревиатура слов, означающих важное физическое понятие.
24. Прибор, измеряющий электрическое сопротивление.



30. Процесс прохождения электрического тока через газ.

33. Изменение формы и размеров тела при его намагничивании.

34. Единица измерения разности потенциалов в СИ.

35. Единица индуктивности в СИ.

36. Вещество, содержащее оксид железа и углерод и сочетающее свойства ферромагнетика и полупроводника (или ферромагнетика и диэлектрика).

39. Прибор, служащий для ориентации относительно магнитного меридиана.

40. Элемент электрической цепи, обладающий заданным электрическим сопротивлением.

41. Резкое возрастание амплитуды силы тока в колебательном контуре при приближении частоты вынужденных электрических колебаний к собственной частоте колебаний контура.

42. Проволочная спираль с большим числом изолированных друг от друга витков, по которой течет электрический ток.

43. Прибор, осуществляющий детектирование.

По вертикали:

1. Обмотка с ферромагнитным сердечником, по которой может проходить электрический ток.
2. Внесистемная единица магнитной индукции.
3. Способность веществ проводить постоянный электрический ток.
4. Характеристика магнитного поля.
5. Величина, характеризующая изменение магнитной индукции поля в веществе.
7. Энергетическая характеристика электростатического поля.
9. Датчик температуры, действие которого основано на возникновении термоэдс.
11. Накопитель электрической энергии.
13. Система из двух или более проводников, разделенных диэлектриком.
15. Совокупность явлений, связанных с действием магнитного поля.
16. Диэлектрик, длительно сохраняющий наэлектризованное состояние.
17. Основная характеристика магнитного поля.
18. Образование ионов и свободных электронов из атомов и молекул.
19. Класс физических величин, к которым относится напряженность электрического поля.
20. Американский ученый-самоучка, впервые наблюдавший термоэлектронную эмиссию.
24. Траектория электрона, движущегося вокруг ядра атома.
25. Намагниченный ферромагнетик.
26. Один из электродов транзистора.
27. Система двух равных и противоположных по знаку электрических зарядов.
28. Единица электрической проводимости в СИ.
29. Прибор, пропускающий электрический ток только в одном направлении.
31. Устройство для электрического соединения или разъединения цепей (состоящее обычно из вилки и розетки).
32. Области магнетика, самопроизвольно намагниченные до насыщения.
37. Источник электрического поля, связанный с материальным носителем.
38. Единица электрической емкости в СИ.

Ответы к задачам и кроссвордам

Ответы к задачам главы 2:

1, а) При подключении вольтметра к перегоревшей лампе он покажет напряжение сети. Когда вольтметр подключен к исправной лампе, его показания будут равны нулю.

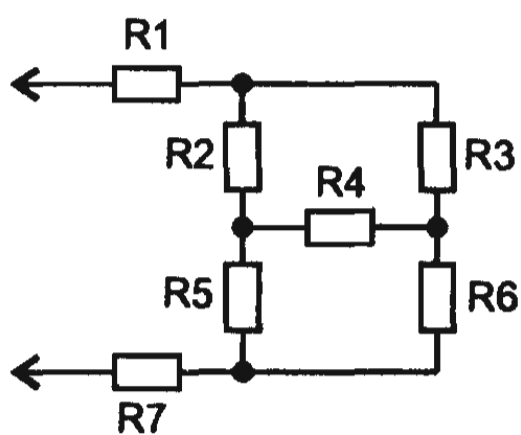
1, б) При подключении неизолированных концов провода к выводам сгоревшей лампы, все лампы гирлянды загорятся.

2) Пренебрегая потерями в источнике питания, напишем уравнение, определяющее мощность, рассеиваемую в цепи: $25I^2 + 5 = 30I$.

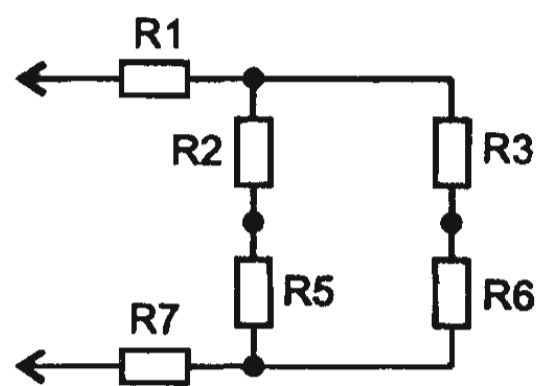
Мы получили полное квадратное уравнение ($ax^2 + bx + c = 0$, где $a = 25$, $b = -30$, $c = 5$) $25I^2 - 30I + 5 = 0$. Решив это уравнение относительно I , получим значения токов, при которых на реостате $R1$ рассеивается мощность, равная 5 Вт: $I_1 = 1$ А, $I_2 = 0,2$ А.

3) Эту схему можно нарисовать по-другому (см. рис. а). Если подключить к зажимам схемы источник напряжения, то можно заключить, что на резисторе $R4$ напряжение равно нулю и сила тока через него равна нулю. Тогда схему можно перерисовать так (см. рис. б). А сопротивление этой цепи легко рассчитать.

Ответ: $R = 3$ Ом.



а)



б)

4) В схеме а) — лампы 1,2: в схеме б) — лампа 4: в схеме в) — лампа 3: в схеме г) — лампа 4.

5) Общее сопротивление параллельно соединенных резисторов $R5$ и $R6$ составляет 200 Ом, т. е. равно сопротивлению резистора

R3. Если это так, то суммарная сила тока, протекающая через резисторы R4, R5, R6, равна 1 А, а общая сила тока в цепи — 3,75 А.

б) а) 6 Ом; б) 18 Ом; в) 4 Ом; г) 12 Ом.

Ответы к задачам главы 3:

1) Мощность тока в паяльнике $P = UI = 220 \cdot 0,9 = 198$ Вт; сопротивление обмотки паяльника $R = U/I = 220/0,9 = 244$ Ом.

2) Из формулы вычисления мощности $P = U^2/R$ находим $R = U^2/P = 220^2/100 = 484$ Ом.

3) Из формулы $R = U^2/P$ видно: чем больше знаменатель дроби, тем меньше частное от деления. Отсюда вывод: лампа мощностью 100 Вт имеет меньшее сопротивление.

4) При последовательном соединении элементов R и C общее сопротивление цепи равно: $Z1 = \sqrt{R^2 + \left(\frac{1}{\omega C}\right)^2}$, а при параллельном соединении общая проводимость $Y2 = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + (\omega C)^2}$.

$$\text{Отсюда } Z2 = \frac{1}{Y2} = \frac{R}{\sqrt{(\omega R C)^2 + 1}}$$

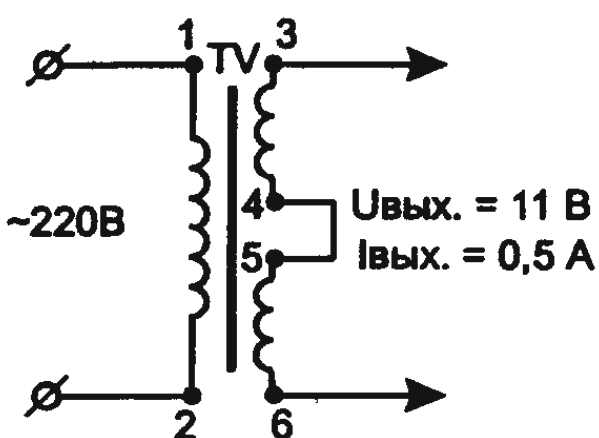
$$\text{Тогда } \frac{Z1}{Z2} = \frac{\sqrt{(\omega R C)^2 + 1}}{\omega C} \cdot \frac{R}{\sqrt{(\omega R C)^2 + 1}} = \frac{(\omega R C)^2 + 1}{\omega R C}$$

$$\text{При } f = 10^6 \text{ Гц, } R = 1 \text{ кОм, } C = 1 \text{ мкФ } \frac{Z1}{Z2} = \omega R C = 2\pi f R C \gg 1,$$

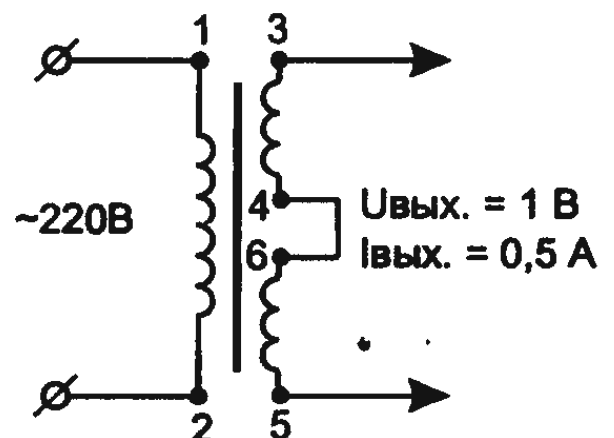
т. е. $Z1 \gg Z2$.

$$5) \text{ При } X_L = X_C \text{ или } \omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C}$$

б) Первый вариант (рис. а) — согласное соединение обмоток. Второй вариант (рис. б) — встречное соединение обмоток.



а)



б)

Ответы к задачам главы 4:

$$1) S = \frac{\Delta I}{\Delta U} = \frac{5}{0,6 - 0,4} = \frac{5}{0,2} = 25 \text{ мА / В.}$$

2. а) $R = 100 \text{ Ом}$. Общее сопротивление цепи для прямого тока равно $20 + 100 = 120 \text{ Ом}$, при этом сопротивление резистора R составляет $100/120 = 0,83$ от сопротивления всей цепи. Тогда $U_{R \text{ max}} = E_m \cdot 0,83 = 2 \text{ В}$.

Для обратного тока общее сопротивление цепи равно $300000 + 100 \approx 300000 \text{ Ом}$, а напряжение на выходе (на резисторе) равно $2,4 \cdot 100/100000 \approx 0$, т. е. $U_{R \text{ min}} \approx 0$.

$$б) R = 300 \text{ кОм. } U_{R \text{ max}} = 2,4 \text{ В. } U_{R \text{ min}} = 1,2 \text{ В.}$$

$$3) I_B = I_{\text{Э}} - I_K = 5 - 4,7 = 0,3 \text{ мА.}$$

$$4) I_B = I_{\text{Э}} - I_K = 18 - 17 = 1 \text{ мА. } h_{21\text{Э}} = \frac{\Delta I_K}{\Delta I_B} = \frac{17}{1} = 17.$$

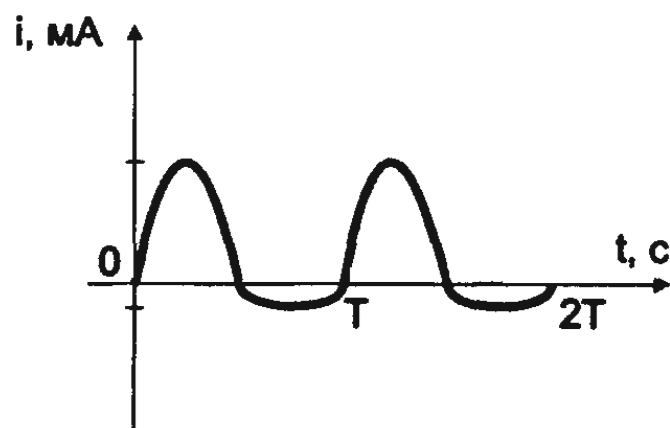
$$5) h_{21\text{Э}} = \frac{h_{21\text{б}}}{1 - h_{21\text{б}}} = \frac{0,95}{0,05} = 19.$$

Ответы к задачам главы 5:

1) Для нахождения характера изменения тока в цепи, схема которой приведена на рис. 5.22,а, воспользуемся следующими рассуждениями. В те полупериоды синусоидального напряжения, когда диод находится в прямом включении, падение напряжения на нем согласно рис. 5.22,б не превышает $0,5 \text{ В}$ и пренебрежимо мало по сравнению с приложенным ко всей цепи напряжением. Поэтому ток в цепи определяется только сопротивлением резистора нагрузки, т. е.

$$I = U_{\text{вх}}/R_H = 160/5000 = 0,032 \text{ А} = 32 \text{ мА.}$$

В те полупериоды, когда диод находится в обратном включении, сила тока в цепи согласно рис. 5.24,в не превышает 10 мкА . Таким образом, сила тока в нагрузке на рис. 5.22,а представляет собой сигнал, состоящий из двух полувольт с амплитудами 32 мА и 10 мкА . Осциллограмма силы тока приведена на рисунке, причем для наглядности полуволны изображены в разных масштабах.



2) В каждый полупериод синусоидального напряжения ток проходит через два диода и нагрузочный резистор R_H . Таким образом, общее сопротивление нагрузки $R_{но}$, подключенной к вторичной обмотке трансформатора, равно $120 + 10 + 10 = 140$ Ом. Тогда сила тока через сопротивление нагрузки равно:

$$I_m = U_{2m} n_{тр} / R_{но} = 140 \cdot 0,1 / 140 = 0,1 \text{ А.}$$

3) $U_{H.пер} = 12,45$ В, $U_{H.пост} = 19,6$ В, $K_{пост} = 0,98$, $K_{пер} = 0,62$, $K_{пост}/K_{пер} = 1,58$. Коэффициент передачи по переменному току $K_{пер} = U_{H.пер}/U_{Вх.пер}$ определяется делителем напряжения, одним из плеч которого является резистор R , а другим — параллельное соединение резистора R_H и емкостного сопротивления конденсатора $X_C = 1/\omega C$; коэффициент передачи по постоянному току определяется делителем R , R_H .

4) В задаче приведена статическая характеристика стабилизатора, т. е. зависимость выходного напряжения от входного. По своему функциональному назначению стабилизаторы отличаются тем, что в них достигается неизменность выходного напряжения в широком диапазоне изменения входного, т. е. их статическая характеристика приближается к вольт-амперной идеального источника напряжения с $R_{ВН} = 0$. Определенная сложность при решении задачи заключается в том, что коэффициент стабилизации представляет собой дифференциальную величину и от вас требуются навыки по нахождению производной. Коэффициент стабилизации находится из следующего соотношения:

$$K_{ст} = \frac{U_H}{U_{ВХ}} \cdot \frac{dU_{ВХ}}{dU_H}$$

Зависимость $U_H = f(U_{ВХ})$ задана в условии в виде линейной функции, следовательно, ее производная равна постоянной величине $dU_{ВХ}/dU_H = 100$. Таким образом, коэффициент стабилизации в данном случае равен:

$$K_{ст} = \frac{0,01U_{ВХ} + 10}{U_{ВХ}} \cdot 100$$

где $U_{ВХ}$ — в вольтах.

Подставляя в последнее выражение заданные в условии значения входного напряжения, получаем $K_{ст} = 101; 21; 11$.

5) Изменение напряжения на выходе стабилизатора $\Delta U_{ст} = \Delta I_{ст} \cdot R_d = 16 \cdot 10^{-3}$ В. Тогда относительное изменение напряжения на выходе стабилизатора равно

$$\frac{\Delta U_{ст}}{U_{ст}} = \frac{16 \cdot 10^{-3}}{8} = 2 \cdot 10^{-3}$$

Ответы к задачам главы 6:

1) $K_i = 40$ дБ, $K_p = 20$ дБ.

2) $K_{1u} = U_{1вых} / U_{1вх} = 0,2/0,01 = 20$. $K_{2u} = U_{2вых} / U_{2вх} = 4/0,220$.
 $K = K_{1u} \cdot K_{2u} = 20 \cdot 2 = 40$ (400).

3) Конденсаторы С1, С2, С3 являются разделительными, т. е. отфильтровывают постоянные составляющие сигналов, конденсаторы Сэ1 и Сэ2 обеспечивают стабильность рабочих режимов транзисторов, так как шунтируют возникающие высокочастотные колебания. Резисторы R5, R7 служат для температурной стабилизации рабочих режимов транзисторов. Резистор R4 является резистором обратной связи между каскадами. Резистор R6 определяет уровень выходного сигнала усилителя, R3 — усиление входного сигнала первого каскада, а делитель R1—R2 — смещение входного сигнала первого каскада. Для регулировки коэффициента усиления первого и второго каскадов можно использовать соответственно резисторы R3 и R6, для регулировки коэффициента нелинейных искажений — конденсатор Сэ1, для регулировки коэффициента обратной связи — резистор R4.

4) Коэффициент усиления, выраженный в децибелах, определяется из выражения:

$$K_{дб} = 20 \lg \frac{\Delta U_{вых}}{\Delta U_{вх}} = 20 \lg K. \quad (1)$$

Из этого выражения, получаем:

$$K = 10^{\frac{K_{дб}}{20}} \quad (2)$$

Обозначив через x абсолютное изменение коэффициента K , можно записать:

$$K + x = 10^{(K_{дб} + \Delta K_{дб})/20} \quad (3)$$

В полученном уравнении, кроме x , неизвестны также и значения K и $K_{дБ}$, поэтому их можно исключить, поделив выражение (3) на (2):

$$K + x / K = 10^{\frac{\Delta K_{дБ}}{20}}$$

После несложных преобразований из этого выражения можно выделить искомое относительное значение изменения коэффициента:

$$\frac{x}{K} = 10^{\frac{\Delta K_{дБ}}{20}} - 1 \quad (4)$$

Подставляя в уравнение (4) заданные в условиях изменения коэффициента $K_{дБ}$, по таблице логарифмов находим:

$$\frac{x}{K} = 10^{0,05} - 1 = 0,12 \text{ и } \frac{x}{K} = 10^{0,15} - 1 = 0,41$$

Следовательно, изменение коэффициента усиления k лежат в пределах 12...41 %.

5) Коэффициент усиления K_u уменьшится, а входное сопротивление увеличится, так как в схеме возникнет отрицательная обратная связь по переменному току $K_{u\text{ос}} = -h_{21Э}R_K/R_{вх.ос}$, $R_{вх.ос} \approx r_6 + (1 + h_{21Э})(r_Э + R_Э)$. При сильной обратной связи, когда $R_Э \gg r_Э$ и $R_Э \gg r_6$, будем иметь $K_{u\text{ос}} \approx R_K/R_Э$, $R_{вх.ос} \approx h_{21Э}R_Э$.

6) $P_H = (U_{вх} - U_{бэ\text{ max}})^2/R_H = 9,2 \text{ Вт}$.

7) Для того чтобы выходное напряжение в схеме могло иметь как положительный, так и отрицательный знак.

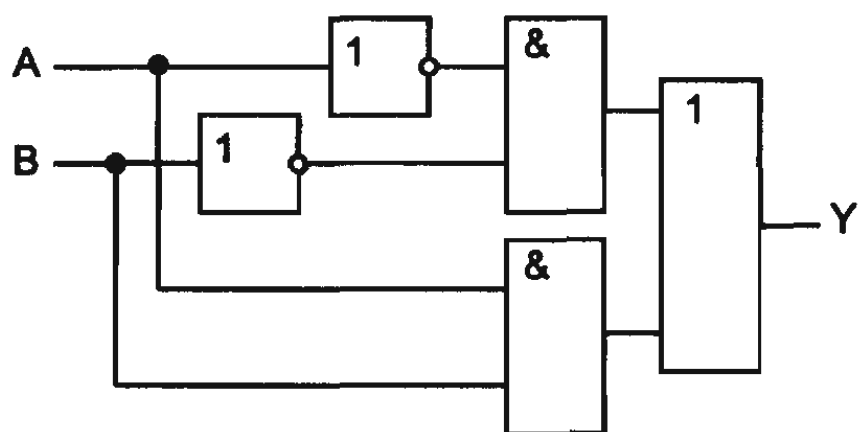
8) Правильно, но соединения между вертикальными проводками излишни, так как они не оказывают никакого влияния на работу.

9) При замене электромагнита сердечником из мягкого железа частота колебаний мембраны будет равна 2 кГц, так как при таком сердечнике она будет притягиваться дважды за каждый период подводимого напряжения.

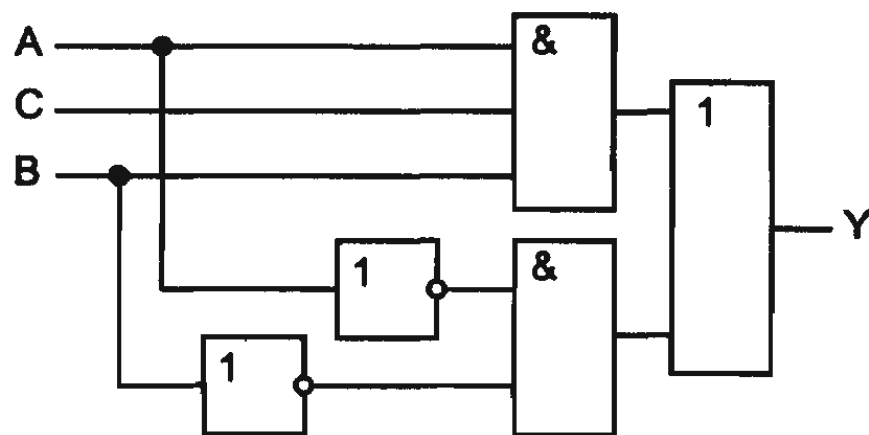
Ответы к задачам главы 7:

- 1) Инверторы.
- 2) ИЛИ-НЕ.
- 3) ИЛИ

4) Рис. а и рис. б

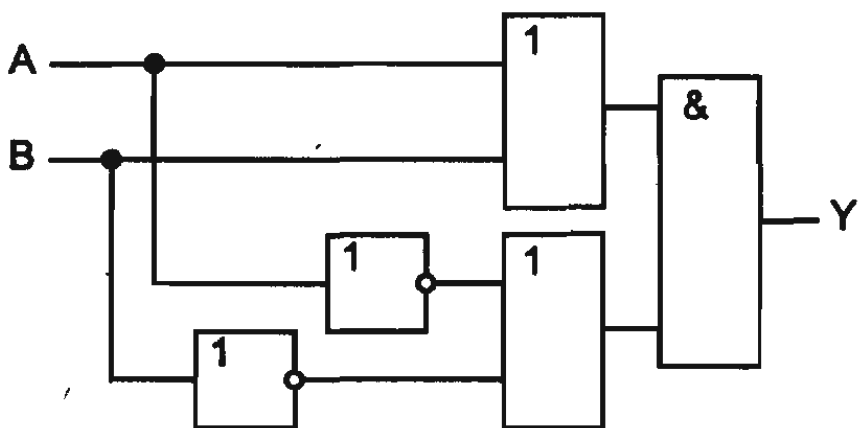


а)

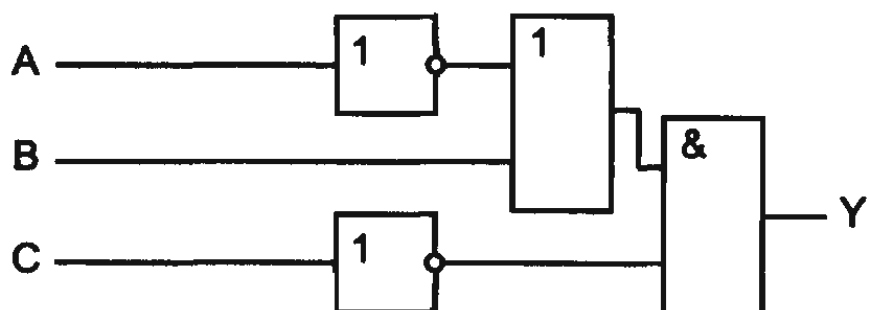


б)

5) Рис. а и рис. б



а)



б)

Ответы к задачам главы 8:

1) Возникнут, так как $K\beta = 110 \cdot 0,01 > 1$.

2) $K_{\min} = 1/\beta = 1/0,02 = 50$.

3) Для обеспечения самовозбуждения контур настраивается таким образом, чтобы его резонансная частота была выше частоты параллельного резонанса f_0 кварцевого резонатора. При этом частота генерации f_{Γ} лежит в пределах $f_K > f_{\Gamma} > f_0$.

4) Самовозбуждение достигается, если резонансная частота контура ниже частоты параллельного резонанса кварцевого резонатора. При этом $f_K < f_{\Gamma} < f_0$.

5) При замыкании R_K каскад теряет свои усилительные свойства и колебания на выходе схемы срываются; б) при замыкании $R_{Э1}$ исчезает отрицательная обратная связь по току, работоспособность схемы сохраняется, хотя и увеличивается влияние элементов схемы на форму кривой генерируемых колебаний.

6) При увеличении сопротивления резистора $R1$ уменьшится напряжение U_{R2} на резисторе $R2$, так как $U_{R1} + U_{R2} = U_{\text{НАС}}$. Значит горизонтальные линии $+U_{R2}$ и $-U_{R2}$ будут находиться ближе к нулевой линии графика и пересекут кривую заряда-разряда кон-

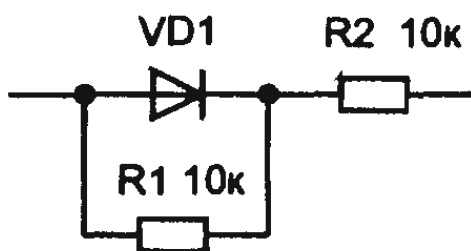
денсатора C раньше времени t_1 и t_2 соответственно. Таким образом, период колебаний выходного напряжения уменьшится, а, значит, увеличится частота мультивибратора;

7) При уменьшении $t = RC$ напряжение на конденсаторе будет быстрее достигать значения $+U_{R2}$ и $-U_{R2}$, а значит, уменьшится период колебаний мультивибратора, т. е. увеличится его частота.

8) Колебания срываются.

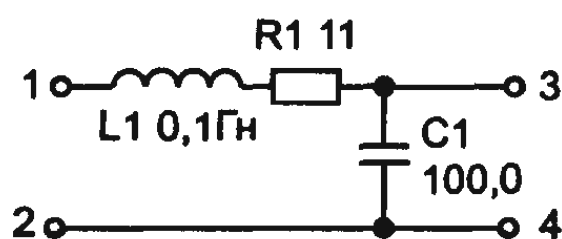
Ответы к задачам главы 12:

1)



2) В каждом магните на середине его геометрической длины проходит линия, в которой магнит нейтрален, т. е. он не притягивает другие тела. Для проверки, какой из стержней является магнитом нужно взять один из них и его концом коснуться середины другого. Если при этом стержни притянутся, значит, у нас в руках магнит, а если притяжения не будет, то магнитом является другой стержень.

3) Внутри ящика могут быть разные элементы. Один из возможных вариантов схемы «черного ящика» приведен на рисунке.



4) Общая емкость последовательно соединенных конденсаторов равна 1 мкФ . До замыкания выключателя суммарное напряжение на всех конденсаторах составляет 300 В , а общий заряд $Q = U \cdot C = 300 \cdot 1 \cdot 10^{-6} = 300 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$. После замыкания выключателя заряд, оставшийся на каждом конденсаторе, равен его начальному заряду минус $300 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$, т. е. $Q_1 = U_1 \cdot C_1 - 300 \cdot 10^{-6} = 2 \cdot 10^{-6} \cdot 150 - 300 \cdot 10^{-6} = 0$; $Q_2 = U_2 \cdot C_2 - 300 \cdot 10^{-6} = 3 \cdot 10^{-6} \cdot 50 - 300 \cdot 10^{-6} = -150 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$. $Q_3 = U_3 \cdot C_3 - 300 \cdot 10^{-6} = 6 \cdot 10^{-6} \cdot 100 - 300 \cdot 10^{-6} = 300 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$, а установившееся напряжение на конденсаторах:

$$U_1 = Q_1 / C_1 = 0 / 2 \cdot 10^{-6} = 0 \text{ В};$$

$$U_2 = Q_2 / C_2 = -150 \cdot 10^{-6} / 3 \cdot 10^{-6} = -50 \text{ В};$$

$$U_3 = Q_3 / C_3 = 300 \cdot 10^{-6} / 6 \cdot 10^{-6} = 50 \text{ В}.$$

Полярность напряжения на конденсаторе С2 стала обратной.

5) Датский астроном О. Ремер в 1675 г. в результате наблюдения спутников Юпитера; б) Первый в мире советский космонавт Ю. Гагарин во время космического полета 12 апреля 1961 года.

6) 7 мая 1895 г.

7) Американский ученый Ли де Форест в 1906 г.

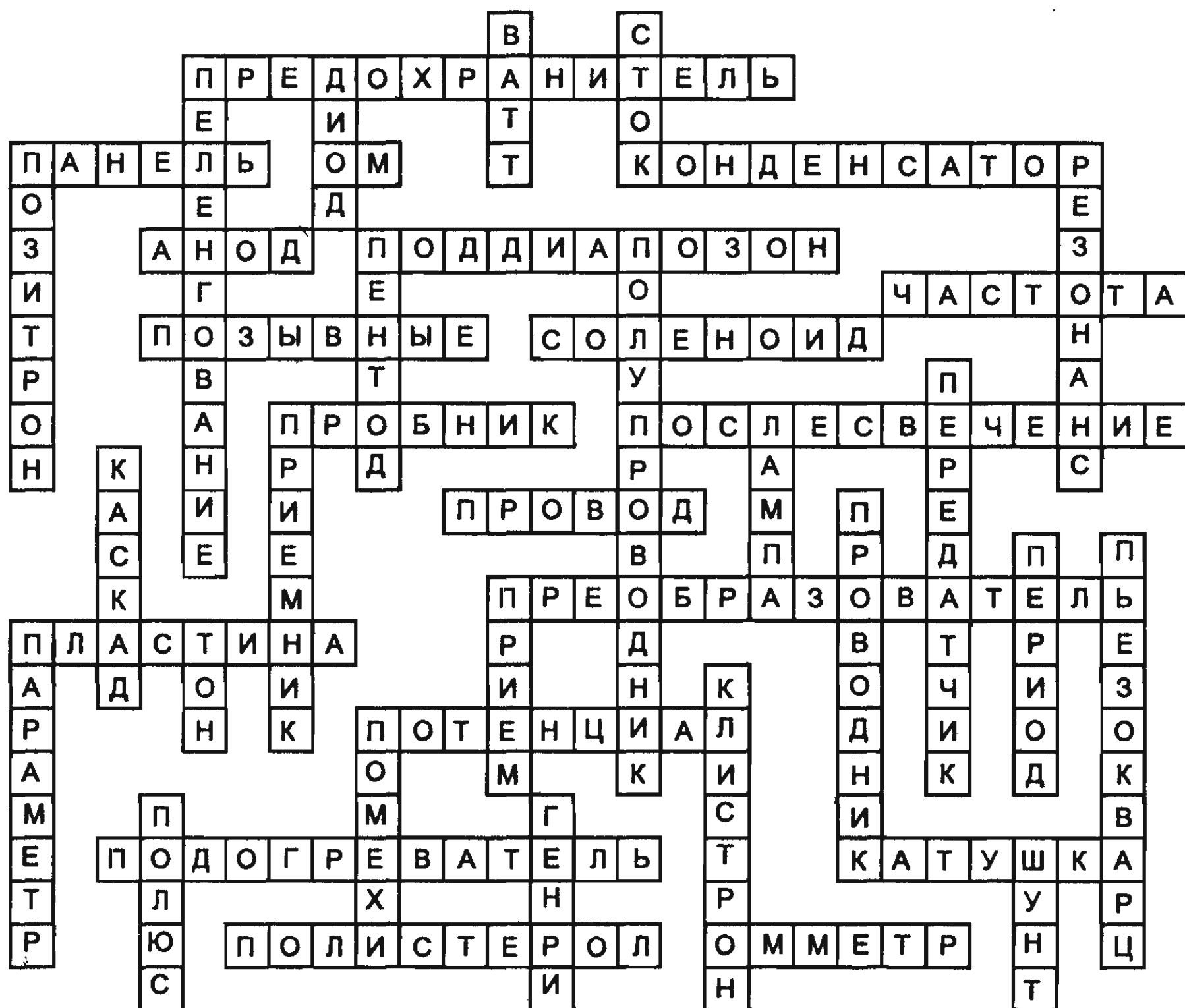
8) Американскими физиками Дж. Бардином и У. Браттейном в 1948 г.

9) При генерировании и усилении больших мощностей; в присутствии сильных радиоактивных излучений; при высоких температурах.

10) Мощность, потребляемая телевизором, величина постоянная, т.е. произведение $P = UI$ должно оставаться примерно постоянной величиной.

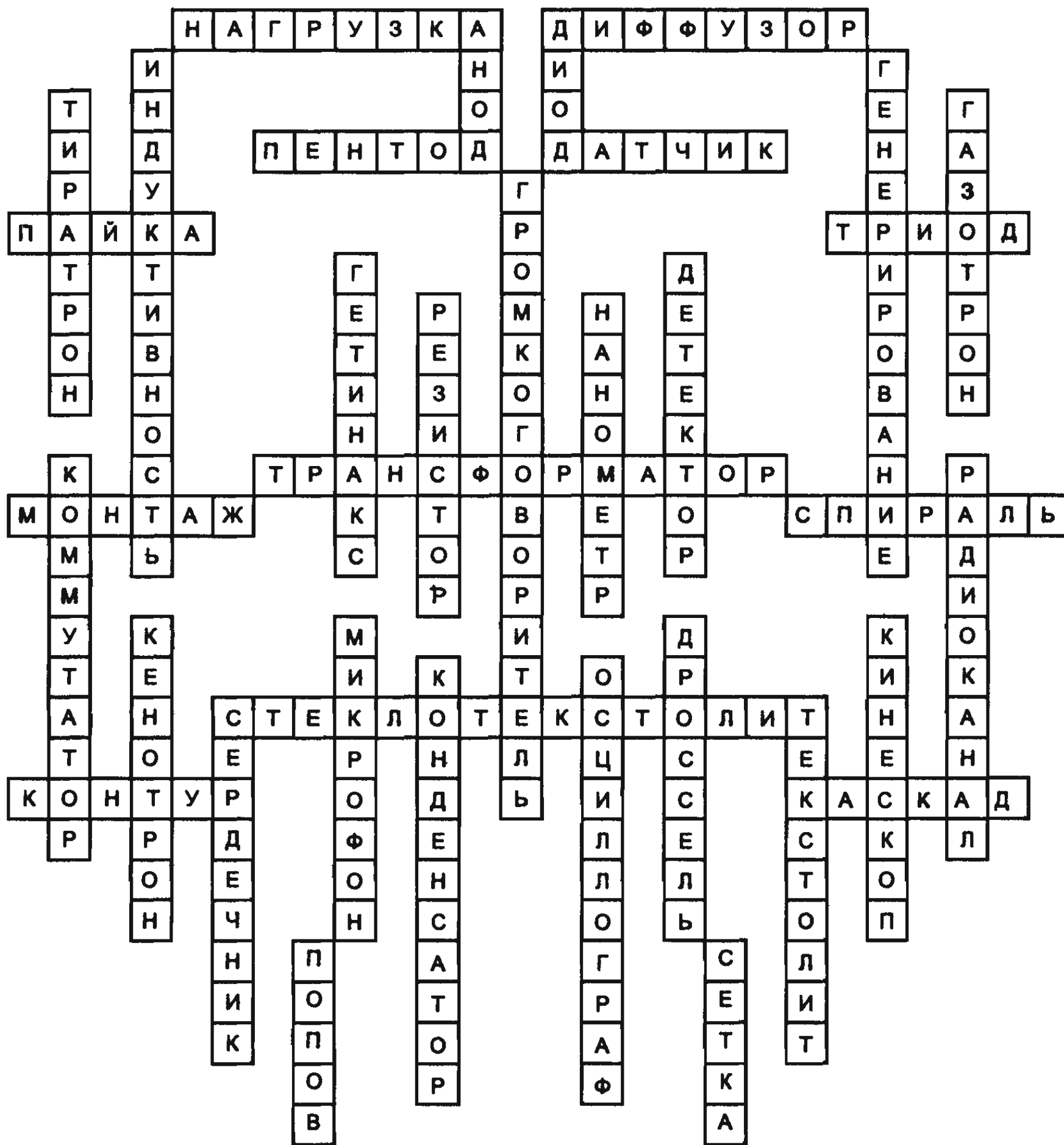
11)

Ответы к кроссворду № 1 «Радиоэлектроника»



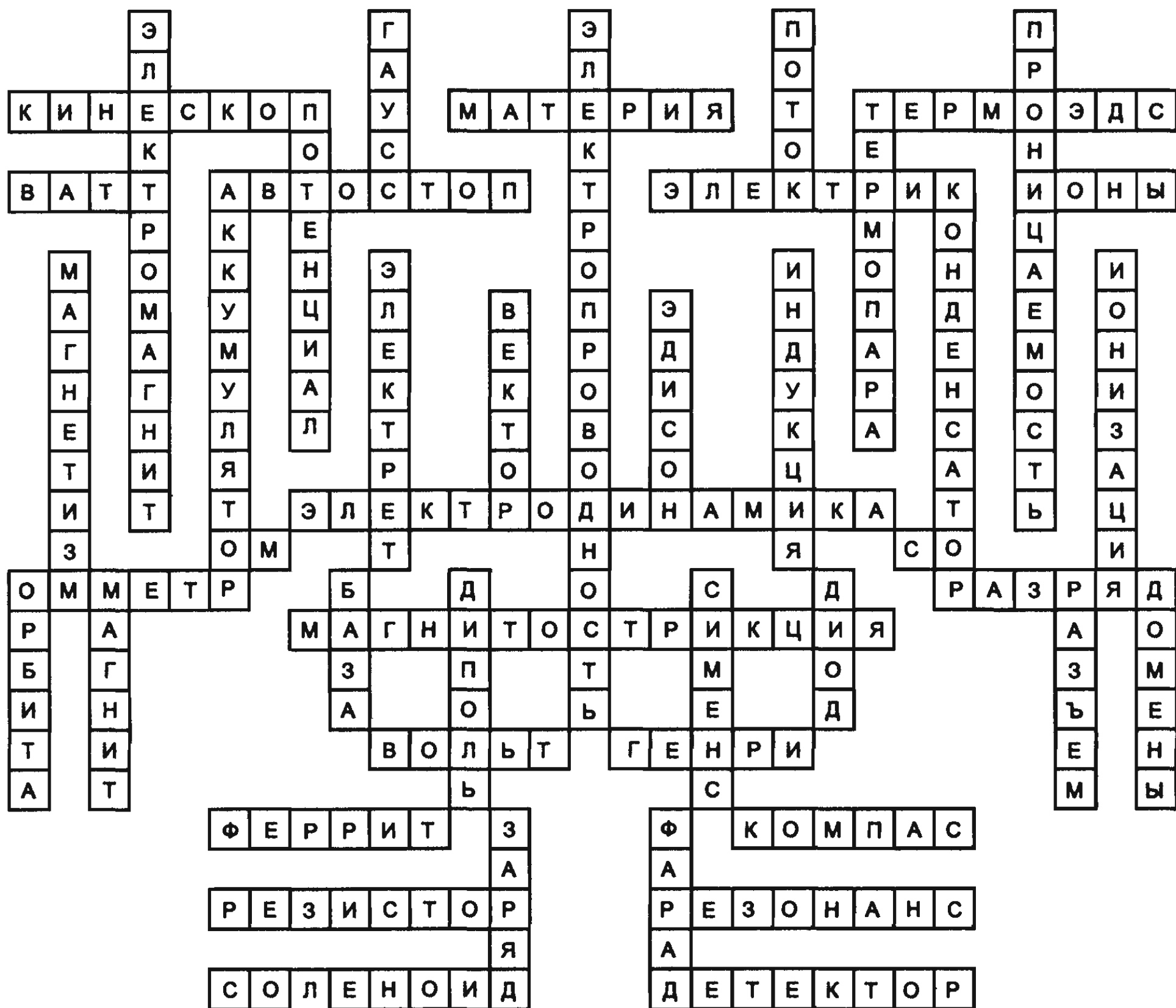
12)

Ответы к кроссворду № 2 «Радиоэлектроника»



13)

Ответы к кроссворду № 3 «В мире электричества»



Приложение

Таблица П1
 Параметры терморезисторов

Тип терморезистора	Пределы номинального сопротивления, кОм, при 20°C	$\Delta R_{ном}$, %	Максимальная мощность рассеяния, мВт, при		TKR, %/°C, при 20°C
			$T_{ном}$	T_{max}	
СТ1-17	0,2—22	10; 20	500	0,1	4,2—7
СТ3-17	0,033; 0,33	10; 20	500	0,2	3—4,5
СТ1-18	1,5—2200*	20	45	0,03	2,25—5*
СТ3-18	0,68—3,3	20	15	0,02	2,5—4,1
СТ1-19	3,3—2200*	20	60	0,05	2,35—4*
СТ3-19	2,2—15	20	45	0,04	3,4—4,5
СТ3-22	1**	30	8—12*	6—9*	3,05—4,25
СТ3-23	$(2,2—4,7) \cdot 10^{-3}$	10; 20	—	3	3,05—3,75
СТ3-24	0,68—3,3	20	—	—	2,6—4,1
СТ3-25	1,5—3,3	20	8	0,01	3,05—3,75
СТ2-26	1,0—100	20	—	—	2,4—5
СТ3-26	0,1—0,68	20	—	—	2,4—5

Таблица П2
 Параметры варисторов

Тип варистора	Допустимая мощность рассеяния, Вт	Классификационное напряжение, В	Допустимое отклонение по классификационному напряжению, %	Классификационный ток, мА	Коэффициент нелинейности, не менее	Допустимая амплитуда импульсного напряжения, С	Интервал рабочих температур, °С
СН-1-1	1	560	±10	10	3,5	1200	-40±100
		680			4	1300	
		820			4	1400	
		1000			4	1500	
		1200			4	1600	
		1300			4,5	1700	
		1500			4,5	2000	
СН1-1-2	0,8	560	±10	10	3,5	1200	-40±100
		680			4	1300	
		820			4	1400	
		1000			4	1500	
		1200			4	1600	
		1300			4,5	1700	
		1500			4,5	200	
СН1-2-1	1	56	±10; ±20	2	3,5	180	-40±100
		68				210	
		82				250	
		100				300	
		120				360	
		150				450	
		180				550	
		220				650	
		270				800	
СН1-2-2	1	33	±100; ±10	3	3	95	-40±100
		39			3	110	
		47			3,5	120	
		56			3,5	150	
		68			3,5	170	
		82			3,5	200	
		100			3,5	230	

Тип варистора	Допустимая мощность рассеяния, Вт	Классификационное напряжение, В	Допустимое отклонение по классификационному напряжению, %	Классификационный ток, мА	Коэффициент нелинейности, не менее	Допустимая амплитуда импульсного напряжения, С	Интервал рабочих температур, °С
СН1-3	0,1	5,6	±10	5	2	20	-60+75
		6,8				25	
		8,2				30	
		10				40	
		12				50	
		15				60	
		18				70	
		22				80	
		27				90	

Таблица П.3
Основные параметры проводников низкого сопротивления

Материал	Удельное сопротивление при 20°С, Ом·мм ² /м	ТКС, % / °С	Температура плавления, °С	Плотность
Алюминий	0,028	0,49	660	2,7
Бронза фосфористая	0,115	0,4	900	9,8
Золото	0,024	0,37	1060	19,3
Латунь	0,03...0,06	0,2	900	8,5
Медь электротехническая	0,0175	0,4	1080	8,9
Никель	0,07	0,6	1450	8,8
Олово	0,115	0,42	230	7,3
Платина	0,1	0,3	1770	21,4
Свинец	1,21	0,4	330	11,4
Серебро	0,016	0,38	960	10,5
Сталь	0,098	0,62	1520	7,8
Уголь	0,33...1,85	0,06	—	—
Хром	0,027	—	—	6,6
Цинк	0,059	-0,35	420	7,0

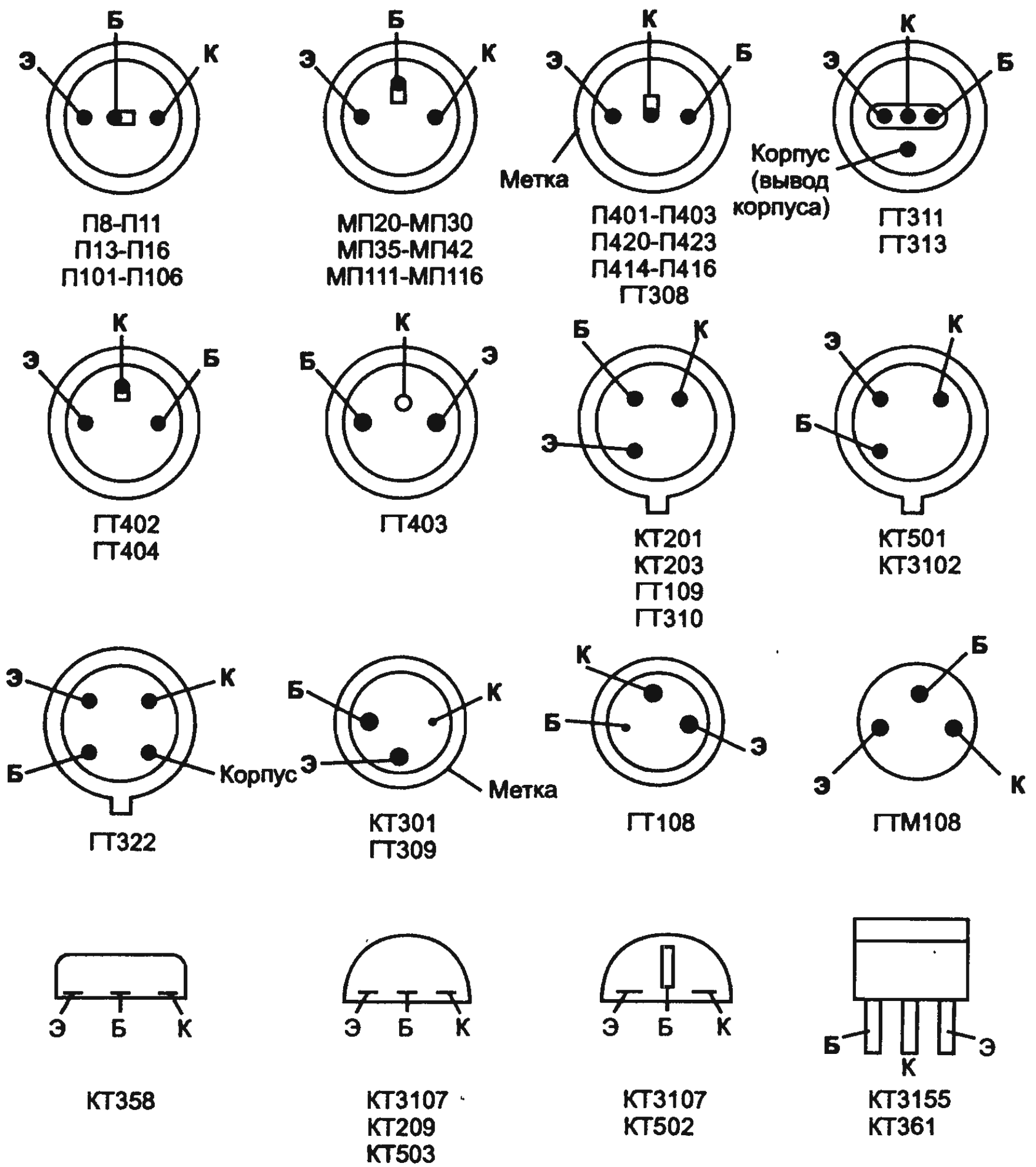


Рис. П1. Цоколевка транзисторов

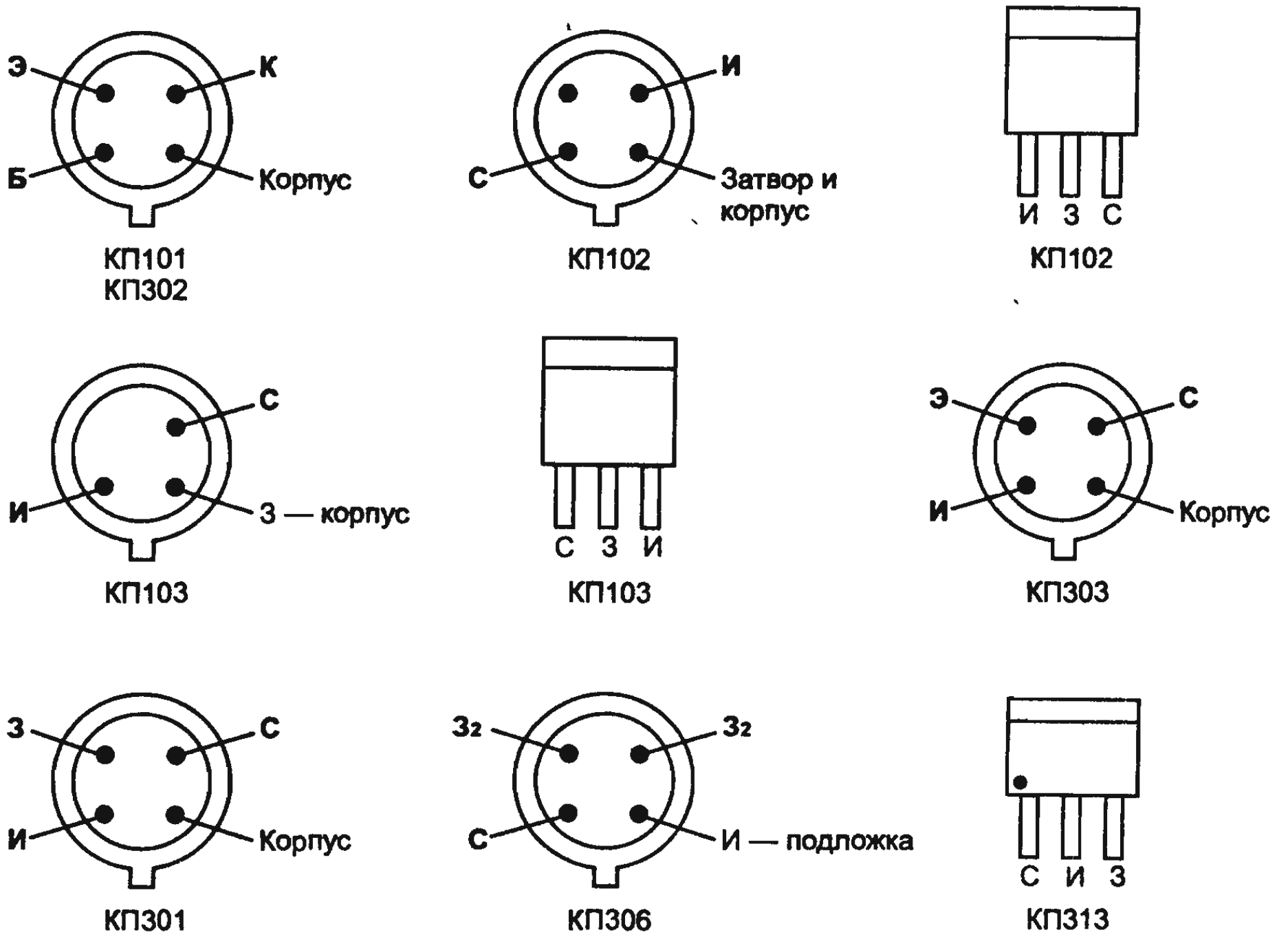


Рис. П2. Цоколевка транзисторов

Используемая литература

1. Радио, 10/98.
2. Радио, 10/98.
3. Радиоловитель, 7/95.
4. Радио, 5/97.
5. Радио, 10/98.
6. Радиоловитель, 3/94.
7. Радиоловитель, 1/92.
8. Радио, 7/97.
9. Радио, 8/96.
10. Радиоловитель, 3/94.
11. Радио, 11/94.
12. Радио, 11/94.
13. Радиоловитель, 7/95.
14. Радио, 3/93.
15. Моделист-конструктор, 3/93.
16. Радио, 1/97.
17. Моделист-конструктор, 3/93.
18. Радиоловитель, 1/99.
19. Радиоловитель, 11/95.
20. Радиоловитель, 1/96.
21. Радио, 2/94.
22. Радио, 8/95.
23. Радиоловитель, 10/94.
24. Радиоловитель, 12/98.
25. Радиоловитель, 9/94.
26. Радио, 1/93.
27. Радиоловитель, 1/99.
28. Радио, 1/97.
29. Радио, 11/97.
30. Радио, 1/94.
31. Радио, 4/92.
32. Радио, 3/94.
33. Радиоловитель, 10/98.
34. Радиоловитель, 1/94.
35. Радио, 5/94.
36. Радио, 5/94.
32. Радио, 7/97.

Краткое содержание

Введение	3
Глава 1. Электро- и радиотехнические материалы. Пайка и основы электрического монтажа	5
Глава 2. Постоянный электрический ток	44
Глава 3. Переменный ток	106
Глава 4. Полупроводниковые приборы	155
Глава 5. Питание радиоэлектронных устройств от сети переменного тока	224
Глава 6. Усилители звуковой частоты	256
Глава 7. Основные сведения об интегральных микросхемах	289
Глава 8. Автогенераторы	347
Глава 9. Телефон в вашем доме	387
Глава 10. Антенные устройства	415
Глава 11. Распространение радиоволн	460
Глава 12. Занимательные задачи и кроссворды по радиоэлектронике	468
Ответы к задачам и кроссвордам	477
Приложения	488
Используемая литература	493

Содержание

Введение	3
Глава 1. Электро- и радиотехнические материалы.	
Пайка и основы электрического монтажа	5
1.1. Металлы	5
1.1.1. Правка листового материала	6
1.1.2. Изгибание листового металла	6
1.1.3. Изгибание листового дюралюминия	6
1.1.4. Резка металлов	6
1.1.5. Простые правила сверления	7
1.1.6. «Рубашка» для сверла	8
1.1.7. Вместо сверла — напильник	8
1.1.8. Опасности при сверлении	8
1.1.9. Резьба в отверстиях	9
1.1.10. Самодельные метчики для нарезки резьбы	9
1.1.11. Очистка загрязненных поверхностей	10
1.1.12. Уход за напильником	10
1.1.13. Надписи на металле	10
1.1.14. Совместимые и несовместимые пары металлов	11
1.2. Изоляционные материалы	12
1.2.1. Области применения	12
1.2.2. Работа с изоляционными материалами	13
1.3. Работа с древесиной	18
1.3.1. Покрытие эпоксидным клеем	18
1.3.2. Как освежить изделия и детали из светлой древесины	19
1.3.3. Ремонт трещин	19
1.4. Магнитные материалы	19
1.5. Провода	21
1.5.1. Обмоточные провода	21
1.5.1.1. Медные обмоточные провода	21
1.5.1.2. Высокочастотные обмоточные провода (литцендраты)	24
1.5.1.3. Обмоточные провода высокого сопротивления (манганин, константан, нихром)	25
1.5.2. Монтажные провода	28

1.6. Пайка и основы электрического монтажа	30
1.6.1. Устройство паяльника	30
1.6.2. Ремонт паяльника	30
1.6.3. Методика обучения пайке	33
1.6.4. Припой и флюсы	35
1.7. Полезные советы	39
1.7.1. Пайка алюминия	39
1.7.2. Пайка никрома	41
1.7.3. Лужение провода в эмаливой изоляции	42
1.7.4. Вместо припоя — клей	42
1.7.5. Провод типа «литцендрат»	42
1.7.6. Лак для закраски паек	43
1.7.7. Защита переводных надписей	43
Глава 2. Постоянный электрический ток	44
2.1. Электрическая цепь постоянного тока	44
2.2. Электрический ток и напряжение	57
2.3. Закон Ома. сопротивление проводов	60
2.4. Последовательное и параллельное соединение резисторов	66
2.5. Измерение силы тока, напряжения и сопротивления	76
2.6. Мощность электрического тока	80
2.7. Для самостоятельного изготовления	81
2.7.1. Миллиавометр	81
2.8. Полезные советы	93
2.8.1. Измерение напряжений вольтметром с малым входным сопротивлением	93
2.8.2. Измерение постоянных напряжений миллиамперметром	94
2.8.3. Измерение силы тока низкоомным вольтметром	95
2.8.4. Измерение малых сопротивлений миллиамперметром	96
2.8.5. Измерение сопротивлений вольтметром	97
2.8.6. Два способа измерения сопротивления и тока полного отклонения микроамперметра с помощью двух постоянных резисторов	98
2.8.7. На что способна батарейка	101
2.9. Задачи	103
Глава 3. Переменный ток	106
3.1. Переменный ток синусоидальной формы. получение переменного тока. основные параметры	106
3.2. Электрическая цепь переменного тока. Элементы цепи	114
3.2.1. Конденсатор как накопитель электрической энергии	118
3.2.2. Конденсатор «не пропускает» постоянный ток	119

3.2.3.	Сопротивление конденсатора переменному току зависит от его емкости и частоты тока	119
3.2.4.	Сила тока опережает напряжение на емкости на угол $\pi/2$	120
3.2.5.	Катушка индуктивности обладает индуктивным сопротивлением, которое также называется реактивным	122
3.2.6.	Последовательное и параллельное соединение катушек индуктивности	123
3.2.7.	Катушка индуктивности как накопитель магнитной энергии	124
3.2.8.	Сила тока отстает от напряжения на катушке индуктивности на угол $\pi/2$	124
3.2.9.	На активном сопротивлении (на резисторе) сила тока и напряжение совпадают по фазе	125
3.3.	Интегрирующие и дифференцирующие цепи	125
3.4.	Последовательный колебательный контур	129
3.5.	Для самостоятельного изготовления	130
3.5.1.	Цветомузыкальная приставка	130
3.5.2.	Усилитель звуковой частоты «электронное ухо»	133
3.5.3.	Электронная сирена с усилителем	137
3.5.4.	Когда напряжение сети нестабильно [1]	142
3.5.5.	Тиристорный регулятор напряжения	145
3.5.6.	Два варианта включения ламп дневного света [2]	147
3.6.	Полезные советы	148
3.6.1.	Определение назначения обмоток сетевого трансформатора	148
3.6.2.	Определение числа витков обмоток сетевого трансформатора	148
3.6.3.	Нахождение обмотки с большим числом витков	149
3.6.4.	Электродвигатель станет сильнее	150
3.6.5.	Устройство для намагничивания магнитов [3]	151
3.6.6.	Как размагнитить инструмент	152
3.7.	Задачи	153
Глава 4.	Полупроводниковые приборы	155
4.1.	Полупроводниковые диоды	157
4.2.1.	Рекомендации по применению диодов	162
4.2.2.	Стабилитроны	163
4.3.	Биполярные транзисторы	169
4.3.1.	Общие сведения	169
4.3.2.	Схемы включения транзисторов	170

4.3.3. Основные параметры транзисторов	172
4.3.4. Статические вих транзистора	176
4.3.5. Анализ усилительных каскадов	178
4.4. Полевые транзисторы	188
4.4.1. Основные параметры полевых транзисторов	190
4.4.2. Максимально допустимые параметры	192
4.4.3. Вольт-амперные характеристики ПТ	193
4.4.4. Рекомендации по применению ПТ	196
4.5. Тиристоры	197
4.4.1. Основные параметры тиристоров	199
4.6. Для самостоятельного изготовления	203
4.6.1. Испытатель тиристоров	203
4.6.2. Универсальный вольтметр	204
4.6.3. Индикатор радиоактивности	206
4.6.4. Пробник для проверки однопереходных транзисторов	207
4.7. Полезные советы. Простые эксперименты с диодами и стабилитронами	208
4.7.1. Как снять ВАХ диода? (рис. 4.39)	208
4.7.2. Регулятор мощности на одном диоде (рис. 4.40)	209
4.7.3. Управление люстрой по двум проводам (рис. 4.41)	209
4.7.4. Простейший генератор шума (рис. 4.42)	210
4.7.5. Получение прямоугольных импульсов из синусоидального напряжения (рис. 4.43)	211
4.7.6. Стабилитрон — ограничитель постоянного напряжения (рис. 4.44)	212
4.7.7. Как «растянуть» шкалу вольтметра (рис. 4.45)	213
4.7.8. Подключение кассетного магнитофона или приемника к автомобильной сети (рис. 4.46)	214
4.7.9. Транзистор — переменный резистор (рис. 4.47)	215
4.7.10. Транзистор в качестве стабилитрона (рис. 4.48)	216
4.7.11. Транзистор как выпрямительный диод (рис.4.49)	218
4.7.12. Устройство для термоиспытаний транзисторов (рис. 4.50)	219
4.7.13. Определение цоколевки транзистора (рис. 4.51)	220
4.7. Задачи	222

Глава 5 Питание радиоэлектронных устройств от сети переменного тока	223
5.1. Однофазные выпрямители	223
5.2. Сглаживающие фильтры	228
5.2.1. Емкостные фильтры	229
5.2.2. Г-образные фильтры	231
5.3. Внешние характеристики выпрямителей	232

5.4. Стабилизаторы напряжения	233
5.4.1. Параметрические стабилизаторы напряжения	235
5.5. Для самостоятельного изготовления	236
5.5.1. Приставка-автомат к блоку питания [4]	236
5.5.2. Стабилизатор в адаптере [5]	239
5.5.3. Электрошоковое средство защиты [6]	240
5.5.4. Формирователь биполярных напряжений [7]	242
5.5.5. Источники питания с конденсаторным делителем напряжения	242
5.5.6. Блок питания с регулируемым выходным напряжением	246
5.5.7. Блок питания со стабилизатором компенсационного типа	248
5.6. Полезные советы	250
5.6.1. Номограммы для расчета RC- и LC- фильтров нижних частот	250
5.6.2. Питание радиоаппаратуры от бортовой сети автомобиля	253
5.7. Задачи	253
Глава 6. Усилители звуковой частоты	255
6.1. Параметры и характеристики усилителей звуковой частоты (УЗЧ)	255
6.2. Отыскание неисправностей в УЗЧ	264
6.3. Познакомьтесь с децибелами	266
6.4. Для самостоятельного изготовления	271
6.4.1. Мощный УЗЧ	271
6.4.2. Простой усилитель мощности	272
6.4.3. УЗЧ с отрицательной обратной связью	272
6.4.4. Двухсторонний телефон	274
6.4.5. УЗЧ для радиоприемника	277
6.5. Полезные советы	278
6.5.1. Фильтры громкоговорителей	278
6.5.2. Выходной фильтр	280
6.5.3. Измерение входного сопротивления транзисторного УЗЧ	281
6.5.4. Измерение выходного сопротивления транзисторного УЗЧ	283
6.5.5. Измерение сопротивления катушки электро- динамического громкоговорителя	283
6.5.6. Измерение выходной мощности УЗЧ	285
6.5.7. Практические советы	286
6.6. Задачи	286

Глава 7. Основные сведения об интегральных микросхемах	289
7.1. Общие сведения	289
7.2. Эксперименты с микросхемой К155ЛА3	298
7.3. Кратко о микросхемах серии КМОП	303
7.4. Для самостоятельного изготовления	305
7.4.1. Автомат «бегущий огонь»	305
7.4.2. Электронный мини-кегельбан [8]	308
7.4.3. Ультразвук против грызунов [9]	310
7.4.4. Комбинированный бета-гамма радиометр [10]	313
7.4.5. Индикатор радиации	314
7.4.6. Звучащий брелок [11]	316
7.4.7. Переключатель гирлянд на светодиодах [12]	319
7.4.8. Светодинамическое устройство «бегущий огонь» [13]	320
7.4.9. Радиоприемник без катушек индуктивности [14]	322
7.4.10. УКВ-приемник на два диапазона [17]	326
7.4.11. Микроприемник на К174ХА36 [15]	331
7.4.12. Пробник для проверки годности операционных усилителей [35]	336
7.4.13. Пробник для операционных усилителей [36]	337
7.4.14. Логический ТТЛ-пробник [16]	338
7.5. Полезные советы	344
7.5.1. Подключение динамической головки к элементам ТТЛ [18]	344
7.5.2. В заключение несколько практических советов по изготовлению самодельных печатных плат	345
7.6. Задачи	346
Глава 8 Автогенераторы	347
8.1. Условия самовозбуждения автогенераторов	347
8.2. LC-автогенераторы	351
8.3. RC-автогенераторы	354
8.4. Автогенераторы гармонических колебаний на элементах с отрицательным сопротивлением	356
8.5. Стабилизация частоты в автогенераторах	358
8.6. Принцип действия мультивибратора	361
8.7. Для самостоятельного изготовления	365
8.7.1. Генератор для настройки радиоаппаратуры [19]	365
8.7.2. Генератор ВЧ [20]	366
8.7.3. Перестраиваемый генератор синусоидального сигнала [21]	368
8.7.4. Комбинированный генератор	370
8.7.5. Щуп-генератор на диоде с лямбда-характеристикой	375

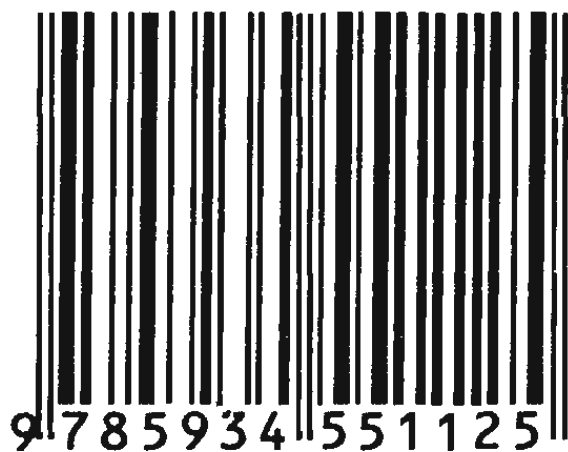
8.7.6. LC-генератор на логической микросхеме	379
8.7.7. Дистанционное прослушивание магнитофона [22]	380
8.7.8. Пробник для проверки кварцевых резонаторов [23]	382
8.7.9. Полезные советы	384
8.8. Задачи	385
Глава 9 Телефон в вашем доме	387
9.1. Детали телефонных аппаратов	387
9.1.1. Телефон	387
9.1.2. Микрофон	388
9.1.3. Звонок	388
9.1.4. Трансформатор	389
9.1.5. Другие детали	390
9.2. Схемы телефонных аппаратов	391
9.3. Для самостоятельного изготовления	394
9.3.1. Простой телефон [24]	394
9.3.2. Усилитель к телефону	395
9.3.3. Телефонный квазиблокиратор [25]	397
9.3.4. Блокировка на динисторах [26]	399
9.3.5. Электронная телефонная трубка [26]	399
9.3.6. Блокиратор межгорода [27]	402
9.3.7. Приставка для записи телефонных разговоров [28]	405
9.3.8. Защита от «телефонного пиратства» [28]	407
9.3.9. Прибор оперативного контроля телефонных аппаратов	409
9.4. Полезные советы	412
Глава 10. Антенные устройства	415
10.1. Общие сведения	415
10.2. Характеристики и параметры антенн	417
10.3. Антенны для приема радиовещательных передач	420
10.3.1. Г- и Т-образные антенны	420
10.3.2. Антенна типа «метелочка»	420
10.3.3. Спиральные комнатные антенны	421
10.3.4. Штыревые антенны	421
10.3.5. Ферритовые антенны	422
10.3.6. Рамочные антенны	428
10.4. Антенны внешние дополнительные и с переизлучением сигнала	429
10.5. Комнатные телевизионные антенны	430
10.6. Зигзагообразные телевизионные антенны	436
10.7. Конструкция и параметры коаксиальных кабелей	442

10.8. Для самостоятельного изготовления	445
10.8.1. Рамочная средневолновая антенна [30]	445
10.8.2. Необычное использование осветительной сети [31]	446
10.8.3. Приемная комнатная антенна	450
10.8.4. Активный ответвитель ТВ сигнала	451
10.8.5. Пассивный ответвитель ТВ сигнала	454
10.8.6. Зигзагообразная антенна из магнитных дисков [33]	455
10.8.7. Простые радиомикрофоны [37]	456
10.9. Полезные советы	458
Глава 11. Распространение радиоволн	460
Глава 12. Занимательные задачи и кроссворды	
по радиоэлектронике	468
Знаете ли вы радиоэлектронику?	468
Занимательные задачи	468
Ответы к задачам и кроссвордам	477
Ответы к задачам главы 2:	477
Ответы к задачам главы 3:	478
Ответы к задачам главы 4:	479
Ответы к задачам главы 5:	479
Ответы к задачам главы 6:	481
Ответы к задачам главы 7:	482
Ответы к задачам главы 8:	483
Ответы к задачам главы 12:	484
Ответы к кроссворду № 1 «Радиоэлектроника»	485
Ответы к кроссворду № 2 «Радиоэлектроника»	486
Ответы к кроссворду № 3 «В мире электричества»	487
Приложения	488
Используемая литература	493

Издательство «СОЛОН-Р»
129337, Москва, а/я 5
Телефоны:
(095) 254-44-10, 252-36-96, 252-25-21
E-mail: Solon.Pub@relcom.ru

*Приглашаем к сотрудничеству авторов — специалистов
в области компьютерных технологий
E-mail: Solon-Avtor@coba.ru*

ISBN 5-93455-112-4



ООО Издательство «СОЛОН-Р»
ЛР № 066584 от 14.05.99
Москва, ул. Тверская, д. 10, стр. 1, ком. 522
Формат 60 × 88/16. Объем 32 п. л. Тираж 5000
АООТ «Пандора-1»
Москва, Открытое ш., д. 28
Заказ № 153

ВЫПУСК

6



В. В. БЕССОНОВ

ЭЛЕКТРОНИКА ДЛЯ НАЧИНАЮЩИХ И НЕ ТОЛЬКО



**ПЕРВЫЕ ШАГИ В РАДИОЭЛЕКТРОНИКЕ
ЭЛЕКТРОННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ДОМА
ЗАНИМАТЕЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ И КРОССВОРДЬ
ЗНАКОМСТВО С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ
ПРИБОРАМИ И МИКРОСХЕМАМИ**

к книге прилагается дискета