транзисторные радиоприемники



А. ПОЧЕПА
П. САНАСЮК

А. ПОЧЕПА, П. ПАНАСЮК

ТРАНЗИСТОРНЫЕ РАДИОПРИЕМНИКИ



ОДЕССА — 1970

6Ф2.12
П65

В последнее время транзисторные радиоприемники отечественного производства завоевали широкую популярность. Они удобны, надежны в эксплуатации, долговечны. В большинстве случаев при выходе из строя приемник не обязательно нести в мастерскую — неисправность можно устранить в домашних условиях.

Авторы настоящей книги поставили своей целью помочь многочисленным радиолюбителям, владельцам транзисторов обнаружить неисправность, установить причину отказа в работе, самим осуществить необходимый ремонт аппаратуры.

Признаки и причины неисправностей сведены в таблицы, что облегчает возможность получить нужные справки.

Книга рассчитана на широкий круг владельцев транзисторных радиоприемников, радиолюбителей и тех, кто занимается ремонтом радиоаппаратуры.

3-4-3
51-70М

КНИЖНАЯ ФАБРИКА им. М. В. ФРУНЗЕ

I. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТРАНЗИСТОРНЫХ ПРИЕМНИКАХ И ИСТОЧНИКАХ ПИТАНИЯ

1.1. ЗАДАЧИ, ВЫПОЛНЯЕМЫЕ ПРИЕМНИКАМИ

Радиоприемник является одним из элементов радиоприемного устройства, которое состоит из приемной антенны, радиоприемника и оконечного прибора (рис. 1.1). Перечисленные элементы выполняют следующие функции:

приемная антенна улавливает энергию электромагнитных волн и преобразовывает ее в энергию токов высокой частоты;

радиоприемник выделяет из всех принятых сигналов сигналы, посылаемые одной передающей станцией, преобразовывает их и усиливает до величины, необходимой для нормальной работы оконечного прибора;

оконечный прибор (телефон или громкоговоритель) преобразовывает энергию электрических колебаний в звуковую.

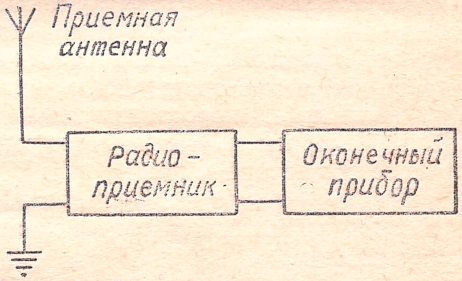


Рис. 1.1. Блок-схема радиоприемного устройства.

Из изложенного следует, что каждое радиоприемное устройство, предназначенное для приема программ радиовещательных станций, должно решать такие задачи:

1) отзываться на изменения электромагнитного состояния окружающего пространства;

2) выделять из множества сигналов и помех, наведенных в приемной антенне, высокочастотные модулированные колебания какой-нибудь одной передающей радиостанции;

3) выделять из модулированных колебаний высокой частоты модулирующие сигналы, т. е. сигналы, которыми были промодулированы высокочастотные колебания на передающей станции;

4) усиливать мощность выделенных полезных сигналов до величины, необходимой для нормальной работы оконечного прибора;

5) воспроизводить речь и музыку, передаваемые радиовещательными станциями с минимальными искажениями.

Первую из перечисленных задач выполняет приемная антенна, вторую — перестраиваемые колебательные контуры, третью — детектор, четвертую — усилительные ступени приемника и пятую — приемник в целом и громкоговоритель (или телефон).

1. 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И КЛАССИФИКАЦИЯ ТРАНЗИСТОРНЫХ ПРИЕМНИКОВ

Транзисторным приемником называют радиоприемник, в котором функции усиления и преобразования принятых антенной сигналов выполняют полупроводниковые приборы (германиевые и кремниевые диоды и транзисторы)[1].

Подобно ламповым радиовещательным приемникам транзисторные приемники классифицируют, т. е. распределяют на группы, по ряду отличительных признаков.

Так, в зависимости от приспособленности для переноски, а также веса и размеров, транзисторные приемники делят на переносные и непереносные.

По размерам различают приемники нормальных габаритов, малогабаритные и миниатюрные.

По особенностям схемы приемники делят на супергетеродинные, регенеративные, сверхрегенеративные, приемники прямого усиления и приемники с рефлексными усилительными ступенями.

По диапазону принимаемых волн различают длинноволновые, средневолновые, коротковолновые, длинно- и средневолновые, средне- и коротковолновые, всеволновые и ультракоротковолновые транзисторные приемники.

По виду модуляции принимаемых несущих колебаний транзисторные приемники делят на приемники АМ, АМ—ЧМ и АМ—ФМ сигналов.

1. 3. ОСНОВНЫЕ КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРИЕМНИКОВ

О качестве транзисторных приемников судят по их электрическим, акустическим и другим показателям, отражающим технические и эксплуатационные свойства приемника, его надежность, долговечность и соответствие эстетическим требованиям.

К числу основных качественных показателей приемника относят: чувствительность, избирательность, диапазон принимаемых частот, качество воспроизведения, экономичность работы, надежность, внешний вид.

---

[1] Термин «транзистор» происходит от соединения начала и конца двух английских слов: *transfer*, что означает *переносить* и *resistor* — *сопротивление*.

Под чувствительностью приемника понимают его способность отзываться на слабые сигналы, принятые антенной.

Чувствительность оценивают тем минимальным уровнем сигнала на входе приемника, при котором на его выходе выделяется установленная для данного приемника мощность. Чем ниже этот уровень, т. е. чем меньше то напряжение, которое следует подать на вход приемника для получения на выходе заданной мощности, тем выше чувствительность.

Так как подводимое к оконечному прибору напряжение зависит от коэффициентов усиления ступеней приемника, то с увеличением числа транзисторов в схеме чувствительность приемника обычно возрастает. Следует, однако, иметь в виду, что реализовать высокую чувствительность приемника можно только при условии снижения уровня собственных шумов. Если же на входе приемника будет работать «шумящий» транзистор или усилительные ступени будут пропускать слишком широкую полосу частот, то добиться удовлетворительного приема дальних радиостанций не удастся.

Высокочувствительный приемник ценится дороже низкочувствительного, так как, обеспечивая большее усиление слабых сигналов, он позволяет уверенно принимать большее число радиостанций.

Чувствительность современных транзисторных приемников колеблется в пределах 15 ÷ 300 *мкв* (со входа для внешней антенны) и 0,7 ÷ 2,0 *мв/м* с внутренней магнитной антенной.

Избирательностью приемника называют его способность выделять из всего множества наведенных в антенне различных по частоте сигналов те из них, на которые настроены колебательные контуры. Избирательность определяют по ослаблению сигналов, отличающихся по частоте на 10 *кгц* от частоты настройки приемника. Приближенно об избирательности судят по резонансной характеристике приемника. Чем острее эта кривая, тем слабее прослушиваются соседние мешающие станции и, следовательно, тем выше избирательность по «соседнему каналу».

Для оценки качества приемника прямого усиления достаточно одного показателя, характеризующего способность приемника отстраиваться от сигналов мешающих станций. Об этом показателе (так называемой избирательности по соседнему каналу) и шла речь выше. Супергетеродинному же приему свойственны не только помехи от соседних станций, но и от передатчиков, работающих на частоте так называемой симметричной или зеркальной помехи (рис. 1. 2), поэтому способность супергетеродинного приемника отстраиваться от сигналов мешающих станций характеризуют двумя показателями: избирательностью по соседнему каналу и избирательностью по зеркальному каналу.

Чем выше избирательность, тем лучше приемник, так как тем меньше мешают приему выбранной станции другие близкие по частоте радиостанции.

В диапазоне длинных и средних волн избирательность по соседнему каналу приемника I класса — не менее 46 *дб*[1], а для переносных приемников IV класса — не менее 16 *дб*.

Представление о степени ослабления сигнала зеркального канала дают следующие цифры: для приемников I класса избирательность по зеркальному каналу должна быть не менее 46 *дб* на длинных волнах, 26 *дб* на средних, 14 *дб* на коротких и 22 *дб* на УКВ; для переносных приемников IV класса избирательность по зеркальному каналу на длинных и средних волнах должна быть не менее 16 *дб*[2].

Качество воспроизведения определяется способностью приемника создавать на своем выходе колебания напряжения и тока, приближающиеся по форме к огибающей модулированных колебаний принимаемой станции. Чем меньше искажения, вносимые приемником, и чем точнее он настроен на принимаемую станцию, тем выше качество воспроизведения.

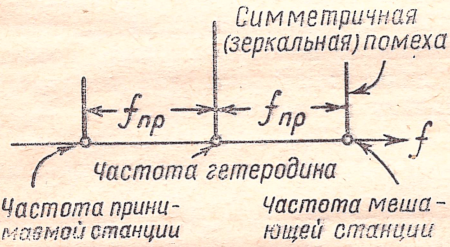


Рис. 1.2. Расположение зеркальной помехи относительно сигнала принимаемой станции

Под экономичностью работы приемника понимают затраты на его питание электрической энергией. Чем ниже напряжение выпрямителя или батареи и чем меньше ток, потребляемый цепями приемника, тем более экономичным является данный приемник. Мощность, потребляемая приемниками с автономным питанием, не превышает 0,3 *вт* для приемников IV класса и 0,5 *вт* для приемников II и III классов.

Надежностью вообще называют свойство того или иного изделия сохранять свои показатели в заданных пределах и в заданных условиях эксплуатации. Надежность приемника зависит в основном от того, как он спроектирован и выполнен, а также от того, как с ним обращаются и как предохраняют от неблагоприятно воздействую-

---

[1] *Дб* — это сокращенное обозначение децибела. Такое название получила логарифмическая единица усиления или ослабления мощности, напряжения, тока и других величин.

Ослабление (или усиление) напряжения или тока в децибелах определяют по формулам

$$k_{\text{н}} = 20 \lg \frac{U_2}{U_1} \quad \text{и} \quad k_{\text{I}} = 20 \lg \frac{I_2}{I_1},$$

где U_1 и I_1 — напряжение и ток на входе какого-нибудь устройства, U_2 и I_2 — напряжение и ток на выходе этого же устройства.

[2] Избирательностям 46 и 16 *дб* соответствуют ослабления зеркальных помех в 200 и 6,3 раза.

щих факторов (сотрясения и удары, повышенная температура, пыль и т. п.). Чем меньше деталей содержит приемник, чем выше их качество, чем легче выбранные режимы работы деталей и выше культура производства на заводе-изготовителе, тем надежнее данный приемник.

Последним показателем, характеризующим качество приемника, является внешний вид. Будущий владелец транзисторного приемника обращает внимание на форму приемника, качество декоративно-отделочных материалов и сочетание цветов частей футляра и органов управления не только потому, что отличный внешний вид радует глаз, но и по той причине, что обычно конструкторско-эстетические свойства приемников отражают их технический уровень.

1.4. БЛОК-СХЕМЫ ПРИЕМНИКОВ

Блок-схемой радиоприемника или другого радиоэлектронного (или электронного) устройства называют схему, поясняющую в общих чертах (с помощью условных обозначений) состав устройства и взаимосвязь между его отдельными частями (блоками)[1].

Из рис. 1.3, на котором изображена блок-схема приемника прямого усиления, видно, что последний состоит из входной цепи, усилителя высокой частоты (УВЧ), детектора, усилителя низкой частоты (УНЧ) и громкоговорителя (или телефона). Перечисленные элементы выполняют следующие функции:

1) входная цепь, содержащая один или несколько колебательных контуров, настроенных на частоту принимаемой станции, выделяет из всех сигналов, принятых антенной, полезные сигналы и ослабляет сигналы других мешающих станций;

2) усилитель высокой частоты тоже выделяет полезные сигналы и одновременно усиливает их до величины, при которой нормально (без искажений) работает детектор;

3) детектор преобразовывает амплитудно-модулированные колебания высокой частоты в колебания низкой (звуковой) частоты, т. е. выделяет из модулированных колебаний модулирующие сигналы;

4) усилитель низкой частоты усиливает напряжение и мощность колебаний низкой частоты до величин, обеспечивающих выделение в оконечном приборе заданной неискаженной мощности.

Приемники прямого усиления проще супергетеродинных и в изготовлении, и в налаживании, и в ремонте. Однако существенным недостатком их является низкая избирательность и неудовлетво-

---

[1] Под блоком понимают объединение отдельных элементов устройства, выполняющих какую-нибудь одну или несколько функций.

рительная форма резонансной характеристики. По этой причине, а также вследствие трудностей создания высокочувствительного и устойчивого в работе приемника прямого усиления почти все радиовещательные приемники, выпускаемые промышленностью, строят по супергетеродинной схеме.

Блок-схема супергетеродинного приемника представлена на рис. 1.4. Сравнивая схемы рис. 1.3 и 1.4, нетрудно видеть, что

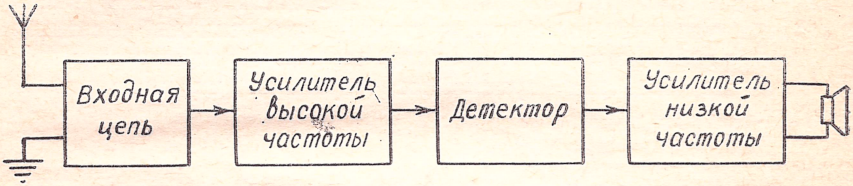


Рис. 1.3. Блок-схема приемника прямого усиления

супергетеродинный приемник отличается от приемника прямого усиления тем, что в нем имеется два новых блока: преобразователь частоты и усилитель промежуточной частоты (УПЧ). Назначение первого — преобразовывать высокочастотные модулированные коле-

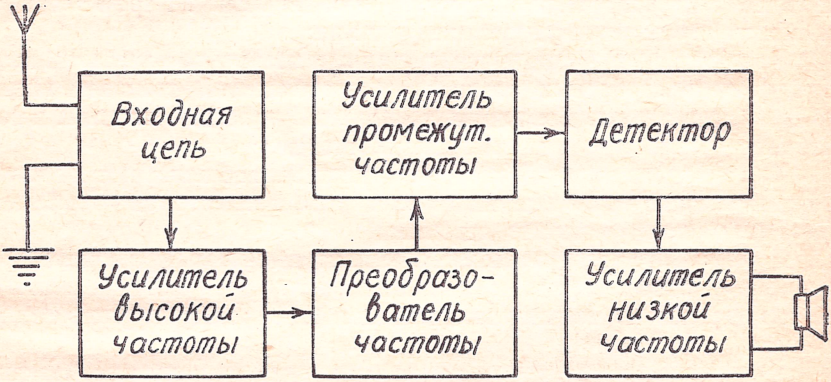


Рис. 1.4. Блок-схема супергетеродинного приемника

бания принимаемой станции в высокочастотные колебания другой (так называемой промежуточной) частоты без какого-либо изменения формы огибающей принимаемых модулированных колебаний. Назначение второго блока — (УПЧ) — усиливать образующиеся на выходе преобразователя колебания промежуточной частоты, выделяя при этом из множества сигналов, отличающихся

друг от друга по частоте, сигналы промежуточной частоты одной (принимаемой) станции.

Преобразователь частоты состоит из маломощного генератора (гетеродина), генерирующего в заданном диапазоне устойчивые по частоте и достаточные по амплитуде колебания высокой частоты, и смесителя, к которому подводятся колебания гетеродина и принимаемого сигнала.

Усилитель промежуточной частоты, представляющий собой резонансный или полосовой усилитель высокой частоты, выполняет в транзисторных приемниках основную роль в обеспечении заданного усиления, поэтому он обычно состоит из двух-трех усилительных ступеней.

В заключение несколько слов о соотношении между выпускаемыми промышленностью приемниками прямого усиления и супергетеродинами. По схеме приемника прямого усиления построены приемники «Маяк-I», «Микро», «Микрон», «Эра-2М». Все остальные настольные малогабаритные и миниатюрные приемники, а также радиолы (см. приложение) строят по супергетеродинной схеме.

1. 5. ОСОБЕННОСТИ СХЕМ ТРАНЗИСТОРНЫХ ПРИЕМНИКОВ

Несмотря на то, что электровакуумные и полупроводниковые приборы существенно отличаются друг от друга своим устройством и протекающими в них процессами, принципы построения ламповых и транзисторных приемников одинаковы:

каждый из них состоит из ряда ступеней, выполняющих в определенной последовательности функции выделения, преобразования и усиления сигналов;

источники сигналов включены в цепи управляющих электродов усилительных элементов, а нагрузки — в цепи управляемых[1];

для передачи сигналов от одной ступени к другой используются одни и те же элементы и схемы связи.

Однако это сходство принципов отнюдь не означает тождественности[2] структурных[3] и принципиальных схем приемников. Вследствие характерных свойств полупроводниковых триодов схемы транзисторных и ламповых приемников несколько отличаются друг от друга. Применительно к транзисторным приемникам эти отличия заключаются:

в неполном включении колебательных контуров (рис. 2.17);

---

[1] Управляющими электродами в лампе и транзисторе являются соответственно управляющая сетка и база (в схеме с ОЭ), а управляемыми — анод и коллектор.

[2] Тождественность означает сходность.

[3] Структурной схемой приемника называют его блок-схему.

применении нейтрализации внутренней обратной связи (рис. 2.19),

разделении функций выделения и усиления полезных сигналов между разными ступенями (см. стр. 49);

вводе в схему приемника термостабилизирующих элементов (рис. 2.52)

и в других изменениях.

Более подробно перечисленные отличия и вызвавшие их причины описаны в следующем разделе.

I. 6. ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ТРАНЗИСТОРНЫХ ПРИЕМНИКОВ

Малые мощности, потребляемые транзисторными приемниками, позволяют питать их от самых различных по устройству и развиваемой мощности источников электрической энергии, начиная от сети переменного тока и кончая почвой, точнее, разностью потенциалов между ее отдельными точками.

На практике непереносные транзисторные приемники питают от сетей переменного тока напряжением 127 и 220 *в*, аккумуляторов, гальванических элементов и термоэлектрических генераторов, а карманные и миниатюрные приемники — от гальванических элементов, аккумуляторов и в отдельных случаях от «солнечных» батарей и таких необычных источников, как генераторы карманных фонарей, электродинамические микрофоны, электромагнитные поля местных мощных радиостанций и др.

В неэлектрифицированных районах приемники питают от щелочных и кислотных аккумуляторов, гальванических элементов и термоэлектрических генераторов. При выборе типа аккумулятора, часто служащего не только для питания приемника, но и для других целей, руководствуются сравнительными данными (табл. 1.1).

К источникам питания транзисторных приемников предъявляют определенные требования. Важнейшими из них являются: достаточные мощность и емкость источника, постоянство напряжения, малое внутреннее сопротивление, длительные сроки службы и сохранности, простота эксплуатации, минимальный саморазряд, широкий интервал рабочих температур, а для источников питания переносных приемников, кроме того, малые размеры и вес.

Из источников, удовлетворяющих требованиям по мощности и напряжению, лучшими считают те, которые обладают большими емкостью, сроком службы и сохранностью, более широким интервалом рабочих температур и меньшими внутренним сопротивлением, размерами и весом.

Основными источниками питания переносных транзисторных приемников являются: герметичные никель-кадмиевые аккумуляторы и батареи типов Д = 0,06; Д-0,1; Д-0,2; 2Д-0,1; 7Д-0,1, воздушно-цинковые батареи со щелочным электролитом типа

Таблица 1.1.

Достоинства и недостатки кислотных и щелочных аккумуляторов

Качества аккумуляторов	Типы аккумуляторов	
	кислотные	щелочные
Достоинства	1. Допускают кратковременно большие разрядные токи, чем щелочные аккумуляторы 2. Напряжение в процессе разряда понижается только на 15% напряжения свежезаряженного аккумулятора 3. Имеют более высокий (75%) по сравнению с щелочными аккумуляторами коэффициент полезного действия. 4. Допускают частичный ремонт	1. Допускают разряд до любого напряжения 2. Проще в обслуживании 3. Превосходят кислотные по сроку службы 4. Не требовательны к качеству воды (можно использовать чистую питьевую воду) 5. Не чувствительны к перезарядке 6. Превосходят кислотные по числу (25) ватт-часов, приходящихся на 1 *кг* веса аккумулятора (вместо 10÷20 у кислотных аккумуляторов) 7. Выдерживают длительное хранение в незаряженном состоянии 8. Имеют меньший вес на единицу емкости 9. Превосходят кислотные по механической прочности 10. Менее чувствительны к коротким замыканиям
Недостатки	1. Допускают разряд только до напряжения 1,8 *в* на одну банку 2. Требуют более тщательного ухода, чем щелочные 3. Отличаются меньшим сроком службы по сравнению со щелочными 4. Требуют для приготовления электролита дистиллированной или чистой дождевой воды 5. Не допускают перезарядки 6. Уступают щелочным аккумуляторам по числу ватт-часов, приходящихся на 1 *кг* веса аккумулятора и по весу на единицу емкости 7. Портятся при длительном хранении в разряженном состоянии 8. Уступают щелочным по механической прочности 9. Оказывают вредное воздействие на аппаратуру	1. Допускают кратковременно меньшие разрядные токи, чем кислотные 2. Напряжение понижается в процессе разряда на 33% напряжения свежезаряженного аккумулятора 3. Имеют более низкий (45%) по сравнению с кислотными аккумуляторами коэффициент полезного действия 4. Не подлежат ремонту

«Крона ВЦ», марганцево-цинковые элементы типа 1,6-ФМЦ-у-3,2 («Сатурн»), элементы 316 и батареи типа 3,7-ФМЦ-0,5 (старое название КБС-Л-0,5). Кроме перечисленных источников переносные транзисторные приемники питают от ртутно-цинковых (РЦ) и медно-магниевых элементов.

Основные характеристики некоторых типов герметичных никель-кадмиевых аккумуляторов, ртутно-цинковых и марганцево-цинковых элементов и батарей, а также их размеры и вес приведены в таблицах 1.2 ÷ 1.8.

Таблица 1.2

Указания по эксплуатации герметичных никель-кадмиевых аккумуляторов

Герметичные никель-кадмиевые аккумуляторы и батареи поступают в продажу отформированными и разряженными, поэтому перед употреблением их необходимо зарядить (рис. 1.5-*а* и табл. 1.2) при температуре воздуха не ниже +18° С и не выше +35° С. Перезаряжать аккумуляторы и батареи не рекомендуется, поэтому, если герметичный аккумулятор проработал меньше нормальной длительности разряда, то его подвергают неполному заряду. Во избежание вспучивания, разгерметизации, а в некоторых случаях и взрыва аккумулятора нельзя превышать нормальные значения зарядного тока и длительности заряда.

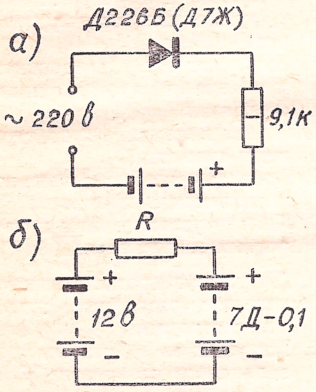


Рис. 1.5

а) Схема простейшего выпрямителя для заряда аккумуляторных батарей, *б*) схема соединения 12-вольтового акумулятора с аккумуляторной батареей 7Д-0,1 для заряда последней

Аккумуляторную батарею 7Д-0,1 можно заряжать не только от сети переменного тока, как показано на рис. 1.5, но и от источников постоянного напряжения, например, автомобильного аккумулятора напряжением 12 вольт. Схема подключения батареи 7Д-0,1 к 12-вольтовому аккумулятору приведена на рис. 1.5-*б*. Резистор *R* сопротивлением 330 *ом* служит для уменьшения тока до 15 *ма* в начале заряда и ограничения напряжения на батарее 7Д-0,1 до 9 вольт в конце заряда.

Следует внимательно следить за тем, чтобы герметичная батарея не разряжалась до напряжения менее одного вольта на аккумулятор, так как отдача батареей полной разрядной емкости вызывает «переполюсовку» и выход батареи из строя.

Максимально допустимым током разряда дискового аккумулятора при нормальных температурах считают ток, численно равный половине номинальной емкости, т. е. 30 *ма* для аккумуляторов типа Д-0,06, 50 *ма* для аккумуляторов Д-0,1 и 100 *ма* для аккуму-

Таблица 1.2

Основные характеристики некоторых типов герметичных дисковых, цилиндрических и прямоугольных никель-кадмиевых аккумуляторов

Характеристики	Типы аккумуляторов						
	Д-0,06	Д-0,1	Д-0,2	ЦНК-0,2	ЦНК-0,45	ЦНК-0,85	КНГ-1,5
Нормальный зарядный ток, *ма*	6	10÷12	20	20	45	85	150
Длительность нормального заряда, *час*	15	15	20	15	15	15	15
Номинальный ток разряда, *ма*	6	12	20	20	45	85	200
Длительность разряда, *час*	10	10	10	10	10	10	7,5
Интервал рабочих температур, °С	+5÷+35	+5÷+35	+5÷+35	+5÷+40	+5÷+45	+5÷+40	—
Остаточная емкость после 30 суток саморазряда, *а·ч*	0,042	0,07	0,14	0,14	0,32	0,60	1,05
Размеры							
ширина (диаметр), *мм*	15,7	20	27	14	14	14	14 ÷ 15
высота, *мм*	6,2 ÷ 6,6	6,6÷6,9	9,7÷10,3	24,5	50	—	69 ÷ 71
длина, *мм*	—	—	—	—	—	—	35 ÷ 35,5
Вес, *г*	3,42	6,56	15,5	15	23	41	92 ÷ 98

Примечания:

1. Входящие в обозначения герметичных никель-кадмиевых аккумуляторов и батарей цифры и буквы означают: а) первые цифры — число последовательно соединенных аккумуляторов; б) следуемые за первыми цифрами буквы: Д — дисковый, Ц — цилиндрический, КН — кадмиево-никелевый, НК — никель-кадмиевый, Г — герметичный; в) следуемые за буквами цифры — номинальную емкость в амперчасах.

2. Номинальную емкость аккумулятор отдает при нормальном токе разряда и положительных температурах. При температуре —10° С аккумулятор отдает приблизительно половину номинальной емкости.

3. Номинальное напряжение каждого из приведенного в табл. 1.2 герметичных аккумуляторов равно 1,25 *в*, а конечное напряжение — 1,0 *в*.

4. Отрицательным полюсом в дисковых аккумуляторах является крышка, а в цилиндрических — корпус.

5. Гарантийный срок хранения — 12 месяцев. Фактический срок хранения некоторых образцов аккумуляторов превышает гарантийный срок в несколько раз.

6. Гарантийный срок службы — 100 циклов заряд — разряд для аккумуляторов типов Д-0,06 и Д-0,2 и 50 циклов для остальных аккумуляторов, приведенных в таблице. Срок службы цилиндрических аккумуляторов составляет 100÷300 циклов. Фактический срок службы нормально эксплуатируемых дисковых аккумуляторов может достигать 500 циклов.

ляторов Д-0,2. Следует, однако, иметь в виду, что при таких ускоренных разрядах аккумуляторы отдают только 0,6 ÷ 0,9 своей номинальной емкости. В морозную погоду (при температурах 0 ÷ — 15° С) дисковые аккумуляторы отдают еще меньше энергии — от 0,4 до 0,6 номинальной емкости.

Разряжать аккумуляторную батарею 7Д-0,1 рекомендуют током, не превышающим 10 *ма*.

Таблица 1.3

Размеры и вес некоторых типов герметичных никель-кадмиевых аккумуляторных батарей

Тип батареи	Размеры, *мм*			Вес, *г*
	ширина или диаметр	высота	длина	
7Д-0,1	23÷24	61,4÷62,2	—	60
2Д-0,2	27	22,5	—	29
3КНГЦ-0,2	18	75	—	50
5ЦНК-0,2	27,5	24	87	117
11ЦНК-0,45	33	99	56	350
12ЦНК-0,85	46	15	71	730

Таблица 1.4

Данные ртутно-цинковых элементов пуговичной серии

Тип элемента	Сопротивление цепи, на которую разряжается элемент, *ом*	Продолжительность работы (час) при температуре		Номинальная емкость, *а·ч*	Сохранность, мес.
		0° С	+20÷ ÷+50° С		
РЦ53	120	8	24	0,25	12
РЦ55	120	15	50	0,5	30
РЦ63	60	12	27	0,5	18
РЦ65	60	15	53	1,0	18
РЦ73	40	12	32	1,0	17
РЦ75	40	15	55	1,5	30
РЦ83	25	12	35	1,5	18
РЦ85	25	15	55	2,5	30

Примечания:

1. Э. д. с. ртутно-цинкового элемента равна 1,36 *в*.
2. Начальное напряжение пуговичного элемента при температуре 20° С составляет 1,25 *в*, а конечные напряжения при температурах 20° ÷ +50° и 0° С соответственно 1,0 и 0,9 *в*.
3. Ртутно-цинковые элементы хорошо сохраняются. Длительность хранения большинства типов элементов составляет 18 и более месяцев. Хранить элементы рекомендуют при температурах не выше 30° С в помещениях с умеренной влажностью.
4. При низких температурах (ниже 0° С) ртутно-цинковые элементы работают плохо.

Нижней рабочей температурой дисковых аккумуляторов считают температуру —20° С.

С увеличением числа циклов заряд-разряд емкость аккумулятора уменьшается. Согласно заводским техническим условиям после истечения половины срока службы допускается уменьшение емкости аккумулятора на 20%.

Хранят герметичные никель-кадмиевые аккумуляторы в разряженном состоянии в сухих проветриваемых помещениях с температурой + 10 ÷ +35° С.

В заключение следует отметить, что соединять аккумуляторы типа Д-0,06 в батареи можно только после предварительного отбора их по емкости и конечному напряжению. Если не выполнить этого требования, то при разряде батареи аккумуляторы разрядятся не до одного и того же напряжения и, следовательно, при последующем заряде некоторые из них получат излишнее количество энергии.

Таблица 1.5

Максимальные размеры и вес ртутно-цинковых элементов

Тип элемента	Серия	Максимальные		
		диаметр, *мм*	высота, *мм*	вес, *г*
РЦ11	миниатюрная	4,7	5,0	0,5
РЦ13	»	6	3,5	0,45
РЦ15	»	6,3	6,0	0,85
РЦ31	»	11,5	3,6	1,3
РЦ32	»	11,0	3,5	1,3
РЦ53	пуговичная	15,6	6,3	4,6
РЦ55	»	15,6	12,5	9,5
РЦ57	цилиндрическая	16,0	17,0	15,0
РЦ59	»	16,0	50,0	44,0
РЦ63	пуговичная	21,0	7,4	10,5
РЦ65	»	21,0	13,0	18,1
РЦ73	»	25,5	8,4	17,2
РЦ75	»	25,5	13,5	27,0
РЦ82	пуговичная с двойным корпусом	30,1	9,4	30,0
РЦ83х	холодостойкая	30,1	9,4	28,2
РЦ84	пуговичная с двойным корпусом	30,1	14,0	45,0
РЦ85х	холодостойкая	30,1	14,0	39,5
РЦ93	цилиндрическая	31,0	60,0	17,0

Примечания:

1. Все перечисленные в таблице элементы, за исключением холодостойких, предназначены для работы в интервале температур от 0° до +50° С.
2. Элементы холодостойкой серии работоспособны в интервале температур —30 ÷ + 50° С.

Таблица 1.6

Основные характеристики пуговичных марганцево-цинковых элементов

Тип элемента	Емкость, *а·ч*	Номинальный разрядн. ток, *ма*	Сохранность, мес.	Размеры, *мм*		Вес, *г*
				диаметр	высота	
МЦ-1к	0,1	2,2	15	15,6	6,6	4,1
МЦ-2к	0,3	2,2	15	21,0	4,4	8,2
МЦ-3к	0,4	10,0	15	25,5	8,4	14,5
МЦ-4к	0,9	10,0	15	30,1	9,4	21,5

Примечание. Напряжение пуговичного марганцево-цинкового элемента равно 1,5 *в*.

Краткие сведения об элементах 316 и 373

Используемые для питания ряда транзисторных приемников элементы 316 и 373 («Сатурн») представляют собой сухие цилиндрические элементы электрохимической системы цинк — двуокись марганца.

Основные их электрические характеристики (при температуре $+20°$ С $\div +25°$ С и прерывистом режиме разряда), а также размеры и вес приведены в таблице 1.7.

Таблица 1.7

Основные характеристики	Элементы	
	316	373
Начальное напряжение, *в*	1,52	1,55
Напряжение в конце разряда, *в*	0,9	0,85
Сопротивление внешней цепи, *ом*	300	5
Продолжительность работы свежеизготовленного элемента не менее, час.	130	—
Гарантийный срок хранения, мес.	9	18
Диаметр, *мм*	13,5 ÷ 14,5	32 ÷ 34
Высота, *мм*	49,0 ÷ 50,5	58 ÷ 61,5
Вес не более, *г*	20	115

Краткие сведения о батареях типа ФМЦ

Марганцево-цинковые батареи типов 3,7-ФМЦ-0,5 и 4,1-ФМЦ-0,7 (старые названия КБС-Л-0,5 и КБС-Х-0,7) состоят из трех последовательно соединенных стаканчиковых элементов. Основные электрические характеристики, размеры и вес батарей приведены в таблице 1.8.

Таблица 1.8

Основные характеристики	Тип батареи	
	3,7-ФМЦ-0,5	4,1-ФМЦ-0,7
Начальное напряжение батареи, *в*	3,7	4,1
Напряжение в конце разряда, *в*	2,0	2,0
Сопротивление внешней цепи, *ом*	10,0	10,0
Гарантийный срок хранения, мес.	6	8
Начальная емкость, *а-ч*	0,5	0,7
Емкость в конце срока хранения, *а-ч*	0,27	—
Длина, *мм*	63	63
Ширина, *мм*	22	22
Высота, *мм*	67	67
Вес, *г*	160	160

Краткие сведения о батареях типа «Крона»

Широко распространенные батареи типа «Крона ВЦ» представляют собой воздушно-цинковые батареи со щелочным электролитом. Напряжение батареи — 9 *в*, сопротивление внешней цепи — 900 *ом*, размеры: 16 × 26 × 49 *мм*, вес — 40 *г*. При нормальной эксплуатации батарея может работать 60 часов.

Батарея «Крона ВЦ» хорошо сохраняется — емкость ее через полгода хранения почти не уменьшается, через 9 месяцев она составляет 0,8, а через 12 месяцев — 0,5 начальной емкости.

Внутреннее сопротивление источника тока

Каждый гальванический элемент и аккумулятор оказывает прохождению тока некоторое сопротивление, называемое внутренним сопротивлением (R_u) источника тока. Чем больше э. д. с. поляризации[1] и чем хуже проводят электрический ток электролит, электроды и другие элементы конструкции источника тока, тем больше его внутреннее сопротивление.

Питать транзисторный приемник от элемента или батареи с большим внутренним сопротивлением невыгодно по трем причинам. Во-первых, это исключает возможность полностью использовать запасенную источником энергию. Во-вторых, приводит к более сильной зависимости напряжения и емкости источника питания от величины разрядного тока. В-третьих, угрожает опасностью возникновения искажений или самовозбуждения усилительных ступеней приемника из-за образования связи между ними через общий источник питания.

При выборе последнего следует учитывать, что:

[1] Поляризацией называют явление изменения потенциалов электродов в результате протекания через источник питания постоянного тока.

1) внутреннее сопротивление гальванического элемента или аккумулятора зависит от его конструкции, размеров и степени разряженности; чем больше размеры источника тока и чем меньше он разряжен, тем меньше его внутреннее сопротивление (R_u); практикой установлено, что к концу разряда R_u элемента или батареи увеличивается в 3 ÷ 4 раза; представление о величине R_u дают следующие цифры: на частоте 20 *гц* внутреннее сопротивление батареи «Крона ВЦ» равно 12 *ом*, внутреннее сопротивление батареи КБС-Х-0,7—17,5 *ом* и внутреннее сопротивление никель-кадмиевого аккумулятора КН-10—0,025 *ом*;

2) внутренние сопротивления гальванических элементов и батарей намного больше внутренних сопротивлений аккумуляторов той же емкости;

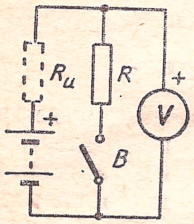


Рис. 1.6. Схема для измерения внутреннего сопротивления химического источника тока

3) внутренние сопротивления галетных элементов больше внутренних сопротивлений стаканчиковых;

4) внутренние сопротивления элементов и батарей изменяются с частотой, поэтому их относят к реактивным элементам схемы. Максимального значения достигает полное внутреннее сопротивление на низших частотах.

В заключение несколько слов об измерении R_u.

Существует несколько способов измерения внутреннего сопротивления химических источников тока. Наиболее простым из них является способ, основанный на определении изменения напряжения при увеличении тока через источник.

Процесс измерения заключается в следующем.

Собирают схему, изображенную на рис. 1.6, где R_u — внутреннее сопротивление источника тока, R — нормальное для данного источника сопротивление нагрузки (таблицы 1.2, 1.4, 1.6, 1.7 и 1.8), и записывают первое показание вольтметра (U_1). Затем вводят в схему (посредством выключателя B) сопротивление нагрузки R и записывают второе показание вольтметра (U_2). После этого определяют искомую величину по формуле: $R_u = \left(\frac{U_1}{U_2} - 1\right)R$.

Восстановление емкости разряженных марганцево-цинковых элементов и батарей

Теория и опыт показывают, что элементы, не подвергавшиеся глубокому разряду[1] и воздействию повышенной температуры, можно многократно регенерировать, т. е. восстанавливать утраченную ими емкость. Регенерацию лучше осуществлять не постоянным,

[1] То есть неразряженные до напряжения менее 0,7 *в*.

а изображенным на рис. 1.7 асимметричным переменным током частотой 50 *гц*.

Регенерируют разряженные, а также не бывшие в употреблении элементы и батареи следующим образом.

Собирают схему однополупериодного выпрямительного устройства (рис. 1.8), заряжают элемент (батарею) до напряжения 2 *n* вольт,

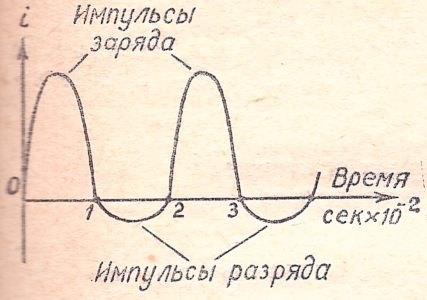


Рис. 1.7. Асимметричный переменный ток частотой 50 *гц*

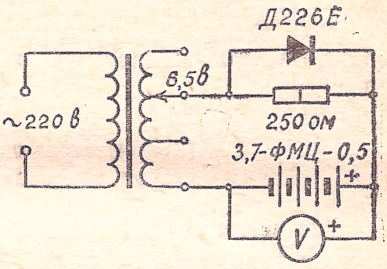


Рис. 1.8. Схема однополупериодного выпрямителя для заряда гальванических элементов и батарей

где *n* — число последовательно соединенных гальванических элементов. В качестве вентиля используют германиевый или кремниевый сплавной диод типа Д7А ÷ Д7Ж, Д226Б ÷ Д226Д или им подобный. Заряд ведут в течение не менее 16 мин, сообщая элементу или батарее емкость, равную приблизительно 1,2 емкости, отданной источником во время последнего разряда. Затем подзаряжен-

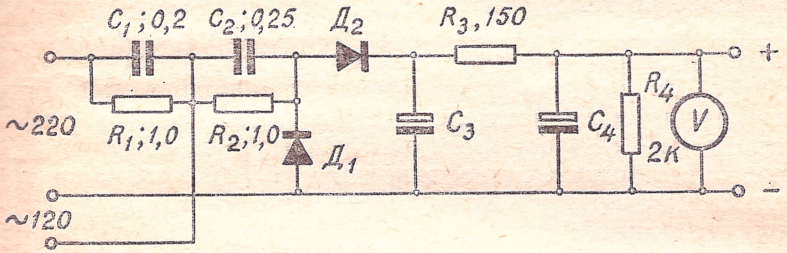


Рис. 1.9. Схема выпрямителя для заряда «Кроны», «3,7-ФМЦ-0,5» и других батарей напряжением 4,5 и 9,0 вольт

ный элемент или батарею отключают от выпрямителя и выдерживают его в ненагруженном состоянии в течение нескольких часов. После этого подзаряженный источник питания подключают к приемнику или к другому устройству.

Схема другого выпрямителя для подзаряда батарей «Крона» 3,7-ФМЦ-0,5 и других источников питания напряжением 4,5 и 9,0 *в* приведена на рис. 1.9. Конденсаторы C_1 и C_2 (бумажные типов КБ, КБГ-М или металло-бумажные типов МБМ, МБГЦ,

МБГО) должны быть рассчитаны на напряжение 250 ÷ 400 *в*. Диоды $Д_1$ и $Д_2$ — типа Д7Ж. Номинальные емкости и рабочие напряжения конденсаторов C_3 и C_4 соответственно 20 ÷ 40 *мкф* и 20 *в*.

Пользуясь этими выпрямителями, следует иметь в виду, что включать его в сеть можно только после присоединения к гнездам «+», «—» регенерируемой батареи. Если не сделать этого, то можно вывести из строя (пробить) конденсаторы C_3 и C_4.

Для увеличения срока службы батареи «Крона» заряжать ее нужно не после полного разряда, а по истечении 3 ÷ 5 часов работы.

Питание транзисторных приемников от термоэлектрогенераторов

Для питания ламповых батарейных радиоприемников «Родина-47», «Родина-52», «Искра» и других в 1953 году был разработан и выпущен промышленностью термоэлектрогенератор ТГК-3. Наименее надежным узлом его оказался вибропреобразователь, поэтому большинство сохранившихся к настоящему времени термоэлектрогенераторов непригодно для питания ламповых приемников. Однако если в ТГК-3 исправны термобатареи (анодная, развивающая напряжение 2 *в* при токе 2 *а*, и накальная, дающая напряжение 2 *в* при токе 0,5 *а*), то такой генератор можно успешно использовать для питания в домашних условиях транзисторных приемников. Подготовка термоэлектрогенератора заключается в отключении вибропреобразователя от анодной термобатареи и последовательном соединении термобатарей.

Если керосиновая лампа, являющаяся источником тепловой энергии для термоэлектрогенератора, не используется для освещения, то получить требуемое напряжение питания приемника можно регулированием интенсивности пламени. Если же лампа одновременно с обогревом термоэлектрогенератора освещает помещение, то необходимое напряжение питания можно получить подбором сопротивления резистора, включаемого последовательно с термоэлектрогенератором.

Питать транзисторные приемники от ТГК-3 выгодно и удобно, так как термоэлектрогенераторы не требуют ухода и больших затрат на топливо, устойчивы в работе, дают стабильное напряжение и не боятся коротких замыканий.

II. ФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ПРОТЕКАЮЩИЕ В ЦЕПЯХ ТРАНЗИСТОРНЫХ ПРИЕМНИКОВ

2.1. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ ТРАНЗИСТОРА

Для понимания работы усилителей, генераторов и других устройств на полупроводниковых приборах необходимо правильно представлять себе механизм работы транзистора. Полагая, что устройство плоскостного полупроводникового триода известно читателю, рассмотрим некоторые вопросы физики работы транзистора как усилительного элемента.

На рис. 2.1 условно показан разрез плоскостного транзистора структуры $p—n—p$ и два источника питания $Б_э^1$ и $Б_к$. Первый включен в прямом направлении и поэтому уменьшает напряженность $H_{бэ}$ электрического поля в эмиттерном переходе, а второй присоединен в обратном направлении, увеличивая тем самым напряженность $H_{бк}$ поля в коллекторном переходе. Благодаря высокой концентрации дырок[1] в эмиттере и уменьшению сил поля, препятствующих переходу их в базу, часть дырок преодолевает потенциальный барьер[2] и переходит в среднюю область кристалла, т. е. в базу. Чем выше (в известных пределах) напряжение источника питания $Б_э$, тем сильнее уменьшается напряженность $H_{бэ}$ внутреннего поля эмиттерного перехода и, следовательно, тем больше дырок переходит из эмиттера в базу. Одновременно с дырками, но в обратном направлении, т. е. из базы в эмиттер, переходят электроны. Оба эти тока протекают в одном направлении, так как поток электронов, направленный навстречу потоку дырок, не ослабляет, а, наоборот, усиливает его.

---

[1] Дыркой называют свободное место в кристаллической решетке полупроводника, образующееся в результате ухода со своей орбиты (например, под действием тепла) одного из валентных электронов. Таким образом, дырку можно рассматривать как частицу с зарядом, равным по величине и обратным по знаку заряду электрона. Под действием электрического поля дырки перемещаются подобно свободным электронам, но т. к. дырка представляет собой частицу с положительным зарядом, то направление ее движения противоположно направлению движения электронов.

[2] Потенциальным барьером электронно-дырочного перехода называют разность потенциалов p- и n-областей полупроводника.

Для облегчения уяснения протекающих в транзисторе процессов предположим, что в базу введены (или, иначе, инжектированы) четыре дырки *1*, *2*, *3*, *4*. Совершенно очевидно, что с поступлением их в базу положительный заряд эмиттера уменьшается на четыре единицы, а положительный заряд базы увеличивается на такую же величину. В результате этих изменений электрическая нейтральность полупроводника нарушается и между эмиттером и его выводом, а также между базой и ее выводом мгновенно возникают электрические поля, которые выбрасывают из эмиттера во внешнюю цепь электроны *5*, *6*, *7*, *8* и вытягивают в базу из внешней цепи электроны *9*, *10*, *11*, *12*.

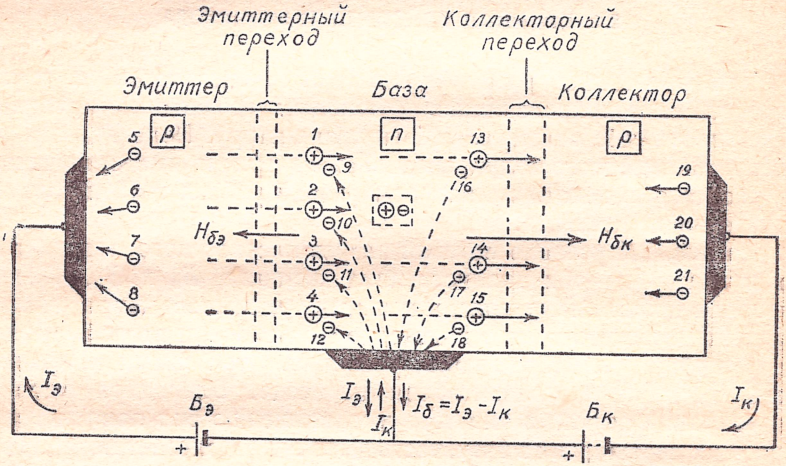


Рис. 2.1. Структура плоскостного транзистора и процессы, происходящие в нем

Таким образом, инжектирование в базу четырех дырок вызывает упорядоченное перемещение четырех зарядов, т. е. электрический ток в замкнутой цепи эмиттер — база — источник питания $Б_э$. Этот ток, обозначенный на рис. 2.1 буквой I с индексом $Э$, называют током эмиттера[1].

Поскольку втянутые в базу электроны 9, 10, 11, 12 стремятся занять места поближе к инжектированным дыркам *1*, *2*, *3*, *4*, в объеме базы образуются парные носители противоположных зарядов. Концентрация их максимальна у эмиттерного перехода и минимальна у коллекторного, поэтому возникшие пары дырка-электрон перемещаются в сторону коллектора. В процессе этого так

[1] Ток эмиттера в транзисторе структуры *p-n-p* образуется не только за счет упорядоченного движения дырок из эмиттера в базу, но и за счет встречного движения электронов из базы в эмиттер, но эта вторая составляющая тока эмиттера мала, т. к. концентрация примесей в базе во много раз меньше концентрации примесей в эмиттере.

азываемого диффузионного[1] движения дырок и их спутников электронов) некоторые из них рекомбинируют, т. е. исчезают (например, дырка *2* и электрон *10*).

Следует иметь в виду, что перемещение парных носителей зарядов в базе не означает возникновения в промежутке эмиттер — коллектор тока, т. к. результирующий заряд пары дырка — электрон равен нулю.

Предположим, что к коллекторному переходу приблизились три пары носителей зарядов: дырки (*13*, *14*, *15*) и электроны (*16*, *17*, *18*). Созданное источником питания $Б_к$ электрическое поле в коллекторном переходе таково, что его силы втягивают дырки в коллектор и препятствуют переходу в него электронов *16*, *17*, *18*. Так как при этом положительный заряд базы уменьшается на три единицы, а положительный заряд коллектора соответственно увеличивается, то между базой и ее выводом, а также между кооллектором и его выводом возникают электрические поля, силы которых выбрасывают из базы во внешнюю цепь электроны *16*, *17*, *18* и втягивают из внешней цепи в коллектор электроны *19*, *20*, *21*.

Таким образом, инжектирование из эмиттера в базу четырех дырок вызывает также упорядоченное перемещение трех (т. е. меньшего числа) зарядов в цепи база—коллектор—источник питания $Б_к$. Этот ток, обозначенный на рис. 2.1 буквой I с индексом $К$, называют током коллектора. В выводе базы он протекает в направлении, противоположном току $I_э$.

Так как одновременно с втягиванием «эмиттерных» дырок[2] из базы в коллектор в том же направлении перебрасываются и собственные («базовые») дырки, а в противоположном направлении наиболее быстрые электроны коллектора, то считают, что ток $I_к$ состоит из двух составляющих: управляемого тока $I_{ку}$, представляющего собой поток «эмиттерных» дырок из базы в коллектор, и неуправляемого тока $I_{к_0}$, представляющего собой поток «собственных» дырок базы в коллектор и поток «собственных» электронов коллектора в базу.

Из изложенного можно сделать следующие выводы:

1. Причиной появления токов в цепях эмиттера, базы и коллектора являются напряжения, приложенные к эмиттеру — базе и базе — коллектору транзистора.

2. Ток эмиттера транзистора структуры $p—n—p$ состоит из двух составляющих: управляющего тока $I_{эу}$ (рис. 2.2), представляющего собой поток дырок из эмиттера в базу и неуправляющего тока $I_{эну}$, представляющего собой поток электронов из базы в эмиттер.

---

[1] Диффузией называют самопроизвольное выравнивание концентрации вещества.

[2] То есть тех дырок, которые находились ранее в эмиттере, а затем были впрыснуты в базу.

Если обозначить отношение

$$\frac{I_{эу}}{I_{эу}+I_{эну}}=\frac{I^1_{эу}}{I_э}$$

через γ, то управляющий ток можно представить в виде

$$I_{эу}=\gamma I_э,$$

а неуправляющий в виде

$$I_{эну}=I_э(1-\gamma).$$

Ток $I_{эну}$ не оказывает влияния на ток коллектора, а только нагружает источник питания в цепи эмиттер — база, поэтому его желательно уменьшать. Осуществляют это при изготовлении транзистора путем увеличения эффективности эмиттера.

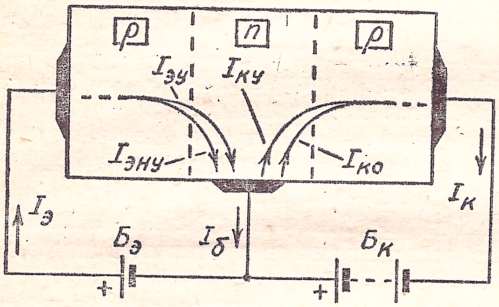


Рис. 2.2. Составляющие токов эмиттера, коллектора и базы

Ток $I_{эу}$ во много раз превышает ток $I_{эну}$, поэтому на практике считают, что $I_э \approx I_{эу}$.

3. При движении дырок в материале базы токи во внешних цепях транзистора отсутствуют; они появляются только в моменты пересечения дырками и электронами одного или обоих электронно-дырочных переходов.

4. Если обозначить отношение[2] $\frac{I_к-I_{к_0}}{I_э}$ через α_0, то ток коллектора можно представить в виде суммы

$$I_к=\alpha_0 I_э+I_{к_0},$$

а управляемый ток коллектора в виде произведения

$$I_{ку}=\alpha_0 I_э.$$

Неуправляемый ток коллектора $I_{к_0}$, называемый также тепловым или температурным током, слабо зависит от напряжения источника питания $Б_к$ (поэтому его и называют неуправляемым), но зато находится в сильной зависимости от температуры, резко увеличиваясь при ее повышении. Ток $I_{к_0}$ не производит полезной работы,

---

[1] Отношение $I_{эу}:I_э$ называют эффективностью эмиттера.

[2] Это отношение называют коэффициентом усиления транзистора по постоянному току в схеме с общей базой.

а, наоборот, приносит вред, дополнительно нагревая коллекторный переход, поэтому его стараются уменьшить.

5. В выводе базы протекает ток, равный $I_э - I_к$. Если бы в объеме базы не происходила рекомбинация, ток коллектора был бы равен току эмиттера и, следовательно, ток базы полностью отсутствовал. Чем меньше отличается ток коллектора от тока эмиттера, т. е. чем меньше ток базы, тем лучше транзистор. Отсюда следует: ток базы — это своеобразный показатель несовершенства транзистора и его нельзя считать управляющим фактором.

В заключение следует отметить, что хотя ток в базе между эмиттерным и коллекторным переходами не протекает, в целях упроще-

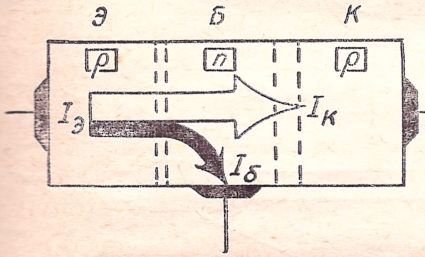


Рис. 2.3. Условное представление токов транзистора

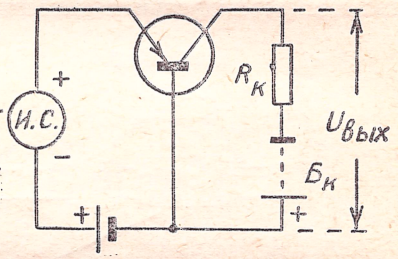


Рис. 2.4. К разъяснению физической сущности усиления

ния объяснений физических процессов можно допускать, что постоянный ток эмиттера разделяется в базе на два тока: относительно большой ток коллектора $I_к$ (рис. 2.3) и меньший ток базы $I_б$.

Что касается физической природы усиления сигналов с помощью транзистора, то ее представляют в следующем виде.

При вводе в цепь эмиттер — база источника усиливаемых сигналов (рис. 2.4), а в цепь коллектора нагрузки, например, резистора $R_к$, поток дырок, вводимых из эмиттера в базу, а следовательно, и число дырок в коллекторном переходе, изменяется. Если полярность сигнала такова, как показано на рис. 2.4, то сопротивление коллекторного перехода уменьшается и поэтому большая часть напряжения источника питания $Б_к$ приходится на нагрузку $R_к$, при перемене же знаков напряжения сигнала на обратные число дырок, проникающих в коллекторный переход, уменьшается, следовательно, его сопротивление увеличивается и напряжение источника питания $Б_к$ перераспределяется так, что большая его часть приходится уже на транзистор. Таким образом, на нагрузке $R_к$ образуется напряжение, изменяющееся в такт с изменениями напряжения в цепи эмиттер — база. Оно и представляет собой выходное (усиленное) напряжение. Чем больше напряжение источника питания $Б_к$ и чем значительнее изменения сопротивления коллекторного перехода, тем больше выходное напряжение.

2.2. ПРИЕМНЫЕ АНТЕННЫ И ВХОДНЫЕ ЦЕПИ

В качестве антенн в транзисторных приемных устройствах используют одиночные провода длиной от нескольких до 40 метров, штыри, рамки и встраиваемые внутрь приемников ферритовые[1] антенны. Последние два типа относятся к классу магнитных антенн, т. е. антенных устройств, реагирующих на магнитную составляющую электромагнитного поля.

Несмотря на то, что приемные ферритовые антенны уступают обычным наружным антеннам по количеству извлекаемой из радиоволн энергии, они получили широкое распространение благодаря своей компактности, направленным свойствам и меньшей чувствительности к индустриальным помехам.

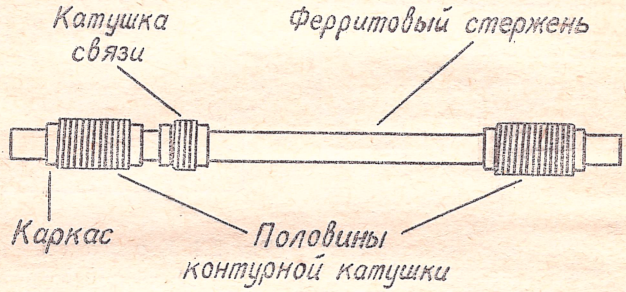


Рис. 2.5. Устройство простейшей ферритовой антенны

Устройство ферритовой антенны показано на рис. 2.5. Как видно из рисунка, антенна состоит из ферритового стержня круглого или прямоугольного сечения[2] и надетых на него катушек. Для того, чтобы в процессе налаживания приемника можно было перемещать катушки вдоль стержня, их наматывают на подвижные каркасы.

Обычно катушки длинноволнового и средневолнового диапазонов делят на две равные части и наматывают каждую половину на отдельном каркасе. Катушку связи (рис. 2.5) укладывают виток к витку на каркасе, располагаемом приблизительно в середине

---

[1] Ферритами называют ферромагнитные материалы, обладающие относительно высокой магнитной проницаемостью (порядка десятков, сотен и тысяч *гс/э*) и чрезвычайно высоким удельным сопротивлением (порядка единиц и десятков *мегом* на *см*).

[2] Для приема коротких, средних и длинных волн применяют соответственно стандартные ферритовые сердечники марок 100НН, 600НН и 400НН, 1000НН и 600НН.

Применение на коротких волнах ферритов с меньшей номинальной магнитной проницаемостью μ объясняется тем, что в ферритах с большими значениями μ (ферритовые сердечники марок 1000НН и 600НН) потери при увеличении частоты растут быстрее, чем в ферритах с меньшими значениями μ (ферритовый сердечник марки 100НН).

стержня или размещают на одном каркасе вместе с одной из половин катушки длинноволнового диапазона.

Половины антенных катушек средневолнового диапазона выполняют в виде однослойных катушек со сплошной (виток к витку) или распределенной (с принудительным шагом) намоткой, а катушки длинноволнового диапазона наматывают внавал. Контурные катушки располагают на расстояниях не менее 5 *мм* от краев стержня.

Каркасы (гильзы) для катушек средне- и длинноволнового диапазонов изготовляют из полосок тонкого прессшпана или бумаги длиной 190 ÷ 230 и шириной 15 ÷ 25 *мм*, а каркасы катушек коротковолнового диапазона — из полистирола или фторопласта — *4*.

Склеивание каркаса и намотку катушек производят непосредственно на ферритовом стержне. Однако для того, чтобы склеенный каркас с катушкой свободно перемещался вдоль стержня, перед склеиванием гильзы на стержень наматывают виток к витку белую № 40 или тонкую суровую нитку. После изготовления антенной катушки нитку сматывают, получая таким образом между каркасом и стержнем необходимый зазор.

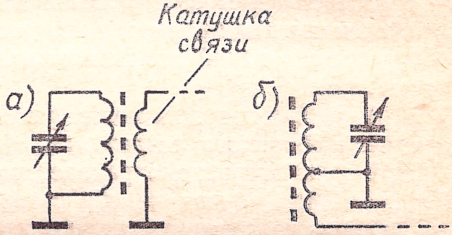


Рис. 2.6. Схемы простейших входных контуров приемника

Во избежание резкого (в несколько раз) уменьшения добротности антенной катушки не следует располагать ее, а также торцы стержня, рядом со стальными деталями, например, с корпусом громкоговорителя, блоком конденсаторов переменной емкости, крышками переменных резисторов и др.

Неработающие катушки лучше закорачивать, так как оставление их незакороченными уменьшает добротность других (работающих) катушек.

Вместе с конденсатором переменной емкости антенная катушка образует входной контур (рис. 2.6), настраиваемый на принимаемую радиостанцию.

Благодаря ферритовому стержню добротность катушки заметно возрастает и избирательность достигает значений, достаточных для того, чтобы исключить в некоторых случаях из приемника усилитель высокой частоты.

Процесс преобразования ферритовой антенной энергии электромагнитного поля в энергию токов высокой частоты заключается в концентрации («впитывании») ферритовым стержнем магнитных линий и наведении в антенной катушке э. д. с. Чем больше магнитных линий пронизывает катушку (а это зависит от магнитной проницаемости стержня и ориентировки его в пространстве), тем зна-

чительнее приращения магнитных линий за данный промежуток времени и, следовательно, тем большая (в соответствии с законом электромагнитной индукции) э. д. с. наводится в катушке[1].

Так как длинные и средние волны, на которых работает большинство радиовещательных станций, поляризованы вертикально, т. е. так, что линии электрического поля направлены вертикально, а линии магнитного поля горизонтально, то максимального значения э. д. с. в катушке достигает при горизонтальном положении ферритового стержня и направлении его оси на принимаемую радиостанцию.

Если направленные свойства антенны нежелательны, то применяют антенну с Г-образным ферритовым сердечником. Последний представляет собой систему двух тщательно пришлифованных и склеенных под прямым углом (клеем БФ-2) ферритовых стержней. Располагают такой сердечник вдоль граней прямого угла футляра приемника.

Антенная катушка может размещаться либо равномерно по всей длине Г-образного сердечника, либо состоять из двух половин, каждая из которых настраивается своим отдельным конденсатором. В последнем случае на оба стержня наматывают катушки связи и небольшую дополнительную катушку, с помощью которой изменяют диаграмму направленности антенны так, чтобы она приближалась к окружности.

Эффективность любой антенны, в том числе и ферритовой, оценивают отношением э. д. с., индуктированной электромагнитной волной в антенне, к напряженности поля в месте приема. Чем больше действующая высота антенны, тем лучше, так как тем больше удаленных станций может принять приемное устройство.

Действующая высота обычной наружной антенны зависит от ее геометрических размеров и распределения тока в ней, а действующая высота ферритовой антенны, как это следует из приводимой ниже формулы

$$h_{ад} = \frac{2\pi s \mu_{эф}}{\lambda} w,$$

определяется площадью сечения ферритового стержня (s), эффективной проницаемостью стержня ($\mu_{эф}$), длиной принимаемой волны (λ) и числом витков антенной катушки (w).

При $S = 176{,}7$ *мм*^{2}, $\mu_{эф} = 65$ *гс/э*, $w = 80$ витков и $\lambda = 320$ *м* действующая высота ферритовой антенны равна всего лишь 0,018 *м*, что на много меньше действующих высот штыревой антенны и одиночных вертикальных проводов.

---

[1] Для устранения влияния на катушку электрической составляющей поля ферритовую антенну часто экранируют, т. е. заключают в тонкостенную латунную или алюминиевую трубку, разрезанную вдоль образующей так, чтобы экран не представлял собой короткозамкнутый виток.

В случае необходимости действующую высоту антенны, а следовательно, и дальность приема, можно заметно увеличить, если соединить две или три обычных ферритовых антенны последовательно (рис. 2.7-*а*) или параллельно (рис. 2.7-*б*). Для получения от двойной или тройной антенны максимальной э. д. с. необходимо правильно (так, как показано на рис. 2.7-*а* и -*б*) соединить между собой антенные катушки и укрепить стержни параллельно на небольшом расстоянии друг от друга. Изображенная на рис. 2.8 двойная антенна обладает не только большей (приблизительно в 1,4 раза) действующей высотой, но и более высокой (по сравнению с одностержневой антенной) избирательностью.

Существуют и некоторые другие способы увеличения действующей высоты ферритовых антенн, например, применение сердечника

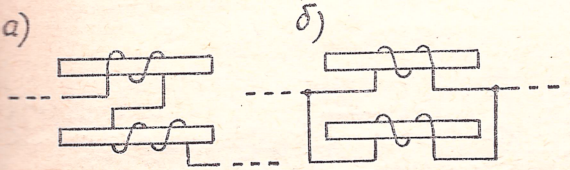


Рис. 2.7. Последовательное (*а*) и параллельное (*б*) соединения антенных катушек

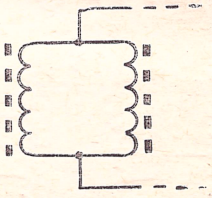


Рис. 2.8. Схема двойной ферритовой антенны

с переменным сечением или с немагнитным зазором, увеличение диаметра и длины сердечника и другие.

При обращении с ферритовыми стержнями следует всячески оберегать их от механических, тепловых и магнитных воздействий, так как при падениях и ударах сердечники нередко раскалываются, а при воздействии на них повышенной температуры (свыше 110° С) и сильных постоянных магнитов теряют свои ценные свойства магнитодиэлектриков.

В случае отсутствия ферритового стержня сердечник для антенны можно изготовить из негодных (поврежденных) стержней[1]. Для этого их разбивают на куски и растирают в порошок. Затем подогревают небольшое количество силикатного клея и, добавив в него две-три щепотки буры, тщательно размешивают полученную смесь. После этого выливают смесь клея и буры в сосуд с размельченным ферритом, размешивают массу и плотно наполняют ею заранее приготовленную трубку из бумаги соответствующей длины и диаметра. В заключение помещают трубку со смесью в духовку или в какую-нибудь подогреваемую металлическую коробку и после окончательного затвердения клея снимают старую бумагу и обертывают стержень одним-двумя слоями чистой бумаги.

---

[1] Такой самодельный сердечник, конечно, уступает по своим основным свойствам промышленным образцам, но временно использовать его можно.

Расколовшиеся ферритовые стержни склеивают клеем БФ-2, К-88 или эпоксидной смолой. Перед склеиванием куски стержня тщательно очищают от грязи и жира, а затем просушивают. После этого наносят на склеиваемые поверхности тонкий слой клея и высушивают его при комнатной температуре. В заключение вторично наносят клей, немного подсушивают его и, соединяя склеиваемые части, прогревают стержень при температуре 40 ÷ 70° С в течение 30 ÷ 40 часов.

Как отмечалось уже в первом разделе, между антенной и первой ступенью усилителя высокой частоты (или преобразователем) включают высокочастотное устройство, называемое входной цепью. Назначение последней — выделять из всех сигналов, принятых антенной, сигналы принимаемой станции и ослаблять сигналы дру-

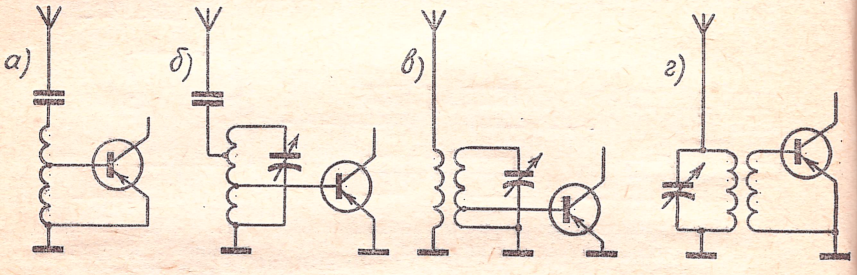


Рис. 2.9. Схемы входных цепей с наружной электрической антенной

гих мешающих станций. Для выполнения этой функции во входную цепь вводят один, два или более колебательных контуров. Кроме избирательных свойств входная цепь должна обладать и другими качествами, например, пропускать заданную полосу частот, хорошо сопрягаться с контуром УВЧ или гетеродина преобразователя частоты, ослаблять влияние смены антенн на входной колебательный контур и обладать более или менее постоянным коэффициентом передачи напряжения во всем диапазоне принимаемых частот.

В подавляющем большинстве транзисторных приемников входные цепи выполнены в виде одноконтурных колебательных систем. Схемы их с электрическими и ферритовыми антеннами приведены на рис. 2.9 и 2.10. Из рисунков видно, что связь колебательного контура с электрической антенной может быть непосредственной (рис. 2.9-*а*), емкостной (рис. 2.9-*б*) и индуктивной (рис. 2.9-*в* и *г*), а связь колебательного контура с нагрузкой — емкостной, трансформаторной (рис. 2.9-*г*) и автотрансформаторной (рис. 2.9-*в*).

Передача входной цепью сигналов от антенны к первой ступени приемника осуществляется следующим образом (рис. 2.11). При пересечении антенны электромагнитными волнами по катушке $L_А$ протекают токи высоких частот, которые создают переменное магнитное поле. Изменяющийся магнитный поток пронизывает ка-

тушку $L_к$ и в ней, в соответствии с законом электромагнитной индукции, наводится переменная э. д. с. Так как катушка $L_к$ соединена с конденсатором C, то в замкнутой цепи $L_кC$ возникает ток высокой частоты $i_к$. Протекая по виткам катушки, заключенным между точками A и B, ток $i_к$ создает на них падение напряжения, которое и является выходным напряжением рассматриваемой входной цепи.

Так как амплитуда тока в контуре, а следовательно, и падение напряжения на участке AB, достигают максимума при совпадении частоты принимаемой станции с собственной частотой колебательного контура, то данная входная цепь обладает избирательными свойствами, выраженными тем резче, чем больше добротность кон-

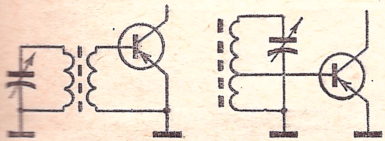


Рис. 2.10. Схемы входных цепей с внутренней ферритовой антенной

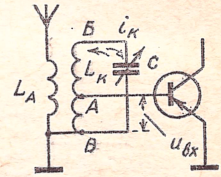


Рис. 2.11. Схема входной цепи и процессы, протекающие в ней

тура. Для того, чтобы малое входное сопротивление транзистора, шунтирующее контур, не уменьшало сильно его добротность, катушку $L_к$ присоединяют к базе—эмиттеру не полностью (база соединена не с точкой $Б$, а с точкой A).

2.3 УСИЛИТЕЛИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ (УВЧ)

Транзисторный УВЧ представляет собой устройство, усиливающее с помощью полупроводникового триода подводимые к нему высокочастотные колебания. Основное назначение УВЧ — повышение реальной чувствительности и избирательности приемника по зеркальному каналу. Кроме того, УВЧ предназначается для ослабления влияния друг на друга контуров гетеродина и входной цепи, создания более благоприятных условий для работы преобразователя частоты и уменьшения связи гетеродина с антенной.

Выполняют УВЧ по схемам с общими эмиттером, базой и коллектором. Первые обладают большим коэффициентом усиления по мощности при наименьшем уровне собственных шумов, вторые более устойчивы в работе, третьи отличаются высоким входным сопротивлением.

К УВЧ предъявляют определенные требования. Важнейшими из них являются:

усиление сигналов в заданной полосе частот в возможно большее число раз без заметных искажений;

обеспечение заданной избирательности по зеркальному каналу;

высокая стабильность работы;

минимальный уровень собственных шумов;

простота в изготовлении, налаживании и эксплуатации.

УВЧ делят на две группы: апериодические (рис. 2.12) и избирательные (рис. 2.13). Первые не перестраиваются, усиливая сигналы в широкой полосе частот. Вторые перестраиваются в пределах заданного поддиапазона или настраиваются на фиксированную частоту и усиливают (более эффективно, чем первые) сигналы в относительно узкой полосе частот.

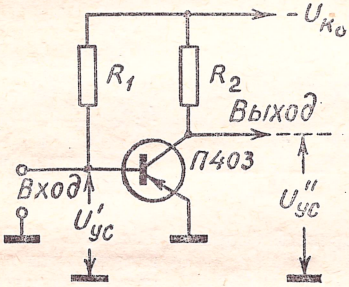


Рис. 2.12. Принципиальная схема апериодического усилителя высокой частоты.

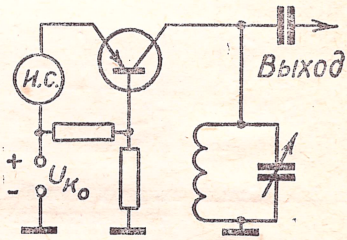


Рис. 2.13. Схема простейшего избирательного усилителя высокой частоты на транзисторе

В ламповых радиоприемниках апериодические УВЧ применяются сравнительно редко. В транзисторных же они нашли более широкое применение не только в усилителях высокой, но и промежуточной частоты.

Как видно из приведенной на рис. 2.12 схемы, апериодический УВЧ состоит из гасящего резистора R_1, высокочастотного транзистора, нагрузочного резистора R_2 и источника питания. Усиливаемое напряжение $U'_{ус}$ подводят к базе-эмиттеру, а усиленное $U''_{ус}$ снимают с коллектора-эмиттера.

Работает апериодический усилитель следующим образом. Протекающий по цепи (плюс источника питания, эмиттер, база, резистор R_1, минус источника питания) постоянный ток создает на эмиттерном переходе небольшое постоянное падение напряжения, обращенное плюсом к эмиттеру[1]. Благодаря этому напряжению из эмиттера в базу непрерывно вводится некоторое постоянное число дырок.

При подаче на вход ступени напряжения высокой частоты число дырок, вводимых в базу, изменяется и сопротивление коллек-

[1] Такой способ установления режима работы транзистора называют смещением фиксированным током базы.

торного перехода начинает колебаться вокруг своего среднего значения (см. 2.1). Так как напряжение $U_{к_0}$ источника коллекторного питания делится резистором R_2 и транзистором на две части, то при изменении числа дырок в базе, а следовательно, и в коллекторном переходе напряжение $U_{к_0}$ непрерывно распределяется между резистором R_2 и транзистором.

Таким образом, между коллектором и эмиттером транзистора создается переменное напряжение, изменяющееся по тому же закону, что и входное напряжение. Величина напряжения на выходе превосходит входное напряжение в 10 ÷ ÷ 30 раз.

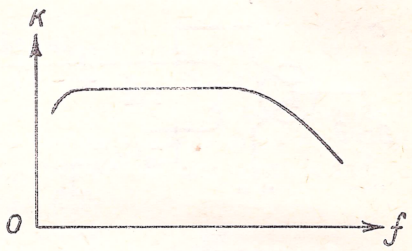


Рис. 2.14. График зависимости коэффициента усиления апериодического УВЧ на транзисторе от частоты

Недостатком усилителя, собранного по схеме рис. 2.12, является непостоянство коэффициента усиления (рис. 2.14). Уменьшение его с ростом частоты сигнала объясняется частотными свойствами транзистора и шунтированием нагрузочного резистора R_2 входным сопротивлением смесителя. Так как последнее имеет емкостной характер и поэтому уменьшается с увеличением частоты, то коэффициент усиления на высших частотах поддиапазона меньше чем на низших. Чем больше сопротивление резистора R_2, тем сильнее уменьшается с ростом частоты коэффициент усиления ступени. По этой причине в усилителях, рассчитанных на прием коротких волн, сопротивление резистора уменьшают до 100 ÷ 220 *ом*[1].

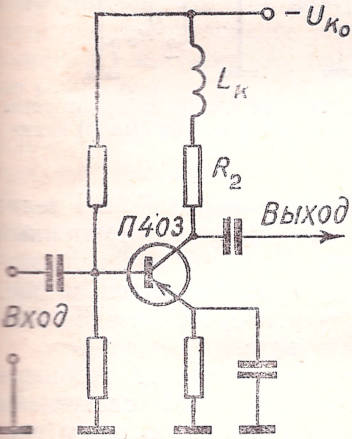


Рис. 2.15. Схема апериодического усилителя высокой частоты с корректирующей индуктивностью

Для подъема частотной характеристики апериодического УВЧ в области высших частот последовательно с резистором R_2 включают корректирующий дроссель высокой частоты $L_к$ (рис. 2.15). Последний наматывают виток к витку проводом ПЭВ 0,15 ÷ 0,18 на высокоомный резистор типа ВС или МЛТ.

В избирательных усилителях в качестве нагрузки используют

[1] Вместо сопротивления $R_2 = 2{,}2 \div 2{,}7$ *ком*, рекомендуемого при приеме длинных и средних волн.

колебательные системы. Усилитель, содержащий в коллекторной цепи один колебательный контур, называют резонансным, а усилитель с более сложной колебательной системой[1]— полосовым. В за

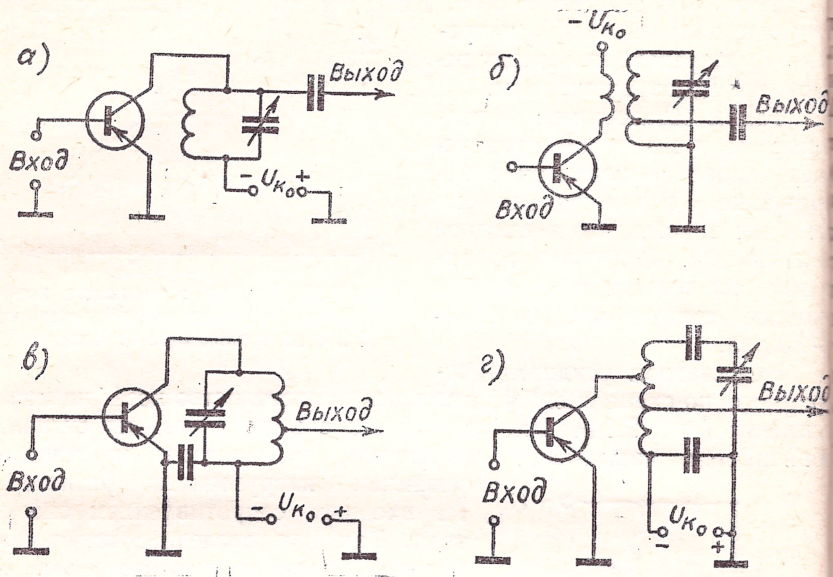


Рис. 2.16. Схемы резонансных УВЧ с непосредственным (*а*), трансформаторным (*б*), автотрансформаторным (*в*) и двойным автотрансформаторным (*г*) включением контура

висимости от способа включения контура резонансные УВЧ делят на усилители с непосредственным (рис. 2.16-*а*), трансформаторным (рис. 2.16-*б*) автотрансформаторным (рис. 2.16-*в*) и двойным автотрансформаторным (рис. 2.16-*г*) включением контура.

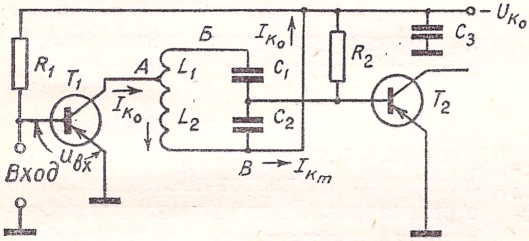


Рис. 2.17. Схема резонансного усилителя высокой частоты и процессы, происходящие в ней

Работает резонансный УВЧ следующим образом. По цепи (рис. 2.17): минус источника коллекторного питания, резистор R_1, база транзистора T_1, эмиттер транзистора T_1, корпус, плюс источника питания протекает постоянный ток, который создает между эмиттером и базой транзистора T_1 постоянное падение напряжения,

[1] Например, с цепью, состоящей из двух или большего числа связанных колебательных контуров.

необходимое для начальной инжекции дырок в базу. Начиная с момента подачи на вход схемы напряжения $u_{вх}$ высокой частоты, число дырок, вводимых в базу, а следовательно, и коллекторный ток, изменяются. Постоянная составляющая пульсирующего коллекторного тока $I_{к0}$ протекает по цепи: плюс источника питания, корпус, эмиттер транзистора T_1, коллектор транзистора T_1, катушка L_2, минус источника питания, а переменная составляющая $I_{к_m}$ по той же цепи и дополнительно через катушку L_1 и конденсаторы (C_1, C_2) контура. Протекая через показанный отдельно на рис. 2.18 колебательный контур, токи $I_{к0}$ и $I_{к_m}$ создают на нем падение напряжения. Сопротивление, оказываемое контуром постоянной составляющей $I_{к0}$, очень мало, поэтому весьма малым оказывается и постоянное падение напряжения на контуре. Падение же напряжения, вызванное переменной составляющей $I_{к_m}$ в случае настройки контура L_2, L_1, C_1, C_2 в резонанс, достигает значений, превышающих амплитуду входного напряжения в десятки раз. Объясняется это тем, что сопротивление контура при резонансе превышает сопротивление катушки L_2 постоянному току во много раз.

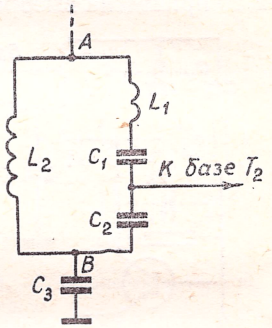


Рис. 2.18. Колебательный контур усилителя высокой частоты, схема которого приведена на рис. 2.17

Образующееся на контуре (между точками A и B) напряжение высокой частоты делится катушкой L_1 и конденсаторами C_1, C_2 на три части. Часть, снимаемая с конденсатора C_2, является выходным (усиленным) напряжением. Как видно из рис. 2.18, оно подается на базу транзистора T_2 непосредственно, а на эмиттер — через конденсатор C_3 относительно большой емкости.

Неполное включение контура в коллекторную цепь транзистора T_1, осуществляемое присоединением коллектора к точке A, и неполное включение контура во входную цепь транзистора T_2, осуществляемое с помощью конденсаторов C_1 и C_2, обеспечивают межкаскадное согласование, необходимое для увеличения коэффициента усиления ступени и получения заданных полосы пропускания и избирательности.

Особенностью избирательных транзисторных усилителей является неустойчивость их работы и склонность к самовозбуждению. Это характерное свойство транзисторных УВЧ объясняется тем, что в отличие от усилителя на пентоде в транзисторном усилителе выходная цепь сильнее воздействует на входную через коллекторные емкость и проводимость.

Для устранения или ослабления этой нежелательной внутренней обратной связи в транзисторных резонансных и полосовых

усилителях с фиксированной настройкой применяют нейтрализацию или коррекцию внутренней обратной связи с помощью внешних нейтрализующих или корректирующих цепей, а в диапазонных УВЧ используют транзисторы с малой обратной проходной проводимостью или применяют каскодные схемы.

Схема ступени УВЧ с нейтрализацией приведена на рис. 2.19. На ней C_1, L — колебательный контур; C_N, R_N — элементы цепи внешней обратной связи; $C_{бк}$, $G_{бк}$ — коллекторные емкость и проводимость; C_3 R_2— элементы развязывающего фильтра.

Для облегчения уяснения принципа нейтрализации на рис. 2.20 приведена выборочная схема. Из нее видно, что части AB и $BД$

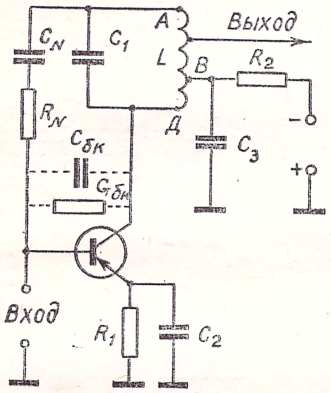


Рис. 2.19. Схема ступени УВЧ с мостиковой нейтрализацией

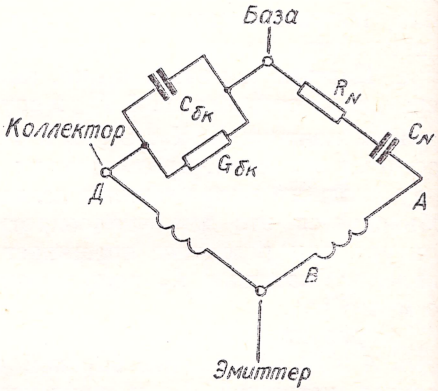


Рис. 2.20. Выборочная схема, поясняющая принцип нейтрализации

контурной катушки, коллекторные емкость $C_{бк}$ и проводимость $G_{бк}$, а также конденсатор C_N и резистор R_N образуют мост. В одной диагонали его действует выходное (между точками $Д$ и A), а в другой входное (между эмиттером и базой) напряжение. Как известно из электротехники, в случае сбалансирования мостовой схемы входная цепь не получает энергии от выходной, следовательно, в рассматриваемой схеме при условии равенства произведений сопротивлений накрест лежащих плеч внутренняя обратная связь нейтрализуется. К сожалению, полное устранение зависимости входного тока от коллекторного напряжения, т. е. нейтрализация, осуществляется в данной схеме только на одной частоте.

2. 4. ГЕТЕРОДИНЫ

Гетеродином называют маломощный генератор колебаний высокой частоты, используемый в супергетеродинном приемнике для преобразования (обычно понижения) частот принимаемых сигналов.

Транзисторные гетеродины строят по тем же схемам, что и ламповые, т. е. по схеме с трансформаторной (рис. 2.21-*а*), автотрансформаторной (рис. 2.21-*б*) и емкостной (рис. 2.21-*в*) обратной связью. Включают транзисторы преимущественно по схемам с общим эмиттером и с общей базой. Первая позволяет получать большее усиление мощности, а вторая отличается меньшими изменениями входного и выходного сопротивлений при изменении температуры питающих напряжений.

Для получения устойчивой генерации в заданном диапазоне частот в гетеродинах применяют транзисторы с высокими граничными частотами например, германиевые диффузионные триоды типов П401, П422, П423, ГТ309А ÷ ГТ309Е и др.

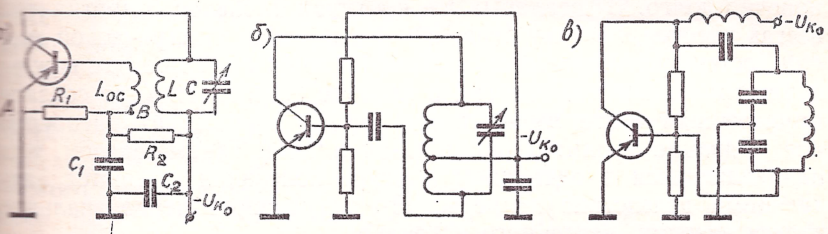


Рис. 2.21. Схемы гетеродинов с трансформаторной (*а*), автотрансформаторной (*б*) и емкостной (*в*) обратной связью

Важнейшими требованиями, предъявляемыми к гетеродинам, являются:

1) генерирование колебаний с минимальным числом гармоник;

2) постоянство амплитуды и частоты колебаний в возможно более широком диапазоне изменений температуры и питающих напряжений;

3) отсутствие или слабо выраженная зависимость генерируемой мощности от частоты.

Идею получения незатухающих колебаний проще всего уяснить, если предварительно рассмотреть процесс разряда конденсатора через катушку.

Как известно, сообщение одиночному замкнутому контуру некоторого запаса энергии приводит при известном соотношении между параметрами контура к возникновению в нем электрических колебаний. Частота их не зависит от количества энергии, введенной в контур, и определяется только его параметрами, т. е. индуктивностью катушки, емкостью конденсатора и в очень незначительной степени активным сопротивлением контура.

Колебательный разряд конденсатора представляет процесс преобразования электростатической энергии заряженного конденсатора

$$w_c = \frac{CU_c^2}{2},$$

где C — емкость конденсатора,
U_c — напряжение на конденсаторе,
в энергию магнитного поля катушки

$$w_L = \frac{LI^2}{2},$$

где L — индуктивность катушки,
I — ток в катушке,
и наоборот. Если бы в колебательном контуре отсутствовало активное сопротивление и энергия не излучалась в окружающее пространство, то это преобразование происходило бы без потерь энергии и, следовательно, возникшие колебания продолжались бы бесконечно долго. В реальных же контурах активное сопротивление всегда имеется, поэтому первоначальный запас электрической энергии постепенно обращается в тепловую энергию. Так как с каждым периодом количество энергии в контуре уменьшается, то согласно приведенным выше выражениям должно происходить непрерывное убывание амплитуд напряжения и тока. Таким образом, устанавливающиеся в одиночном контуре колебания являются затухающими вследствие непрерывного поглощения первоначального запаса энергии, введенного в контур.

Из изложенного следует, что можно наметить два пути решения задачи получения незатухающих колебаний:

устранить причины затухания колебаний;

непрерывно вводить в контур в течение каждого периода такое количество энергии, какое терялось за предыдущий период.

Первый путь не может быть осуществлен на практике, так как в самом контуре и в окружающем пространстве всегда происходят потери энергии. Таким образом, остается только второй путь, заключающийся в периодическом пополнении запаса энергии в контуре. Для этого необходимо автоматически и в определенные моменты времени присоединять контур к источнику питания, а затем отключать его. Эту важную роль и выполняет в транзисторных генераторах полупроводниковый триод.

Слова «присоединять» и «отключать» не следует понимать в буквальном смысле. Транзистор, включенный последовательно с контуром, как бы присоединяет его к источнику коллекторного питания, когда сопротивление полупроводникового триода уменьшается (в транзисторах структуры $p—n—p$ это происходит при подаче на базу отрицательного напряжения) и отключает контур, когда потенциал базы становится положительным и, следовательно, сопротивление транзистора возрастает до большой величины.

Таким образом, транзистор выполняет роль регулятора подачи энергии от источника коллекторного питания к контуру.

Процесс самовозбуждения транзисторного генератора можно представлять в следующем виде. При присоединении источника питания к зажиму — $U_{к_0}$ и корпусу, с которым соединен положи-

тельный полюс коллекторной батареи (рис. 2.21-*а*), конденсатор C контура LC заряжается через транзистор[1] до некоторого напряжения U_{c_m}, получая при этом от источника питания энергию

$$w_c = \frac{CU_{c_m}^2}{2}.$$

Так как к конденсатору присоединена катушка L, то он начинает разряжаться через нее и напряжение на нем изменяется по кривой u_c, показанной на рис. 2.22-*а*. Уменьшение напряжения на конденсаторе в течение промежутка $0 \div T/4$ означает, что энергия, запасенная конденсатором, переходит в энергию магнитного поля катушки.

В течение промежутка $0 \div T/4$ энергии теряется мало, поэтому можно считать, что сумма энергий электрического поля конденсатора и магнитного поля катушки равна первоначальному запасу энергии, т. е. написать

$$\frac{Cu_c^2}{2} + \frac{Li^2}{2} = \frac{CU_{c_m}^2}{2}.$$

Так как правая часть этого выражения представляет собой величину постоянную, то из написанного равенства можно сделать следующий вывод: начиная с момента 0 и кончая моментом $T/4$, в соответствии со скоростью уменьшения напряжения u_c на конденсаторе происходит увеличение тока i_L, протекающего через катушку L. Изменение его во времени показано на рис. 2.22-*б* в виде кривой i_L.

Протекая по контурной катушке, этот разрядный ток создает изменяющееся магнитное поле, которое наводит в катушке обратной связи L_{oc} э. д. с., представленную на рис. 2.22-*в*

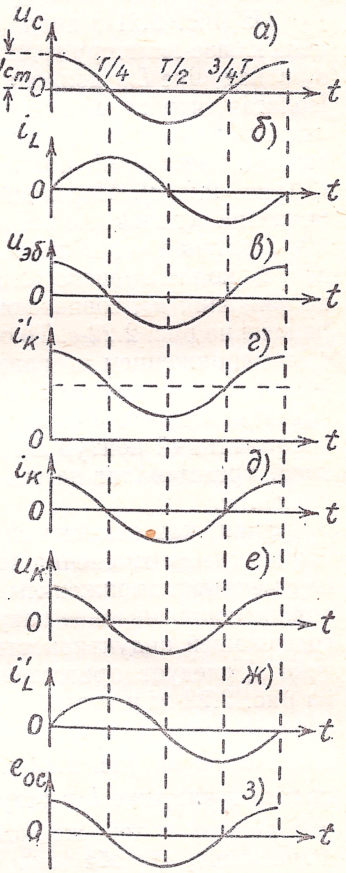


Рис. 2.22. Кривые изменений напряжений и токов в цепях транзисторного гетеродина

[1] Цепь заряда включает в себя следующие элементы схемы: плюс источника питания, корпус, эмиттер—коллектор транзистора, конденсатор С, минус источника питания.

кривой $u_{эб}$. Как известно, э. д. с. индукции пропорциональна вза имной индуктивности M и скорости изменения тока, поэтому на пряжение $u_{эб}$ можно представить выражением

$$e_{ос} = -M \times (\text{скорость изменения тока } i_L).$$

Отсюда (а также из рис. 2.22-*б*) видно, что $u_{эб}$ достигает мак симума в момент O, когда скорость нарастания разрядного тока максимальна, и становится равной нулю в момент $T/4$, когда ско рость изменения тока i_L равна нулю.

Из рис. 2.21-*а* видно, что катушка обратной связи присоедине нена к базе-эмиттеру транзистора. Следовательно, изменение э. д. с $e_{ос}$ в катушке $L_{ос}$ должно вызывать изменения коллекторного тока Полагая, что схема генерирует низкочастотные колебания, можно считать, что ток коллектора совпадает по фазе с напряжением между базой и эмиттером[1], поэтому его следует представить в виде кривой $i'_к$ (рис. 2.22-*г*). Переменная составляющая тока коллектора $i_к$ показана отдельно на рис. 2.22-*д*.

Протекая через колебательный контур, переменная составляю щая $i_к$ коллекторного тока создает на контуре переменное падение напряжения $u_к$, совпадающее по фазе с током $i_к$. Кривая $u_к$ изоб ражена на рис. 2.22-*е*. То обстоятельство, что сдвиг фаз между током $i_к$ и напряжением $u_к$ равен нулю, объясняется тем, что на низких частотах изображенная на рис. 2.21-*а* схема генерирует колебания, частота которых равна собственной частоте контура[2]. Поэтому параллельный контур LC, включенный в цепь коллектора транзис тора, представляет на генерируемой частоте чисто активное сопро тивление.

Зная, как изменяется напряжение на контуре, нетрудно уста новить закон изменения тока i'_L, вызванного в контурной катушке переменным напряжением $u_к$. Предполагая (как и раньше), что ак тивное сопротивление катушки равно нулю, и зная, что ток в цепи, содержащей индуктивность, отстает от напряжения на 90°, кривую тока i'_L следует представить в том виде, в каком она изображена на рис. 2.22-*ж* и соответственно ей кривую э. д. с. $e_{ос}$, индуктиро ванную током i_L в катушке обратной связи — в виде кривой $e_{ос}$, показанной на рис. 2.22-*з*. Сопоставление кривых тока i_L, появив шегося в катушке L в результате разряда конденсатора, и тока i'_L, вызванного в той же контурной катушке коллекторным током, показывает, что оба тока совпадают по фазе; следовательно, тран зистор и источник питания поддерживают колебания, возникшие в контуре.

---

[1] В действительности на высоких частотах первая гармоника коллекторного тока отстает от напряжения между эмиттером и базой.

[2] На высоких частотах вследствие отставания первой гармоники коллектор ного тока от напряжения между эмиттером и базой частота колебаний, генери руемых транзисторным гетеродином, не совпадает с собственной частотой контура.

Так протекает процесс самовозбуждения в течение промежутка $0—T/4$. Дальнейшее развитие его иллюстрируют рис. 2.22 и 2.23. На последнем условно показаны изменения переменных составляющих токов и напряжений в течение промежутков $T/4 \div T/2$, $T/2 \div 3/4T$ и $3/4T \div T$. Для обозначения нарастающего тока используется символ $\rightrightarrows i$, а для обозначения уменьшающегося тока — символ $\rightarrow i$. Увеличивающиеся и уменьшающиеся напряжения показаны на рисунке соответственно в виде знаков $U\uparrow$ и $U\downarrow$.

Рассмотрение этих рисунков показывает, что транзистор действительно выполняет роль коммутирующего элемента. Когда происходит заряд конденсатора C (рис. 2.23-*в*), на базу подается нарастающее отрицательное напряжение, следовательно, сопротивление транзистора уменьшается и он как бы присоединяет контур к источ-

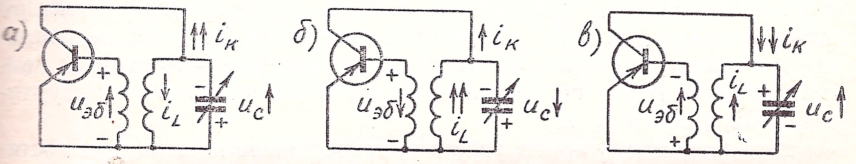


Рис. 2.23. Упрощенные схемы транзисторного гетеродина и изменения напряжений и токов в его цепях

нику питания. В те же моменты, когда происходит разряд конденсатора (рис. 2.23-*а*), отрицательное напряжение на базе уменьшается, сопротивление полупроводникового триода увеличивается и, следовательно, транзистор «отключает» контур.

Из рис. 2.23 также видно, что ток коллектора не препятствует переходу положительных зарядов с одной обкладки конденсатора C на другую. Действительно, ни на одной из схем не показан случай одновременного увеличения или уменьшения токов $i_к$ и i_L. Когда $i_к$ увеличивается в одном направлении (рис. 2.23-*а*), ток i_L, направленный ему навстречу, уменьшается. С переменой направления тока коллектора меняется и направление тока в катушке. Поэтому, когда ток $i_к$ увеличивается в обратном направлении (рис. 2.23-*в*), ток i_L, протекающий ему навстречу, уменьшается.

Из рис. 2.23 следует далее, что при работе генератора переменные напряжения на базе и коллекторе сдвинуты по фазе на угол, равный 180°. Действительно, из рис. 2.23-*а* следует, что одновременно с ростом положительного напряжения на базе происходит увеличение отрицательного напряжения на коллекторе (напряжение на коллекторе, точнее, напряжение между коллектором и эмиттером $u_{кол} = -U_{к_0} + u_к$ (рис. 2.21-*а*). На рис. 2.23-*б* показано уменьшение положительного напряжения на базе; но в это же время вследствие снижения $u_к$ происходит и уменьшение отрицательного напряжения на коллекторе. И, наконец, в течение промежутка $3/4T \div T$, когда на базе увеличивается отрацательное напряжение

(рис. 2.23-*в*), на коллекторе (вследствие роста $u_к$ в противоположном направлении) уменьшается отрицательное напряжение, т. е. как бы растет положительное напряжение.

Изложенное выше приводит к заключению, что транзисторный генератор по существу представляет усилитель собственных колебаний. Усиление напряжения, приложенного к базе-эмиттеру, создает в контуре незатухающие колебания, стабильные по частоте только в том случае, если соблюдаются условия баланса фаз и баланса амплитуд. Это означает, что колебания, вызванные приложением к эмиттеру-базе напряжения $u_{эб}$, должны после всего цикла преобразования, показанного на рис. 2.22, создать между базой и эмиттером напряжение $u'_{эб}$, не отличающееся от $u_{эб}$ ни фазой, ни амплитудой. При правильном присоединении концов катушки обратной связи условие баланса фаз всегда соблюдается. На практике обычно не задумываются над тем, как включить катушку обратной связи, так как в случае отсутствия генерации по причине неправильного присоединения катушки проще поменять местами ее концы, чем определять по направлениям витков полярность индуктированной в ней э. д. с.

Что касается второго условия, то оно выполняется при достаточных коэффициентах усиления и обратной связи.

Способность той или иной транзисторной схемы генерировать колебания удобно определять по характеру реактивных сопротивлений, включенных между электродами транзистора. Если реактивное сопротивление, включенное между коллектором и базой, противоположно по знаку реактивным сопротивлениям, включенным между двумя другими парами электродов, т. е. между коллектором и эмиттером и между базой и эмиттером, то при достаточных коэффициентах усиления и обратной связи схема будет генерировать. Если же это условие не соблюдается, то возбудить схему не удастся.

Элементы схемы рис. 2.21-*а*, не упомянутые при описании процесса самовозбуждения, выполняют следующие роли:

1) резисторы R_1 и R_2 образуют делитель напряжения, с помощью которого на резисторе R_1 образуется постоянное напряжение, необходимое для начальной инжекции дырок в базу;

2) конденсатор C_1, шунтирующий резистор R_1, уменьшает сопротивление переменному току между точками A и B и таким образом позволяет передать большую часть напряжения с катушки обратной связи на базу-эмиттер транзистора;

3) конденсатор C_2 отводит от источника питания переменную составляющую коллекторного тока.

Практические схемы транзисторных гетеродинов сложнее приведенных на рис. 2.21, так как в них помимо рассмотренных основных элементов входит ряд дополнительных — конденсаторы сопряжения, подстроечные, блокировочные, резисторы, обеспечивающие устойчивость работы схемы, коммутирующие устройства и др.

В заключение несколько слов о стабильности частоты гетеродинов.

Вследствие нестабильности параметров колебательного контура и полупроводникового триода частота колебаний, генерируемых транзисторным гетеродином, не остается постоянной. Наибольшее влияние оказывают на нее такие дестабилизирующие факторы, как изменения окружающей температуры и питающих напряжений.

Так как уход частоты гетеродина вызывает ряд нежелательных явлений, например, появление искажений, снижение громкости, а в некоторых случаях даже полное пропадание звука, то вопросу стабильности частоты уделяют серьезное внимание.

Наиболее простыми и доступными средствами уменьшения ухода частоты являются выбор правильного режима работы транзистора, стабилизация питающих напряжений, применение в деталях контуров добротных материалов, рациональный монтаж схемы, присоединение параллельно конденсатору настройки контура тикондового конденсатора[1], правильный выбор величины обратной связи и коэффициента включения контура в цепь коллектора.

2.5. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЧАСТОТЫ

Преобразованием частоты называют процесс изменения ее путем наложения на преобразовываемое колебание вспомогательного напряжения другой частоты и детектирования результирующего колебания[2]. Этот процесс, называемый также гетеродинированием, нашел широкое применение в радиоприемной и измерительной технике.

Систему, в которой происходит изменение частоты указанным способом, называют преобразователем частоты (ПЧ).

Существенно необходимым элементом любого устройства, преобразовывающего частоту, является нелинейное сопротивление, т. е. сопротивление, не подчиняющееся закону Ома. В транзисторных преобразователях частоты таким сопротивлением является полупроводниковый триод.

Схема, дающая общее представление об устройстве и составе преобразователя частоты, показана на рис. 2.24. Из рисунка видно, что основными элементами ПЧ являются:

---

[1] Тикондовый конденсатор отличается от обычных тем, что его температурный коэффициент емкости отрицательный, поэтому он компенсирует изменения емкости контура, вызванные колебаниями температуры.

[2] При сложении двух синусоидальных напряжений разной частоты амплитуда результирующего напряжения непрерывно изменяется, так как в одни моменты времени складываемые колебания совпадают по фазе, а в другие, наоборот, находятся в противофазе.

Явление периодического усиления и ослабления результирующего колебания называют биениями.

Таким образом, преобразование частоты представляет собой процесс образования и детектирования биений.

1) источник вспомогательных колебаний, представляющий собой маломощный транзисторный генератор (гетеродин).;
2) транзистор, выполняющий роль смесителя колебаний;
3) колебательный контур CL, являющийся нагрузкой;
4) источник питания коллекторной цепи.

Приведенная на рис. 2.24 схема ПЧ представляет собой упрощенную схему преобразователя частоты с отдельным гетеродином. Достоинствами такого преобразователя являются простота налаживания и возможность выбора для каждого транзистора наивыгоднейшего режима работы. Преобразователи с отдельным гетеродином стабильны в работе, вносят небольшие искажения и по-

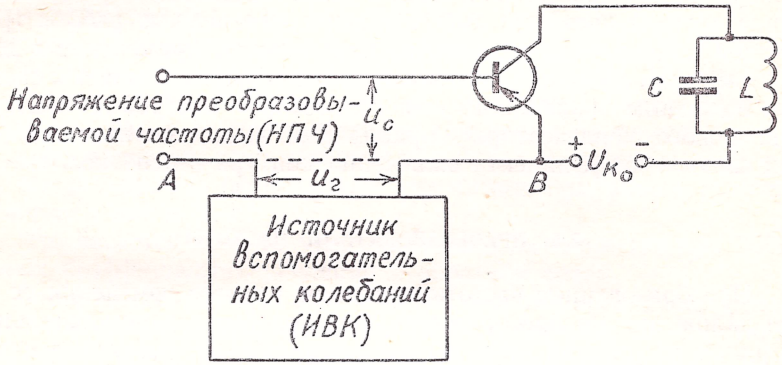


Рис. 2.24. Упрощенная схема транзисторного преобразователя частоты

этому используются преимущественно в высококачественных приемниках и в приемниках, имеющих коротковолновые диапазоны.

Кроме этого типа преобразователей на практике используются преобразователи с совмещенным гетеродином, называемые также генерирующими преобразователями. В эти устройства входит только один транзистор, который выполняет две роли: генерирует вспомогательные колебания и смешивает их с принимаемыми сигналами. Уровень нелинейных искажений в таких преобразователях выше, а стабильность работы ниже, чем в преобразователях с отдельным гетеродином, поэтому генерирующие преобразователи используются в недорогих переносных приемниках.

Из рис. 2.24 видно, что источник напряжения преобразовываемой частоты (т. е. источник сигнала) и гетеродин включены последовательно в одну и ту же цепь: цепь база-эмиттер. С корпусом соединяют либо точку A (рис. 2.25-*а*), либо точку B (рис. 2.25-*б*). В первом случае напряжение принимаемого сигнала (Н.П.Ч.) подают (относительно корпуса) на базу, а напряжение гетеродина — на эмиттер. Во втором случае, т. е. при соединении с корпусом точки В, оба напряжения подают на базу. Наибольшее распространение получила схема рис. 2.25-*а*, так как она более стабильна

в работе и в ней в меньшей степени влияют друг на друга цепи гетеродина и принимаемого сигнала.

Важнейшими требованиями, предъявляемыми к преобразователям частоты, являются: устойчивость работы, достаточные коэффициент усиления[1] и избирательность, низкий уровень шумов и искажений, малое потребление тока от источника питания.

В преобразователях частоты, так же как и в УВЧ, используют высокочастотные транзисторы с граничной частотой, превышающей наиболее высокую частоту принимаемых сигналов. В преобразователях промышленных приемников нашли применение германиевые диффузионные транзисторы типов П401 ÷ П403, П411А, П422, П423, ГТ309Г и другие.

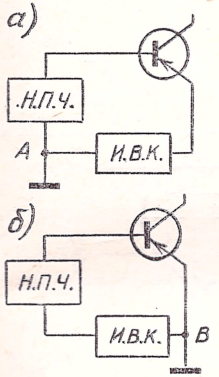


Рис. 2.25. Варианты схем соединения гетеродина с корпусом

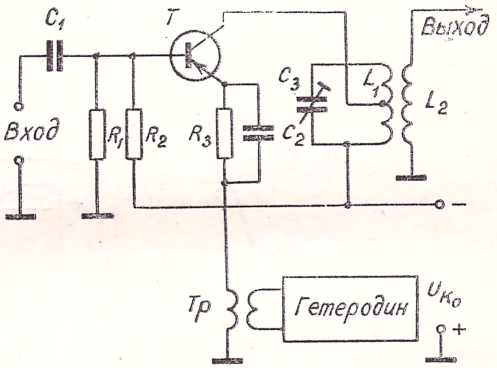


Рис. 2.26. Схема транзисторного преобразователя частоты с отдельным гетеродином

Принципиальная схема транзисторного преобразователя частоты с отдельным гетеродином приведена на рис. 2.26. Входящие в эту схему элементы выполняют следующие роли.

Конденсатор C_1 — разделительный; он пропускает к базе транзистора принимаемые сигналы и преграждает путь постоянному току от минуса источника коллекторного питания через резистор R_2 к источнику сигналов.

Резисторы R_1 и R_2 являются элементами делителя напряжения, с помощью которого на базу транзистора подается необходимое напряжение смещения[2].

Транзистор T выполняет роль смесителя колебаний.

Резистор R_3 стабилизирует режим работы транзистора.

Конденсатор C_2 уменьшает падения напряжений сигнала и гетеродина на резисторе R_3.

[1] Коэффициентом усиления преобразователя частоты называют отношение напряжения промежуточной частоты на его выходе к напряжению сигналов высокой частоты на входе.

[2] Напряжение смещения снимается с резистора R_1.

Тр — трансформатор высокой частоты, с помощью которого напряжение гетеродина вводится в цепь база-эмиттер транзистора Т.

Конденсатор C_2 и катушка L_1 образуют колебательный контур, настроенный на разностную частоту $f_г - f_с$, где $f_г$ — частота гетеродина, $f_с$ — частота сигнала.

L_2 — вторичная обмотка трансформатора, с которой снимается напряжение разностной (промежуточной) частоты.

Для облегчения уяснения сущности преобразования частоты

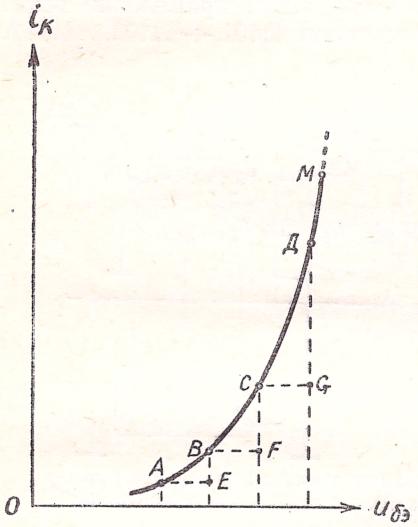


Рис. 2.27. Зависимость тока коллектора от напряжения между базой и эмиттером

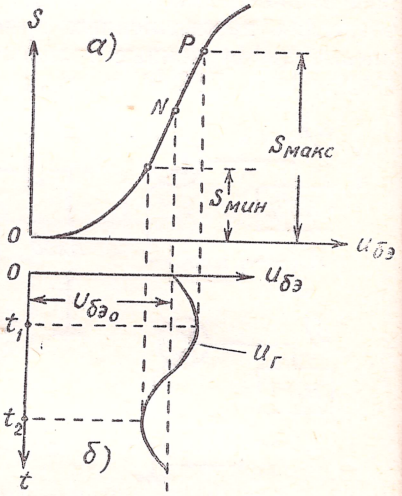


Рис. 2.28

а) Зависимости крутизны кривой ОАВСДМ (рис. 2.27) от напряжения между базой и эмиттером, *б)* кривая изменяющегося с частотой гетеродина напряжения между базой и эмиттером от времени

целесообразно обратиться к рис. 2.27, на котором приведена зависимость тока коллектора $i_к$ транзистора T (рис. 2.26) от напряжения между эмиттером и базой. Как видно из рисунка, крутизна S кривой $ABCДM$, характеризуемая отношениями $BE : AE$, $CF : BF$, $ДG : CG$ ..., непрерывно возрастает. Следовательно, если представить зависимость ее от напряжения $u_{эб}$, то она будет иметь вид, показанный на рис. 2.28 (кривая ONP). Располагая под этим рисунком график зависимости напряжения $u_г$ гетеродина от времени t, нетрудно видеть, что напряжение гетеродина изменяет крутизну кривой АВСДМ и таким образом воздействует на приращения коллекторного тока.

Процесс преобразования частоты можно теперь представлять в следующем виде.

Изменение напряжения между базой и эмиттером вокруг некоторого исходного значения $U_{бэ_0}$ вызывает, как это видно из рис. 2.28, изменение крутизны характеристики транзистора с частотой гетеродина. При положительном полупериоде напряжения гетеродина (например, в момент t_1) крутизна характеристики увеличивается до $S_{макс}$, а при отрицательном полупериоде (например, в момент t_2) — уменьшается до $S_{мин}$.

Изменения крутизны можно представить в виде колебаний идеализированной характеристики транзистора вокруг прямой OA (рис. 2.29-*а*). Если предположить, что эти колебания совершаются

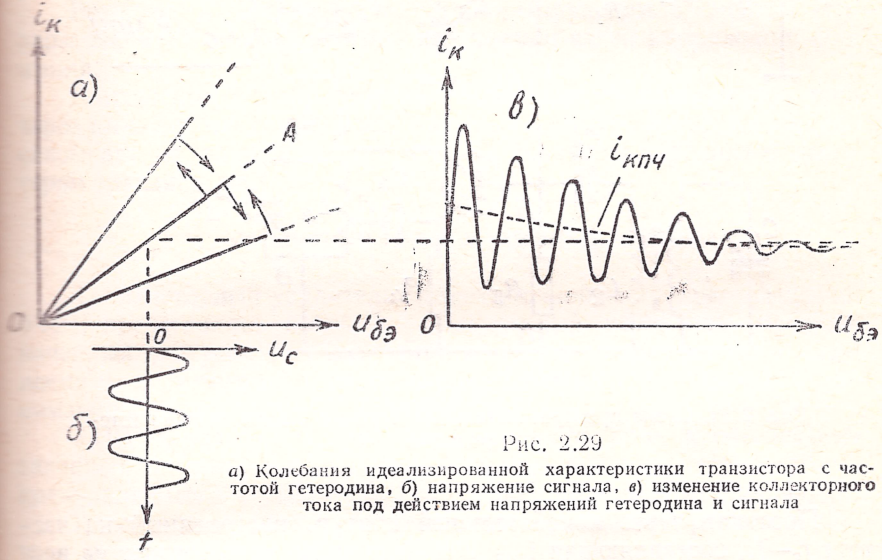


Рис. 2.29

а) Колебания идеализированной характеристики транзистора с частотой гетеродина, *б*) напряжение сигнала, *в*) изменение коллекторного тока под действием напряжений гетеродина и сигнала

так, как показано стрелками на рис. 2.29-*а*, то первый импульс тока коллектора следует изобразить большим, так как в начальные моменты рост тока коллектора вызывается двумя причинами: увеличением крутизны характеристики и приложением к эмиттеру (относительно базы) положительного напряжения сигнала.

Минимальное значение, которое преобретает ток коллектора в момент t_2, объясняется уменьшением крутизны характеристики и приложением к эмиттеру отрицательного напряжения сигнала. Так как частоты гетеродина и сигнала отличаются одна от другой, то в дальнейшем сдвиг фаз этих колебаний нарастает. Это приводит к уменьшению максимальных значений тока коллектора и увеличению его минимальных значений. Затем, начиная с некоторого момента, происходит наоборот — размах колебаний тока коллектора с частотой сигнала увеличивается. В моменты, когда фазы колебаний напряжений гетеродина и сигнала между эмиттером и

базой совпадают, ток коллектора достигает наибольшего значения из всех возможных.

Таким образом, при одновременном изменении крутизны характеристики с частотой гетеродина $f_г$ и напряжения между эмиттером и базой с частотой сигнала $f_с$ форма кривой тока коллектора отличается от формы кривой напряжения сигнала. Из рис. 2.29 видно, что колебания тока коллектора содержат составляющую $i_{кпч}$ (показано пунктирной линией), которая изменяется с частотой $f_г - f_с$, более низкой, чем частота сигнала.

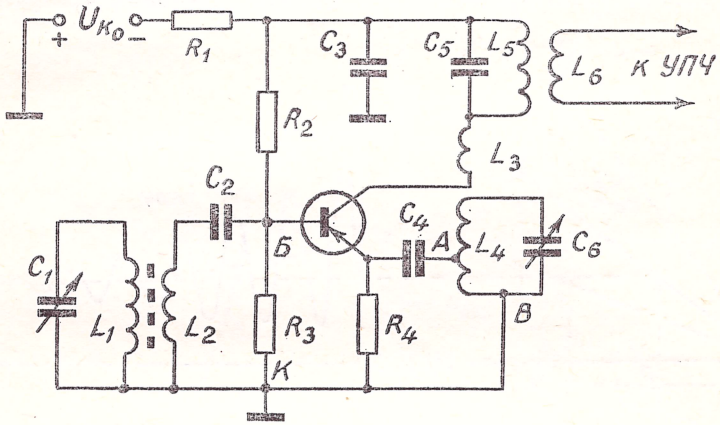


Рис. 2.30. Схема преобразовательной ступени с совмещенным гетеродином

Протекая через колебательный контур, настроенный на частоту $f_г - f_с$, составляющая $i_{кпч}$ коллекторного тока создает на нем переменное напряжение, превышающее напряжение сигнала на входе преобразователя в десятки раз. Чем больше амплитуда составляющей $i_{кпч}$ тока коллектора и чем добротнее колебательный контур, тем выше выходное напряжение, а следовательно, и коэффициент усиления преобразователя частоты.

Схема преобразовательной ступени с совмещенным гетеродином приведена на рис. 2.30. Здесь один и тот же транзистор выполняет функции гетеродина и смесителя. Входной сигнал снимается с катушки L_2 входной цепи, а напряжение гетеродина — с части AB катушки L_4 контура гетеродина. Оба напряжения действуют в цепи база-эмиттер транзистора.

Гетеродин собран по схеме с индуктивной связью. Катушкой обратной связи является катушка L_3.

Для выделения напряжения промежуточной частоты в коллекторную цепь включен контур C_5L_5, настроенный на разностную частоту $f_г - f_с$.

Резистор R_1 и конденсатор C_3 являются элементами развязывающего фильтра.

Назначение конденсатора C_2 — пропускать сигналы высокой частоты с катушки L_2 на базу и эмиттер и исключить возможность протекания постоянного тока с минусового вывода источника питания через резисторы R_1, R_2 и обмотку L_2 к плюсовому выводу. Если бы постоянный ток протекал по этой цепи, то вследствие того, что сопротивление постоянному току обмотки L_2 на много меньше сопротивления резистора R_3, постоянное напряжение между точками *Б* и *К* было бы значительно меньше требуемого (заданного резисторами R_2 и R_3).

Резистор R_4 является токостабилизирующим элементом (см. параграф 2.10) и одновременно источником части напряжения смещения.

Конденсатор C_4 препятствует протеканию постоянного тока через нижнюю (по схеме) часть катушки L_4 и в то же время хорошо связывает по высокой частоте точку *А* контура гетеродина с эмиттером транзистора.

2. 6. УСИЛИТЕЛИ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ

Транзисторный усилитель промежуточной частоты (сокращенно: УПЧ) представляет собой 1 ÷ 4-ступенный усилитель, предназначенный для усиления колебаний промежуточной частоты и выделения из всех сигналов, поступающих на вход УПЧ, сигналов принимаемой радиостанции.

УПЧ выполняет в приемнике основную роль в обеспечении заданных усиления и избирательности. Важнейшими требованиями, предъявляемыми к усилителям промежуточной частоты, являются:

1) неискаженное и достаточное для нормальной работы детектора усиление сигналов;

2) обеспечение заданной избирательности;

3) устойчивость работы и нечувствительность к изменениям температуры и питающих напряжений;

4) минимальный уровень шумов;

5) простота в изготовлении и настройке.

Осуществить усиление и селекцию (отбор) полезных сигналов можно двумя путями: применением УПЧ, в котором усилительные элементы и избирательные цепи распределены по всем ступеням (рис. 2.31-*а*), и использованием УПЧ, в котором избирательные цепи[1] сосредоточены в первой ступени (рис. 2.31-*б*), а усилительные неизбирательные — в остальных ступенях. Промышленные транзисторные приемники строят по второй схеме. Причины, по которым этой схеме отдают предпочтение, заключаются в следующем:

[1] Так называемый фильтр сосредоточенной селекции (сокращенно: ФСС).

В транзисторных УВЧ имеется внутренняя обратная связь, снижающая устойчивость работы усилителя. В параграфе 2.3 отмечалось, что устранить внутреннюю обратную связь можно применением нейтрализующей цепи. Однако из-за разброса параметров транзисторов, а также изменений температуры и питающих напряжений к каждому экземпляру транзистора необходимо подбирать свои индивидуальные конденсаторы и резисторы, и налаженная однажды схема может при повышении температуры и снижении

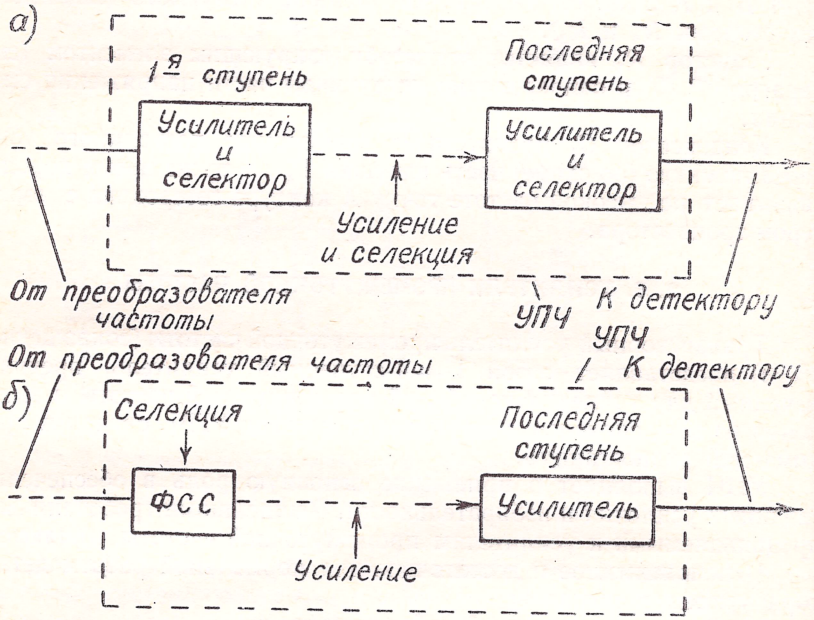


Рис. 2.31. Варианты схем построения УПЧ

напряжения источника питания снова оказаться неустойчивой. Это представляет крупный недостаток особенно при массовом производстве приемников.

Далее. В УПЧ, построенном по схеме рис. 2.31-*а*, первая ступень усиливает колебания промежуточной частоты, соответствующие не только сигналам принимаемой станции, но и сигналам других мешающих станций. В результате этого нередко возникают так называемые перекрестные помехи, мешающие приему выбранной радиостанции. В усилителе же, построенном по второй схеме, сигналы мешающих станций подавляются ФСС, и поэтому перекрестные помехи, оказывающиеся ниже уровня обычных тепловых шумов, не мешают приему.

Фильтр сосредоточенной селекции представляет собой систему двух[1] или нескольких связанных контуров, выполненных конструктивно в виде отдельного узла. Простейшим ФСС является изображенный на рис. 2.32 двухконтурный фильтр. Если к приемнику предъявляют повышенные требования в отношении избирательности по соседнему каналу, то число контуров фильтра увеличивают. Такой фильтр используют в качестве нагрузки преобразователя. При использовании в приемнике ФСС усилитель промежуточной частоты состоит из 2÷3-х апериодических или широкополосных резонансных ступеней, описанных в параграфе 2.3 или из тех и других.

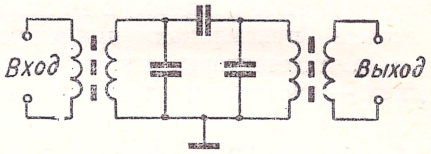


Рис. 2.32. Принципиальная схема двухконтурного ФСС

Более подробно ознакомиться с конструкциями и расчетом ФСС можно по статьям А. Таммана «Фильтры сосредоточенной селекции» и В. Иванова «ФСС для любительских транзисторных приемников», опубликованным соответственно в журнале «Радио» № 6, 1965 г., стр. 22 ÷ 24, № 7, 1965 г., стр. 20, 21 (продолжение) и № 7, 1968 г., стр. 57 и 58.

2.7. ДЕТЕКТОРЫ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРАХ

Амплитудным детектированием называют процесс преобразования амплитудно-модулированных колебаний высокой частоты в напряжения и токи, изменяющиеся с частотами сигналов, которыми были промодулированы высокочастотные колебания.

Необходимость детектирования вытекает из того, что модулированные колебания не содержат составляющих низких (звуковых) частот, поэтому обнаружить их с помощью громкоговорителя или телефона нельзя. Ту ступень радиоприемника, в которой происходит преобразование амплитудно-модулированных колебаний в напряжения и токи, соответствующие модулирующим сигналам, называют амплитудным детектором.

Принципиально необходимым элементом любой схемы амплитудного детектирования является нелинейный элемент, т. е. электрический прибор, вольтамперная характеристика которого нелинейна.

Простейшая схема детекторной ступени приведена на рис. 2.33. Здесь $u_{вх}$ — амплитудно-модулированное напряжение на входе ступени,

[1] Это бывает очень редко; чаще минимальное число контуров ФСС равно трем.

B — вентиль[1],

R — резистор сопротивлением 4,7÷15 *ком*, выполняющий роль нагрузки,

C — конденсатор емкостью 1000÷10000 *пф*, шунтирующий резистор R.

В качестве вентилей в транзисторных приемниках используют германиевые диоды типов ДІА, ДІВ, ДІГ, Д2Б, Д2В, Д2Е, Д9Б, Д9В и др., а также транзисторы (например, типов П401 ÷ П403) с граничными частотами не менее 4,65 *мгц*. В первом случае детектор называют диодным, а во втором — транзисторным. В промышленных приемниках применяют диодные детекторы, а в любительских — диодные и транзисторные.

Работает диодный детектор следующим образом. Начиная с момента O (рис. 2.34-*а*) подачи на вход схемы рис. 2.33 положительной полуволны амплитудно-модулированного колебания $u_{вх}$ и кон-

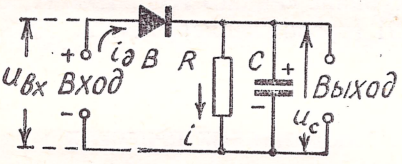


Рис. 2.33. Простейшая схема детекторной ступени

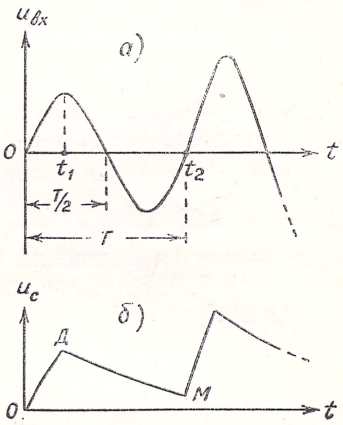


Рис. 2.34. Кривые изменений напряжений на входе (*а*) и выходе (*б*) детектора

чая моментом t_1, через диод В протекает ток $i_д$, и конденсатор C заряжается так, как показано на рис. 2.33. С момента t_1 входное напряжение уменьшается, и когда оно становится равным напряжению на конденсаторе, результирующее напряжение между анодом и катодом диода обращается в нуль и ток $i_д$ прекращается. Конденсатор не может разрядиться через диод, поэтому его разрядный ток в течение второй, третьей и четвертой четвертей периода высокой частоты, пока напряжение на аноде диода отрицательно, протекает через резистор R и напряжение u_c на конденсаторе уменьшается (участок $ДМ$ кривой на рис. 2.34-*б*). Так как сопротивление резистора R относительно велико и время разряда мало, то напряжение u_c не успевает уменьшиться до нуля и, начиная со второго периода (момента t_2, рис. 2.34-*а*), снова возрастает по синусоидальному закону. Если следующее максимальное значение входного напряже-

[1] Вентилем называют электрический прибор, обладающий односторонней проводимостью.

ния превышает предыдущее, то соответственно этому возрастает напряжение и на конденсаторе.

Таким образом, при детектировании амплитудно-модулированных колебаний $u_{вх}$ (рис. 2.35) напряжение $u_{вых}$ на выходе ступени изменяется в соответствии с изменениями амплитуды входного напряжения, т. е. по закону изменения модулирующего сигнала, представленного огибающей модулированного колебания. Чем больше емкость конденсатора, тем меньше пульсации напряжения $u_{вых}$. Однако из этого не следует делать вывод о целесообразности увеличения емкости C, так как эта мера вызвала бы уменьшение выходного напряжения модулирующего сигнала и повышение уровня искажений.

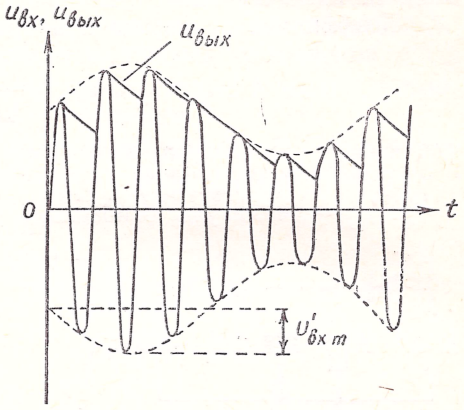


Рис. 2.35. Кривые изменений напряжений на входе и выходе детектора за период модулирующего напряжения

Изображенное на рис. 2.35 пульсирующее напряжение $u_{вых}$ можно представить в виде суммы трех составляющих: полезной постоянной составляющей U_0 (рис. 2.36-*а*), используемой в качестве регулирующего напряжения в системе автоматической регулировки усиления и в устройстве индикации настройки, полезной переменной составляющей низкой частоты $u_{нч}$ (рис. 2.36-*б*), представляющей модулирующий сигнал, и неиспользуемой переменной составляющей высокой или промежуточной частоты (рис. 2.36-*в*), состоящей из колебаний высокой или промежуточной частоты и ее гармоник. Постоянную составляющую и переменную составляющую высокой частоты отфильтровывают с помощью конденсатора C_2 фильтра и фильтра R_1C_1 (рис. 2.37), а переменную составляющую $u_{нч}$ подают на вход усилителя низкой частоты.

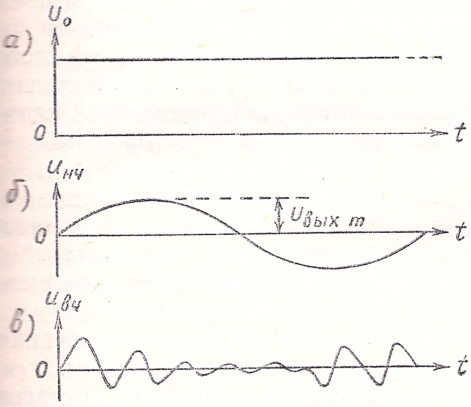


Рис. 2.36. Составляющие выходного напряжения:
постоянная (*а*), переменная низкой частоты (*б*), переменная промежуточной частоты (*в*)

Основные требования, предъявляемые к детектору, заключаются в том, чтобы он обладал возможно большими значениями коэффициента передачи напряжения и входного сопротивления и вносил минимальные частотные и нелинейные искажения[1].

Коэффициентом передачи напряжения называют отношение

$$K_{\text{пн}} = \frac{U_{\text{вых}_m}}{U'_{\text{вх}_m}},$$

где $U_{\text{вых}_m}$ — амплитуда выходного напряжения низкой частоты (рис. 2.36-*б*),

$U'_{\text{вх}_m}$ — амплитуда огибающей входного модулированного напряжения (рис. 2.35).

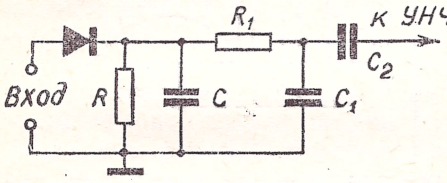


Рис. 2.37. Практическая схема диодного детектора

Входным сопротивлением детектора называют отношение амплитуды подводимого к нему напряжения высокой частоты к амплитуде первой гармоники входного тока высокой частоты.

Входное сопротивление диодного детектора зависит от сопротивления нагрузки, выбираемого в пределах 5÷39 *ком*, обратного сопротивления диода, амплитуды входного сигнала и температуры окружающей среды. Чем больше сопротивление нагрузки, меньше обратный ток диода и ниже температура, тем больше входное сопротивление диодного детектора. Из-за сравнительно малого входного сопротивления детектора питающий его контур сильно шунтируется и становится менее добротным. Для уменьшения влияния детекторной ступени на параметры контура детектор присоединяют не ко всей контурной катушке, а к части ее витков.

Коэффициенты передачи напряжения диодных детекторов много меньше единицы ($K_{\text{пн}} = 0{,}01 \div 0{,}10$) и зависят от уровня входного сигнала и сопротивления нагрузки. Для увеличения $K_{\text{пн}}$ в любительских приемниках применяют либо детекторы с удвоением напряжения, либо транзисторные схемы детектирования[2].

Принципиальная схема детектора с удвоением напряжения приведена на рис. 2.38. Работает схема следующим образом.

При показанной на рисунке полярности источника сигналов диод $Д_2$ заперт, а диод $Д_1$ отперт. При этом конденсатор C_1 заряжается почти до амплитудного значения напряжения источника сигналов. Через полпериода полярность напряжения на входе

[1] Следует иметь в виду, что при правильно рассчитанном и налаженном приемнике наибольшие искажения из всех его ступеней обычно вносит детектор.

[2] Достоинством транзисторных схем детектирования является относительно большой коэффициент передачи напряжения, превышающий $K_{\text{пн}}$ обычных диодных детекторов в десятки и сотни раз.

детектора меняется на обратную. Это приводит к тому, что диод $Д_1$ запирается, а диод $Д_2$ отпирается. Так как приложенное к диоду $Д_2$ максимальное напряжение равно сумме амплитудного значения напряжения источника сигнала и напряжения на конденсаторе C_1, то конденсатор C_2 заряжается почти до удвоенного значения $U_{вх_m}$. Следовательно, напряжение на выходе детектора, а значит, и коэффициент передачи напряжения удваивается.

В качестве диодов $Д_1$ и $Д_2$ используют германиевые диоды типов Д9Б ÷ Д9К. Емкости конденсаторов и сопротивление резистора выбирают в пределах $C_1 = 2700 \div 100.000$ *пф*, $C_2 = 6200 \div 7500$ *пф* и $R = 5{,}6 \div 12$ *ком*.

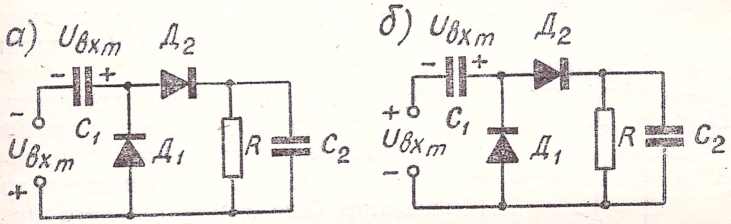


Рис. 2.38. Принципиальная схема диодного детектора с удвоением напряжения

Можно собрать детектор, в котором одновременно с детектированием осуществляется автоматическая регулировка усиления сигналов. Схема такого детектора отличается от схем обычных диодных детекторов тем, что в нее последовательно с нагрузочным резистором введен полупроводниковый диод и напряжение низкой частоты снимается не с резистора, как обычно, а с диода. Так как с увеличением выпрямленного тока дифференциальное сопротивление диода уменьшается, а с уменьшением тока — увеличивается, то снимаемое с диода напряжение низкой частоты остается почти постоянным (по амплитуде). Искажения, возникающие при таком способе детектирования, компенсируют в усилителе низкой частоты.

При неправильном выборе или неисправности хотя бы одного из элементов схемы детектора процесс детектирования становится неэффективным или сопровождается искажениями. Основной причиной появления частотных[1] искажений является увеличение емкости конденсатора C (рис. 2.33), а причинами появления нелинейных[1] искажений—перегрузка и недогрузка детектора, увеличение емкости конденсатора C, уменьшение сопротивления резистора R, зависимость входного сопротивления детектора от амплитуды входного напряжения и различие между сопротивлениями нагрузки постоянной и переменной составляющим низкой частоты.

[1] О частотных и нелинейных искажениях см. параграф 2.8.

2.8. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ТРАНЗИСТОРНЫХ УСИЛИТЕЛЯХ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Подобно другим усилителям электрических сигналов транзисторный усилитель низкой частоты усиливает напряжение, ток или мощность в нагрузке посредством управления мощностью местного источника электрической энергии (батареи гальванических элементов или аккумуляторов). Роль элемента, регулирующего подачу энергии от местного источника к нагрузке, выполняет полупроводниковый триод. Основными элементами схемы транзисторного усилителя является транзистор T (рис. 2.39), нагрузка R и местный источник энергии $Б$. Управляющая мощность подводится к базе-эмиттеру транзистора и используется для регулирования подачи энергии от источника питания к нагрузке.

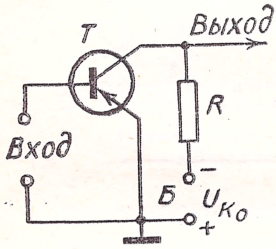


Рис. 2.39. Простейшая схема транзисторного УНЧ

Величина мгновенной мощности, подводимой к нагрузке, зависит от ряда факторов и в том числе от величины и знака напряжения между базой и эмиттером триода. Сообщение базе отрицательного (относительного эмиттера[1]) потенциала увеличивает ток коллектора, а следовательно, и мгновенную мощность, выделяющуюся в нагрузке. Подача на базу положительного напряжения, наоборот, уменьшает число дырок, впрыскиваемых в базу[2]. Следовательно, ток коллектора, а вместе с ним и мощность, подводимая к нагрузке, уменьшаются.

Транзисторные усилители низкой частоты классифицируют по ряду признаков. По применению их делят на усилители напряжения, тока и мощности; по назначению — на предварительные и оконечные усилители; по виду межступенной связи — на усилители с емкостной, трансформаторной и непосредственной связью.

Как и любое другое электрическое устройство, транзисторный усилитель низкой частоты характеризуется рядом показателей. Важнейшими из них являются: коэффициент усиления, входное и выходное сопротивления, диапазон усиливаемых частот, степени нелинейных и частотных искажений, уровень собственных шумов.

Коэффициентом усиления по напряжению называют отношение

$$K_U = \frac{U_{\text{вых}_m}}{U_{\text{вх}_m}},$$

где $U_{\text{вых}_m}$ и $U_{\text{вх}_m}$ (рис. 2.40) — соответственно амплитудные значения напряжения на выходе и входе усилителя.

[1] Имеется в виду использование транзистора структуры p-n-p.
[2] См. параграф 2.1.

Из приведенного выражения следует, что коэффициент усиления по напряжению представляет собой число, показывающее, во сколько раз напряжение на выходе усилителя больше (или меньше) напряжения на входе.

Коэффициент усиления по мощности представляет собой отношение

$$K_P = \frac{P_{вых}}{P_{вх}},$$

где $P_{вых}$ — мощность полезного сигнала, отдаваемая усилителем в нагрузку,

$P_{вх}$ — мощность полезного сигнала на входе усилителя.

Из приведенного выражения следует, что коэффициент усиления по мощности тоже представляет собой число, показывающее, во сколько раз мощность, отдаваемая усилителем в нагрузку, больше мощности сигнала на входе усилителя.

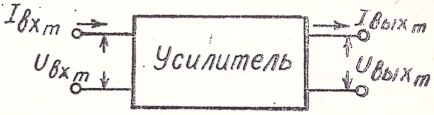


Рис. 2.40. Напряжения и токи на входе и выходе усилителя

Входным и выходным сопротивлениями усилителя называют отношения

$$R_{вх} = \frac{U_{вх_m}}{I_{вх_m}}$$

и

$$R_{вых} = \frac{U_{вых_m}}{I_{вых_m}},$$

показывающие, какое сопротивление оказывает усилитель входным сигналам и каково сопротивление усилителя как источника выходных сигналов.

Входные сопротивления транзисторных усилителей (за исключением входного сопротивления эмиттерного повторителя[1]) невелики (несколько десятков, сотен или тысяч *ом*), а выходные сопротивления большинства усилителей в сотни и тысячи раз больше входных (см. таблицу 2.1 на стр. 60).

Под диапазоном усиливаемых частот понимают полосу звуковых частот, в пределах которой коэффициент частотных искажений[2] не превышает 1,41.

---

[1] Эмиттерным повторителем называют усилительную ступень, в которой транзистор включен по схеме с общим коллектором.

[2] Коэффициентом частотных искажений (на частоте F) называют отношение

$$M = \frac{K_{ср}}{K},$$

где $K_{ср}$ и K — коэффициенты усиления на средних частотах и на частоте F.

Всякий усилитель вносит в процессе работы искажения, проявляющиеся в несоответствии формы кривой выходного напряжения форме кривой напряжения на входе усилителя.

При усилении колебаний звуковых частот различают три вида искажений: частотные, нелинейные и фазовые.

Частотные искажения, проявляющиеся в неодинаковом усилении напряжения различных частот, — следствие зависимости со-

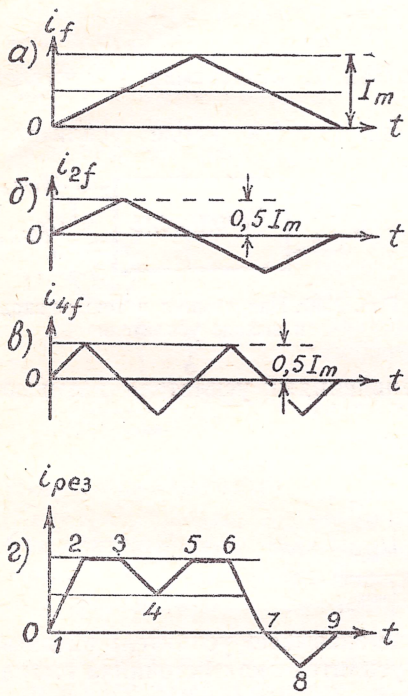


Рис. 2.41

а, б, в) треугольные кривые разных частот, *г)* результирующее колебание

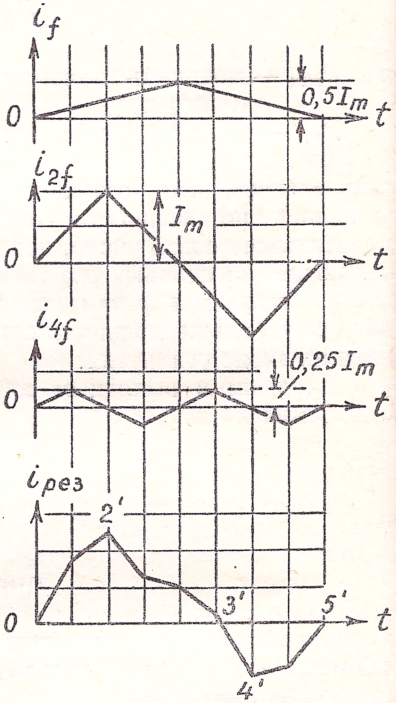


Рис. 2.42

а, б, в) неравномерно усиленные треугольные кривые, *г)* результирующее колебание

противлений некоторых элементов схемы (например, конденсаторов) от частоты.

К чему приводит неодинаковое (неравномерное) усиление напряжения частот, входящих в какое-нибудь сложное колебание, видно из рис. 2.41 и 2.42. На первом из них показаны три треугольные кривые с частотами f (рис. 2.41-*а*), $2f$ (рис. 2.41-*б*) и $4f$ (рис. 2.41-*в*) и амплитудами I_m, $0{,}5I_m$ и $0{,}5I_m$. Треугольные кривые выбраны для облегчения построения результирующей кривой 123456789, приведенной на рис. 2.41-*г*.

На втором рисунке показаны те же треугольные кривые, но неравномерно усиленные — первая и третья ослаблены, а вторая

усилена в два раза. Как видно из рис. 2.42, сумма этих кривых (кривая *1'*, *2'*, *3'*, *4'*, *5'*) заметно отличается по форме от результирующей неискаженной кривой *1*, *2*, *3*, *4*, *5*, *6*, *7*, *8*, *9* (рис. 2.41-*г*).

Нелинейные искажения проявляются в том, что в выходном напряжении появляются частоты, отсутствовавшие во входном напряжении. Причиной появления искажений этого вида является кривизна входной характеристики транзистора.

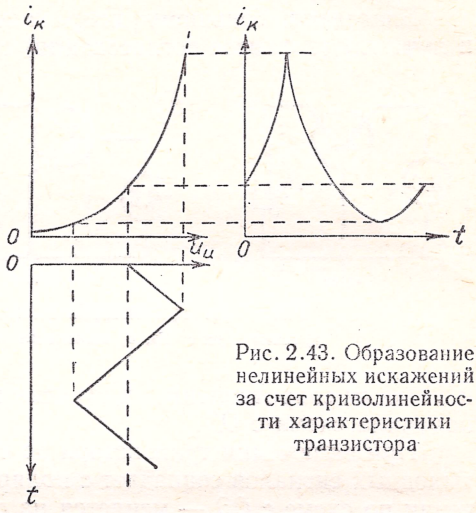


Рис. 2.43. Образование нелинейных искажений за счет криволинейности характеристики транзистора

Представление о том, как образуются нелинейные искажения за счет криволинейности характеристики транзистора, дает рис. 2.43, на котором слева внизу показана кривая напряжения между базой и эмиттером (треугольная кривая), а справа — кривая изменения тока коллектора. Последняя заметно отличается по форме от кривой приложенного к транзистору напряжения вследствие нелинейности кривой зависимости тока эмиттера от напряжения между базой и эмиттером.

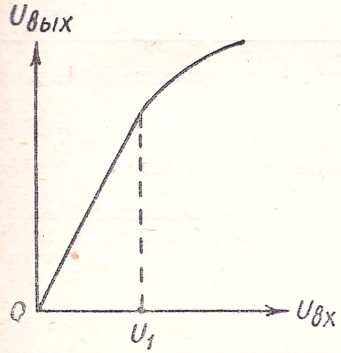


Рис. 2.44. Амплитудная характеристика усилителя

Уровень нелинейных искажений повышается с увеличением амплитуды подводимого к транзистору напряжения. Некоторое представление о степени нелинейных искажений дает амплитудная характеристика усилителя, представляющая собой график зависимости выходного напряжения от входного. Амплитудная характеристика приведена на рис. 2.44. Начинающийся при входном напряжении U_1 изгиб амплитудной характеристики свидетельствует о возрастании нелинейных искажений.

На фазовые искажения слуховой аппарат человека не реагирует.

Для уменьшения частотных и нелинейных искажений в усилителях низкой частоты широко применяют отрицательную обратную связь, охватывающую одну-две ступени или даже весь усилитель.

Транзисторы в усилителях низкой частоты включают по схемам

с общим эмиттером (*ОЭ*), с общей базой (*ОБ*) и с общим коллектором (*ОК*) (рис. 2.45)[1].

Параметры ступеней УНЧ на транзисторах, включенных по этим схемам, приведены в таблице 2.1.

Благодаря большому коэффициенту усиления по мощности и лучшему (в смысле согласования) соотношению между выходным

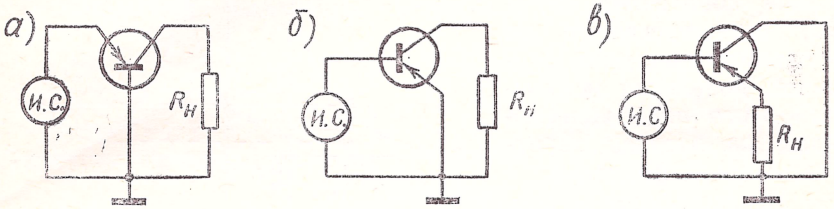


Рис. 2.45. Три способа включения транзистора:
а) включение с ОБ, *б*) включение с ОЭ, *в*) включение с ОК

и входным сопротивлениями ступени наиболее широкое применение получила схема с *ОЭ*.

При включении транзистора по схемам с *ОБ* и *ОК* полярность выходных сигналов совпадает с полярностью входных, а при включении по схеме с *ОЭ* — меняется на обратную.

Таблица 2.1

Параметры	Значения величин в схеме		
	с общим эмиттером	с общей базой	с общим коллектором
Коэффициент усиления по напряжению	десятки, сотни и тысячи	десятки, сотни и тысячи	меньше единицы
Коэффициент усиления по току	несколько десятков	меньше единицы	несколько десятков
Коэффициент усиления по мощности	несколько тысяч	несколько сотен	несколько десятков
Входное сопротивление, *ом*	несколько сотен или тысяч	несколько десятков	несколько десятков или сотен тысяч
Выходное сопротивление, *ом*	несколько десятков тысяч	несколько сотен тысяч	несколько десятков или сотен

В зависимости от доли периода сигнала, в течение которой протекает коллекторный ток, различают три режима работы транзистора: режим *А*, режим *В* и режим *АВ*. Режимом *А* называют такой режим работы, при котором исходные напряжения на коллекторе и входном электроде транзистора, а также амплитуда переменного напряжения между базой и эмиттером выбраны такими, что

[1] На рис. 2.45 И. С. означает источник сигналов, $R_н$ — нагрузка.

коллекторный ток протекает в течение всего периода (T) усиливаемого сигнала (рис. 2.46).

Режимом B называют режим работы, при котором смещение на базу либо совсем не подается, либо равно малой величине, поэтому в отсутствие переменного напряжения на базе (точнее: между

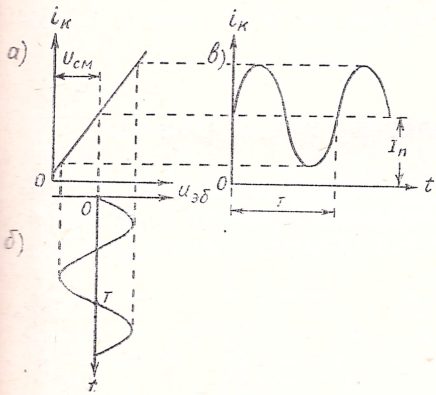


Рис. 2.46. Режим А работы транзистора:

а) спрямленная сквозная динамическая характеристика транзистора, *б*) кривая изменения напряжения между Э и Б, *в*) кривая изменения коллекторного тока

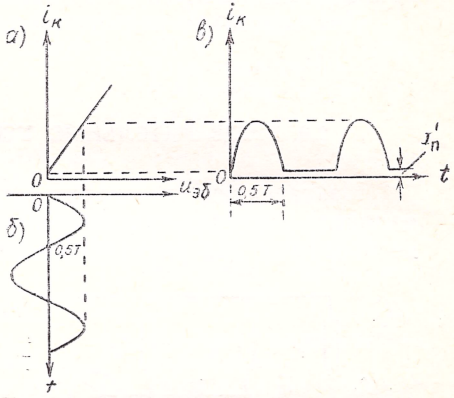


Рис. 2.47. Режим В работы транзистора:

а) спрямленная сквозная динамическая характеристика транзистора, *б*) кривая изменения напряжения между Э и Б, *в*) кривая изменения коллекторного тока

базой и эмиттером) коллекторный ток очень мал, а при подаче переменного напряжения протекает приблизительно в течение половины периода ($T/2$) сигнала (рис. 2.47).

Таблица 2.2

Название режима	Свойства режимов	
	достоинства	недостатки
Режим А	1. Малые нелинейные искажения 2. Возможность использования в однотактных и двухтактных схемах	1. Большой ток покоя ($I_п$)[1] (рис. 2.46) 2. Необходимость применения источников питания повышенной емкости
Режим В	1. Незначительный ток покоя ($I'_п$) (рис. 2.47) 2. Возможность применения источников питания малой емкости	1. Повышенный уровень нелинейных искажений 2. Невозможность использования в однотактных схемах УНЧ

[1] Током покоя называют постоянный ток, устанавливающийся в цепи (в данном случае в коллекторной) в отсутствие сигналов. Ток покоя — это ордината точки покоя, представляющей собой точку пересечения динамической прямой постоянного тока со статической выходной характеристикой транзистора для заданного напряжения на базе.

Режим AB занимает промежуточное положение между первыми двумя режимами.

Как видно из рис. 2.46 и 2.47, при выбранных значениях напряжения на коллекторе и переменного напряжения на базе режим работы транзистора определяется величиной исходного напряжения $U_{см}$, подаваемого на входной электрод транзистора.

Достоинства и недостатки режимов A и B приведены в таблице 2.2.

2.9. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Назначением предварительного усилителя низкой частоты является усиление напряжений и мощности сигналов до значений, необходимых для раскачки оконечной ступени приемника. Пред-

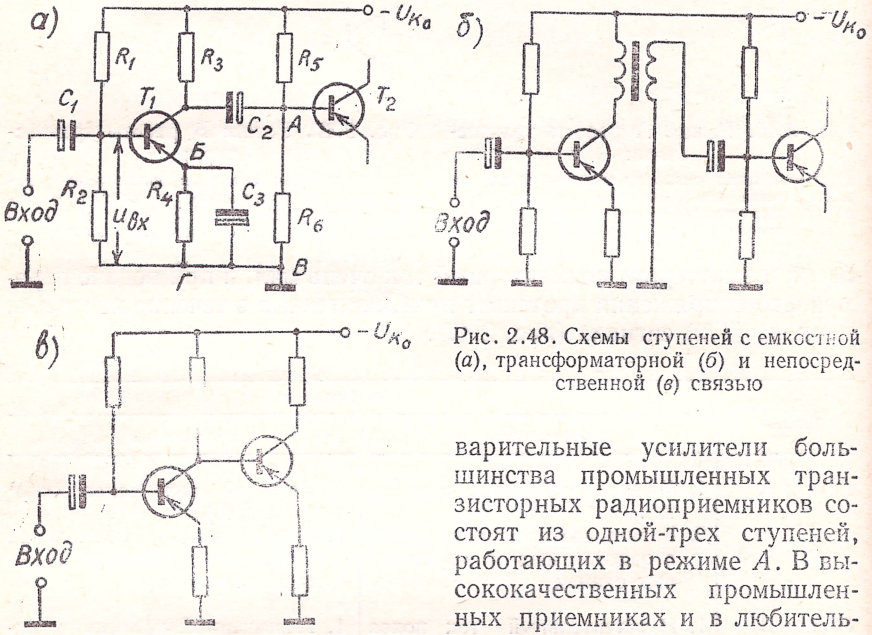


Рис. 2.48. Схемы ступеней с емкостной (*а*), трансформаторной (*б*) и непосредственной (*в*) связью

варительные усилители большинства промышленных транзисторных радиоприемников состоят из одной-трех ступеней, работающих в режиме A. В высококачественных промышленных приемниках и в любительских конструкциях число ступеней может доходить до семи. Чем строже требования к качеству звучания и чем выше уровень выходной мощности приемника, тем больше ступеней входит в предварительный усилитель.

Наиболее широкое применение в транзисторных усилителях низкой частоты получили ступени с емкостной (рис. 2.48-*а*), трансформаторной (рис. 2.48-*б*) и непосредственной (рис. 2.48-*в*) связью.

Свойства этих усилительных ступеней приведены в таблице 2.3.

Таблица 2.3

Название усилительной ступени	Свойства	
	Достоинства	Недостатки
Ступень с емкостной связью	1. Простота схемы 2. Высокая надежность 3. Малые размеры и вес 4. Относительно низкая стоимость	1. Плохое согласование входа с выходом при соединении однотипных ступеней 2. Взаимозависимость режимов работы смежных ступеней
Ступень с трансформаторной связью	1. Возможность точного согласования выхода предыдущей ступени с входом последующей 2. Значительное усиление сигналов	1. Увеличение стоимости, размеров и веса усилителя 2. Повышенный уровень искажений 3. Несколько пониженная надежность
Ступень с непосредственной связью	1. Простота схемы 2. Высокая надежность 3. Малые размеры и вес 4. Относительно низкая стоимость 5. Отсутствие взаимозависимости режимов работы смежных ступеней	1. Низкая температурная стабильность 2. Невозможность применения в усилителе более трех ступеней 3. Сложность налаживания

Усилители с емкостной и непосредственной связью применяют в первых ступенях УНЧ, а усилители с трансформаторной связью — преимущественно в предоконечных ступенях.

Основным способом включения транзисторов в предварительных усилителях является включение с общим эмиттером как обеспечивающее наибольшее усиление мощности.

Для уменьшения нелинейных и частотных искажений, снижения уровня шумов, ослабления влияния на коэффициент усиления дестабилизирующих факторов[1], уменьшения выходных и увеличения входных сопротивлений ступени в предварительных усилителях широко применяют отрицательную обратную связь.

Одна из практических схем ступеней с емкостной связью приведена на рис. 2.48-*а*. Ступень состоит из транзистора T_1 структуры *p—n—p*, конденсаторов C_1 и C_2 межступенной связи, делителей напряжения R_1, R_2 и R_5, R_6, с помощью которых образуются фиксированные напряжения смещения, резистора R_3, выполняющего роль анодной нагрузки, резистора R_4, стабилизирующего режим

[1] К дестабилизирующим факторам относят изменения температуры, влажности и напряжения источника питания, старение элементов схемы (конденсаторов, резисторов, полупроводниковых диодов и триодов), смену транзисторов.

работы транзистора T_1 (подробнее о температурной стабилизации см. параграф 2.10) и конденсатора C_3, уменьшающего падение напряжения сигнала на резисторе R_4.

Входной (подлежащий усилению) сигнал подается через конденсаторы C_1 и C_3 на базу и эмиттер транзистора T_1, а выходное (усиленное ступенью) напряжение снимается с точек A, B и подается на базу-эмиттер транзистора T_2.

Работает ступень следующим образом.

Под действием падений напряжения, образующихся на резисторах R_2, R_4, и входного сигнала $u_{вх}$ из эмиттера в базу инжектируются[1] дырки. Этот пульсирующий с частотой сигнала поток носителей положительных зарядов (ток эмиттера) пропорционален результирующему напряжению между эмиттером и базой. Так как концентрация введенных в базу дырок максимальна у эмиттерного перехода, то они перемещаются в направлениях коллекторного перехода и вывода базы, образуя пульсирующие токи коллектора и базы[2]. Та часть эмиттерного тока, которая достигает коллекторного перехода, втягивается его электрическим полем в коллектор и, протекая через резистор R_3, создает на нем пульсирующее падение напряжения.

Учитывая, что сумма падений напряжений на нагрузочном резисторе R_3 и транзисторе T_1 в любой момент времени равна напряжению источника коллекторного питания, можно считать, что возникновение пульсирующего напряжения на резисторе R_3 вызывает изменение вокруг некоторого среднего значения и напряжения между эмиттером и коллектором транзистора T_1. Переменная составляющая этого напряжения делится конденсатором C_2, резисторами R_5, R_6 и входным сопротивлением транзистора T_2 на две части. Та часть, которая падает на входном сопротивлении транзистора T_2, т. е. между точками A и B, и представляет собой выходное напряжение, превосходящее входное в десятки и сотни раз.

Коэффициент усиления ступени по напряжению зависит от параметров транзистора и сопротивления нагрузки R_3. Чем больше коэффициент усиления транзистора по переменному току и сопротивление нагрузки R_3 и чем меньше входное сопротивление транзистора при коротком замыкании его выхода, тем больше коэффициент усиления ступени.

На рис. 2.49 приведена еще одна схема предварительного усилителя низкой частоты, отличающаяся от рассмотренной выше схемы способом передачи сигналов (с помощью трансформаторов) и применением отрицательной обратной связи.

Из рисунка видно, что в ступени используется полупроводниковый триод структуры $p—n—p$. Эмиттер транзистора присоеди-

[1] Инжектировать означает вводить, впрыскивать, впускать.

[2] В действительности ток в материале базы между эмиттерным и коллекторным переходами не протекает, но для упрощения объяснения процесса усиления сигналов такое допущение сделать можно (см. параграф 2.1).

нен через обмотку O_2 трансформатора $Тр_2$ и резистор R_6 к плюсу источника питания, а коллектор — через обмотку O_1 трансформатора к минусовому выводу. Напряжением смещения является разность падений напряжения на резисторах R_4, R_5 и R_6, которые создаются постоянными токами I и $I_э$. Сопротивления резисторов выбирают такими, чтобы падения напряжения U_{R_4} и U_{R_5}, обращенные к эмиттеру плюсами, превышали на несколько десятых долей вольта падение напряжения U_{R_6}, обращенное к эмиттеру минусом. Вследствие этого постоянное результирующее напряжение в цепи база—эмиттер снижает потенциальный барьер эмиттерного перехода и тем самым обеспечивает начальную инжекцию дырок из эмиттера в базу.

При подаче сигналов на вход ступени (на первичную обмотку трансформатора $Тр_1$) индуктированная во вторичной обмотке переменная э. д. с. в одни полупериоды сигнала складывается с напряжением смещения, а в другие полупериоды вычитается из него. В результате этого ток эмиттера, а следовательно, и ток коллектора, изменяются вокруг своих средних значений. Переменная составляющая тока коллектора наводит в обмотках O_3 и O_2 переменные э. д. с. e_3 и e_2. Первая используется для подачи на оконечную ступень, а вторая — для уменьшения искажений. Напряжение, снимаемое с обмотки O_2 и подаваемое в цепь база — эмиттер в противофазе с усиливаемым сигналом, повышается с увеличением частоты, поэтому, учитывая сущность нелинейных искажений[1], можно считать, что данная схема превосходит другие схемы (без отрицательной обратной связи) в отношении степени нелинейных искажений.

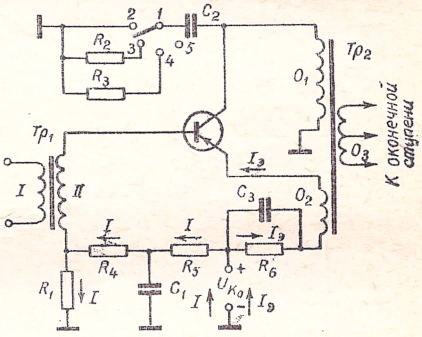


Рис. 2.49. Схема предварительного усилителя низкой частоты с отрицательной обратной связью

Резистор R_6 и конденсатор C_3 выполняют в рассматриваемой схеме те же роли, что резистор R_4 и конденсатор C_3 в предыдущей схеме (рис. 2.48). Что касается назначения конденсатора C_2 и резисторов R_2, R_3, то оно заключается в изменении тембра. В положении переключателя 1—2 обмотка O_1 выходного трансформатора шунтируется конденсатором C_2, поэтому уровень высших звуковых частот на выходе усилителя понижается. В положении *1—5* обмотка O_1 не шунтируется. Положения *1—3* и *1—4* переключателя являются промежуточными в отношении степени шунтирования обмотки.

[1] См. параграф 2.8.

Одной из особенностей транзисторных УНЧ является использование в качестве разделительных конденсаторов (C_1 и C_2 на рис. 2.48-*а*) низковольтных электролитических конденсаторов. Применение последних объясняется малым входным сопротивлением ступени на транзисторе.

Рассмотрим этот вопрос более подробно.

Выше отмечалось, что напряжение $U_{эб_2}$ (рис. 2.50), подаваемое на вход последующей ступени, снимается с участка АВ схемы, образующего вместе с конденсатором C_2 делитель выходного напряжения предыдущей ступени ($U_{кэ_1}$). Так как входное сопротивление последующей ступени $R_{вх_2}$, а следовательно, и сопротивление участка АВ относительно малы, то для увеличения напряжения $U_{эб_2}$ необходимо уменьшить сопротивление конденсатора C_2. Осуществить это можно только увеличением емкости конденсатора C_2 до 5÷20 *мкф*. Чем больше емкость разделительного конденсатора, тем меньшая часть напряжения $U_{эк_1}$ теряется на нем и, следовательно, тем в большее число раз усиливает ступень средние и нижние частоты.

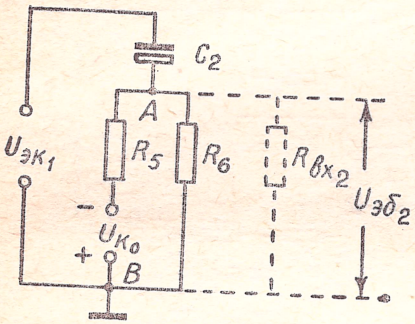


Рис. 2.50. Делитель напряжения $U_{эк1}$

Применяя электролитические конденсаторы, следует, однако, иметь в виду что они должны быть высокого качества. Наличие в разделительном конденсаторе утечки по постоянному току может вызвать такие изменения режимов работы транзисторов, что эффективность и качество работы ступени резко понизятся.

2.10. ТЕМПЕРАТУРНАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ УСИЛИТЕЛЕЙ

Одной из особенностей полупроводниковых триодов является относительно сильная зависимость тока коллектора, а следовательно, и параметров транзистора от температуры окружающей среды.

При повышении температуры на 11° С неуправляемый ток коллектора $I_{к_0}$ увеличивается приблизительно в два раза. В результате этого возрастают постоянная составляющая тока коллектора и падение напряжения на нагрузке, уменьшается постоянное напряжение между эмиттером и коллектором, изменяются параметры транзистора, коэффициент усиления ступени и другие параметры. Все это приводит к нестабильности работы усилителя и ухудшению его показателей.

Для уменьшения влияния изменений температуры на ток коллектора применяют различные методы стабилизации коллектор-

ного тока и компенсации изменения положения рабочей точки. Наиболее широкое распространение получил метод стабилизации коллекторного тока, основанный на применении обратной связи по постоянному току. Сущность метода иллюстрирует схема, приведенная на рис. 2.48-*а*. Как видно из рисунка, напряжением смещения, обеспечивающим начальную инжекцию дырок из эмиттера в базу, является сумма падений напряжений на резисторах R_2 и R_4. Одно из них действует как прямое, а другое как обратное смещение. Сопротивления резисторов выбирают такими, чтобы падение напряжения на резисторе R_2 превышало падение напряжения на резисторе R_4. При этом условии результирующее напряжение (т. е. напряжение смещения) обращено плюсом к эмиттеру, потенциальный барьер эмиттерного перехода понижается и из эмиттера в базу вводятся дырки.

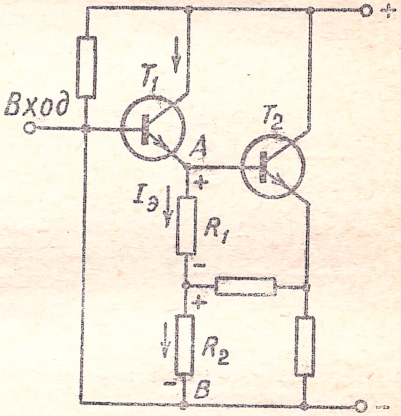


Рис. 2.51. Схема эмиттерной стабилизации режима работы транзистора

При повышении температуры окружающей среды постоянная составляющая тока коллектора увеличивается. В отсутствие резистора R_4 это вызвало бы нежелательные изменения режима работы и параметров транзистора. При вводе же резистора R_4 в цепь эмиттера этого не происходит, так как увеличение тока коллектора вызывает повышение напряжения на резисторе R_4. В результате этого напряжение между эмиттером и базой, а следовательно, и ток эмиттера, уменьшается и ток коллектора приобретает прежнее значение.

При понижении температуры наблюдаются обратные явления: ток коллектора уменьшается, падение напряжения на резисторе R_4 становится меньшим, напряжение смещения повышается и постоянная составляющая тока коллектора увеличивается.

На рис. 2.51 приведена более эффективная схема эмиттерной стабилизации режима.

Незначительное увеличение тока эмиттера транзистора T_1 вызывает повышение напряжения на резисторе R_1. Так как оно обращено плюсом к базе транзистора T_2 структуры $n—p—n$, то ток эмиттера транзистора T_2, а следовательно, и напряжение на резисторе R_2, увеличиваются, суммарное напряжение между точками A и B, обращенное к базе транзистора T_1 минусом, повышается и увеличенный эмиттерный ток транзистора T_1 становится таким, каким был.

При уменьшении тока эмиттера транзистора T_1 процесс протекает иначе: падение напряжения на резисторе R_1 и ток эмиттера транзистора T_2 уменьшаются, падение напряжения на резисторе R_2, обращенное минусом к базе транзистора T_1, становится меньшим и ток эмиттера транзистора T_1 увеличивается.

Устранить влияние температуры на режим работы и параметры транзистора можно также с помощью нелинейных элементов, например, полупроводникового диода или термистора[1].

Одна из схем температурной компенсации с помощью термистора приведена на рис. 2.52. Постоянство положения рабочей точки поддерживается здесь тоже за счет изменения смещения на базу. Так, при повышении температуры, когда ток коллектора увеличивается, сопротивление термистора R_T уменьшается. Так как последний присоединен параллельно резистору R_2 нижнего плеча делителя напряжения R_1, R_2, то напряжение между точками A и B, т. е. смещение на базу транзистора уменьшается. В результате этого ток эмиттера, а следовательно, и ток коллектора становятся меньшими.

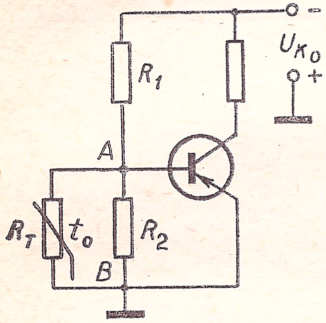


Рис. 2.52. Схема, поясняющая принцип температурной компенсации с помощью термистора

При понижении температуры процесс протекает в противоположном направлении.

2.11. ОКОНЕЧНЫЕ СТУПЕНИ УНЧ

Оконечная ступень усилителя низкой частоты представляет собой трансформаторный или бестрансформаторный усилитель, предназначенный для усиления мощности колебаний звуковых частот до величины, необходимой для нормальной работы громкоговорителя или телефона. Поскольку оконечная ступень УНЧ потребляет от источника питания большую часть энергии и к ней подводится напряжение раскачки, захватывающее значительный участок динамической характеристики, основными требованиями, предъявляемыми к оконечной ступени, являются усиление сигналов при заданных уровнях искажений и минимальное потребление энергии.

Оконечные однотактные и двухтактные ступени УНЧ работают в режимах A, B и AB. Собирают оконечные ступени по однотактной (рис. 2.53-*а*) и двухтактной (рис. 2.53-*б*) схемам. Каждая из них обладает своими достоинствами и недостатками. Так, однотактная

[1] Термистор — это полупроводниковый резистор, сопротивление которого при повышении температуры не увеличивается, как у большинства проводников, а, наоборот, в значительной степени уменьшается.

схема, работающая только в режиме A, вносит минимальные искажения, но зато потребляет максимальную энергию. Двухтактная схема, работающая в режиме B, наоборот, вносит более значительные нелинейные искажения, но зато потребляет меньше энергии.

Транзисторы в оконечных ступенях включают преимущественно по схемам с общим эмиттером и с общей базой. Первая позволяет получить большее усиление мощности при относительно больших нелинейных искажениях, а вторая, наоборот, уступая первой в отношении усиления сигналов, вносит меньшие искажения.

В транзисторных промышленных приемниках наиболее широкое распространение получили двухтактные оконечные ступени, работающие в режиме AB с включением транзисторов по схеме с общим эмиттером.

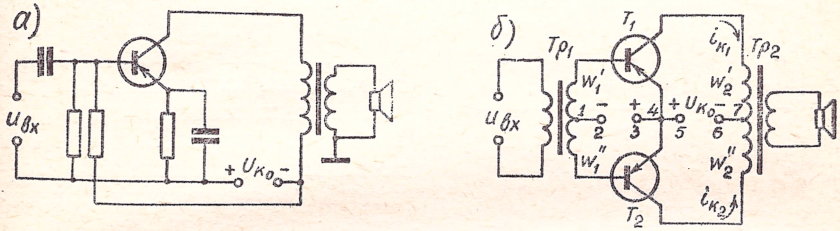


Рис. 2.53. Однотактная (*а*) и двухтактная (*б*) схемы оконечных ступеней УНЧ

Из рис. 2.53-*б* видно, что в двухтактной схеме используются два транзистора, включенные так, что на их базы подаются переменные напряжения, равные по амплитуде и сдвинутые на 180° по фазе. Особенностью двухтактной схемы является ее симметрия относительно линии, составленной из проводников *1—2*, *3—4*, *4—5* и *6—7*. При усилении низкочастотных сигналов симметрия достигается при условии подбора одинаковых транзисторов и равенства чисел витков обмоток трансформаторов ($w_1' = w_1''$ и $w_2' = w_2''$).

Преимущества двухтактной схемы проявляются в полной мере в том случае, если она хорошо отсимметрирована. Контроль симметрии схемы заключается в проверке правильности выводов средних точек обмоток трансформаторов и в измерении коллекторных токов транзисторов при нескольких значениях напряжения смещения. В случае, если таким путем не удастся подобрать одинаковые транзисторы, схему симметрируют посредством изменения смещения на базе одного из транзисторов. Для этого ко входу усилителя подводят небольшое напряжение частотой 50 *гц* и, изменяя смещение на базе одного из транзисторов (при постоянном смещении на базе другого), измеряют на выходе напряжение второй гармоники ($f = 100$ *гц*). Чем меньше это напряжение, тем лучше отсимметрирована схема.

Работа двухтактной схемы в режиме B протекает следующим образом. Приложенное ко входу схемы синусоидальное напряже-

ние $u_{вх}$ (рис. 2.53-*б* и 2.54-*а*) развивает в обеих половинах вторичной обмотки трансформатора Тр$_1$ равные по величине и смещенные на 180° напряжения u'_2 и u''_2 (рис. 2.54-*б*, 2.54-*в*). Так как на базы не подано напряжение смещения, то между эмиттерами и базами транзисторов действуют напряжения $u_{эб_1}$ и $u_{эб_2}$, изменяющиеся так же, как и напряжения u'_2 и u''_2. Коллекторные токи $i_{к1}$ и $i_{к2}$ каждого из транзисторов совпадают по фазе с напряжениями на базах, поэтому они изменяются так, как показано на рис. 2.54-*г* и 2.54-*д*. Отсюда видно, что импульсы коллекторных токов сдвинуты один относительно другого на 180°. Протекая по обеим половинам первичной обмотки выходного трансформатора (Tp_2), коллекторные токи создают в стальном сердечнике магнитные потоки, изменения которых являются причиной появления во вторичной обмотке трансформатора индуктированной электродвижущей силы.

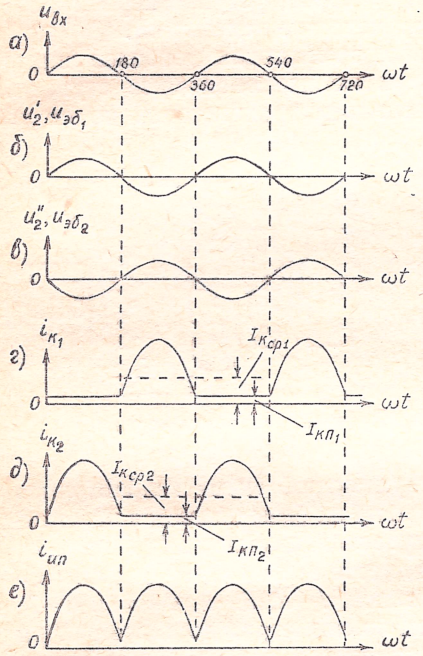


Рис. 2.54. Кривые изменений напряжений и токов в двухтактной схеме

Таким образом, всякое изменение напряжения, подводимого к входу ступени, вызывает появление на ее выходе напряжения, изменяющегося с частотой входного сигнала.

Возможность использования в двухтактной схеме режима усиления класса *В* иллюстрирует рис. 2.55. Изображенные на нем сквозные динамические характеристики транзисторов размещены несколько необычно. Подобно транзистору T_2, перевернутому на рис. 2.53-*б* относительно транзистора T_1, сквозная динамическая характеристика нижнего транзистора на рис. 2.55-*а* также изображена в перевернутом виде. Из рисунка видно, что напряжение смещения на базы транзисторов не подано. Переменные напряжения, снимаемые с половин вторичной обмотки входного трансформатора, изображены в виде треугольной кривой рис. 2.55-*б*. Положительные значения этого напряжения вызывают увеличение коллекторного тока транзистора T_1 и уменьшение коллекторного тока транзистора T_2. Отрицательные же значения входного напряжения, наоборот, уменьшают коллекторный ток первого транзистора и увеличивают коллекторный ток второго. Так как рабочие точки находятся на нижних изгибах характеристик, то коллекторный ток

каждого транзистора протекает только в течение приблизительно одного полупериода (рис. 2.55-*в*). Другими словами, транзисторы работают попеременно: в течение одного полупериода $0 — t_1$ работает первый транзистор, а второй заперт (ток $i_{к_2}$ практически отсутствует); в течение второго полупериода $t_1 — t_2$, наоборот, работает второй транзистор, а первый заперт (ток $i_{к_1}$ равен неуправляемому току коллектора). В однотактной схеме такое искажение формы коллекторного тока совершенно недопустимо. В двухтактной же схеме оба тока, протекая по половинам первичной обмотки

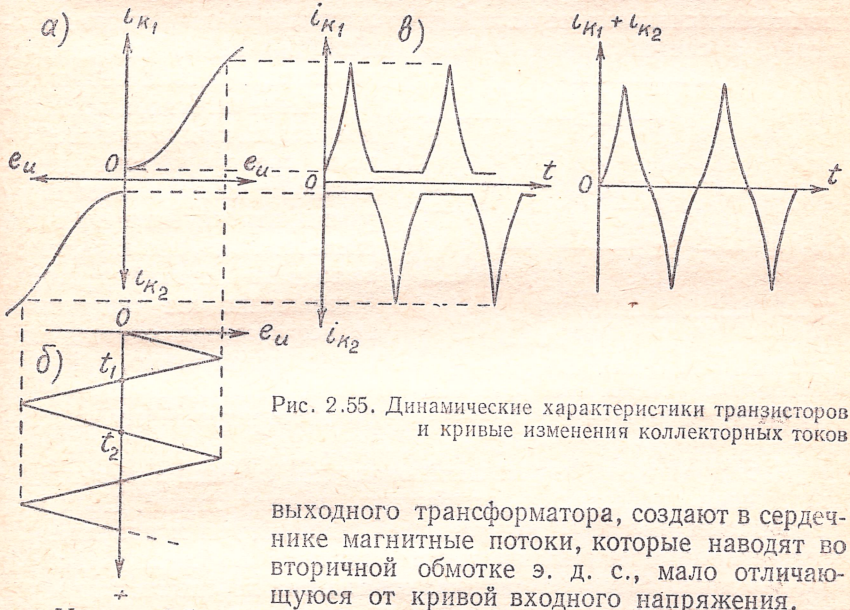


Рис. 2.55. Динамические характеристики транзисторов и кривые изменения коллекторных токов

выходного трансформатора, создают в сердечнике магнитные потоки, которые наводят во вторичной обмотке э. д. с., мало отличающуюся от кривой входного напряжения.

Из рис. 2.54-*е*, на котором приведена кривая тока $i_{пп}$, потребляемого от источника питания, и из рис. 2.53-*б* и 2.54-*г* и -*д* следует:

через источник коллекторного питания не протекает переменная составляющая тока основной частоты ω;

магнитный поток в сердечнике выходного трансформатора не содержит постоянной составляющей.

Эти выводы, справедливые для идеально отсимметрированной схемы, нельзя полностью распространять на реальные схемы, в которых за счет неоднородности транзисторов почти всегда имеется некоторая асимметрия. Однако и в отсутствие полной симметрии двухтактные схемы превосходят однотактные. Действительно, в однотактной схеме переменная составляющая коллекторного тока основной частоты целиком проходит через источник коллекторного питания (или через блокировочный конденсатор). В двухтактной же схеме через источник питания проходят навстречу две почти

равные друг другу переменные составляющие основной частоты, которые взаимно ослабляют друг друга. Это обстоятельство имеет большое практическое значение, так как отсутствие в цепи источника питания тока основной частоты почти полностью исключает возможность самовозбуждения усилителя через общий источник питания.

Преимущество двухтактной схемы в отсутствие полной симметрии проявляется и в том, что в сердечнике ее выходного трансформатора создается небольшой постоянный магнитный поток. В сердечнике же выходного трансформатора однотактной схемы постоянное подмагничивание не ослабляется и опасность магнитного насыщения, а следовательно, и возможность появления нелинейных искажений весьма вероятны.

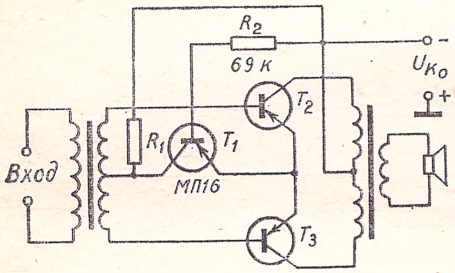


Рис. 2.56. Схема оконечной ступени с дополнительными элементами, стабилизирующими положение рабочей точки

Незначительное постоянное подмагничивание сердечника трансформатора двухтактной схемы позволяет уменьшить сечение стали, а следовательно, вес и размеры выходного трансформатора. Уменьшение же сердечника трансформатора однотактной схемы недопустимо, так как это привело бы к появлению больших нелинейных искажений.

Качество работы двухтактной оконечной ступени в значительной степени определяется положением рабочей точки[1]. Если под воздействием изменений окружающей температуры и напряжения источника питания рабочая точка смещается по характеристике вниз, то появляются искажения; если же она перемещается вверх, то оконечная ступень расходует излишнюю энергию.

Существует несколько способов стабилизации положения рабочей точки. Один из них показан на рис. 2.56.

В общий провод цепей эмиттер—база транзисторов T_2 и T_3 двухтактной ступени включен дополнительный транзистор T_1. При понижении температуры и уменьшении напряжения $U_{к_0}$ источника питания токи покоя транзисторов T_2 и T_3 уменьшаются и таким образом рабочая точка смещается вниз. Для восстановления ее положения необходимо увеличить напряжение смещения. Это осуществляется в данной схеме автоматически за счет того, что понижение температуры вызывает уменьшение и тока покоя транзистора T_1, а следовательно, уменьшение падения напряжения

[1] Рабочей называют точку характеристики транзистора, соответствующую отсутствию переменных напряжений на электродах полупроводникового триода.

на нагрузочном резисторе R_1 и повышение напряжения между эмиттером и коллектором транзистора T_1.

Повышение температуры и замена старого источника питания новым приводит в обычной схеме к увеличению токов покоя, т. е. к смещению рабочей точки вверх по характеристике. В данной же схеме этого не произойдет, так как одновременно с увеличением токов покоя транзисторов T_2 и T_3 возрастает ток покоя и транзистора T_1. Это вызывает увеличение падения напряжения на резисторе R_1 и, следовательно, понижение напряжения между эмиттером и коллектором термокомпенсирующего транзистора T_1.

В выходных ступенях УНЧ большинства транзисторных приемников применяют двухтактные схемы с выходным трансформатором. Достоинствами их являются возможность точного согласования нагрузки с выходным сопротивлением оконечной ступени, отсутствие постоянного тока в цепи нагрузки и некоторые другие положительные качества. Однако двухтактным схемам с выходным трансформатором присущи и недостатки, например, повышенные вес, габариты и стоимость усилителя, более высокая степень нелинейных и частотных искажений и др., поэтому наряду с трансформаторными УНЧ в отдельных заводских и во многих любительских приемниках применяют бестрансформаторные выходные ступени УНЧ.

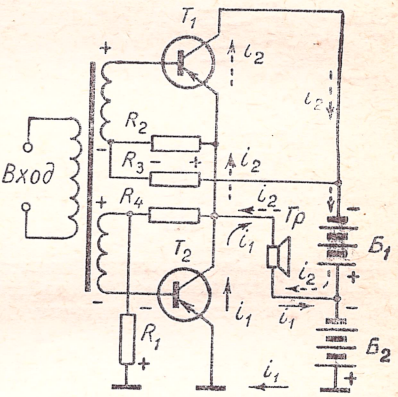


Рис. 2.57. Схема бестрансформаторной оконечной ступени с выводом от средней точки источника питания

Одна из схем бестрансформаторного усилителя приведена на рис. 2.57. Усилитель состоит из входного трансформатора, делителя напряжения ($R_1 \div R_4$), двух идентичных транзисторов структуры $p—n—p$, нагрузки (громкоговорителя Гр) и источника питания в виде двух одинаковых батарей $Б_1$ и $Б_2$ гальванических элементов или аккумуляторов (или одной батареи с отводом от средней точки).

Постоянный ток, протекающий от положительного полюса батареи $Б_2$ через резисторы R_1, R_4, R_3, R_2 к отрицательному полюсу батареи $Б_1$, создает на резисторах R_1 и R_2 падения напряжения, обращенные плюсами к эмиттерам и минусами к базам транзисторов. Эти небольшие напряжения смещения уменьшают нелинейные искажения, возникающие при усилении слабых сигналов.

Работает ступень следующим образом. При подаче на вход схемы усиливаемых сигналов во вторичных обмотках трансформатора индуктируются равные по величине переменные э. д. с. В тот

момент, когда на базу транзистора T_1 подается (относительно эмиттера) положительное напряжение, напряжение на базе транзистора T_2 отрицательно и наоборот. В результате этого транзисторы попеременно запираются и отпираются. В течение одних, например, нечетных полупериодов ток (i_1) протекает через громкоговоритель по цепи: плюс батареи $Б_2$, корпус, эмиттер—коллектор транзистора T_2, громкоговоритель, минус батареи $Б_2$, а в течение четных полупериодов — по цепи: плюс батареи $Б_1$, громкоговоритель, эмиттер—коллектор транзистора T_1, минус батареи $Б_1$.

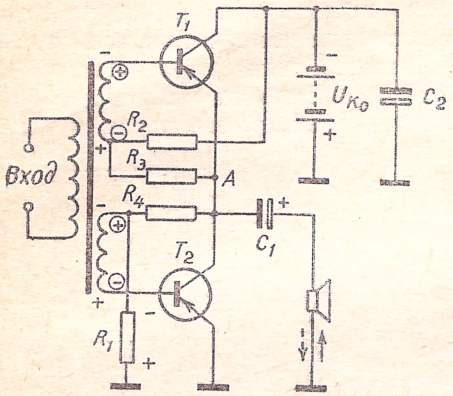


Рис. 2.58. Схема бестрансформаторной оконечной ступени без вывода средней точки источника питания

Таким образом, через громкоговоритель в течение периода сигнала протекает изменяющийся ток (i_1 и i_2), так, как протекал бы он, если бы громкоговоритель был присоединен непосредственно к источнику переменной э. д. с. Попутно следует отметить, что импульсы токов i_1 и i_2 попеременно протекают в нагрузке в противоположных направлениях, поэтому при одинаковых триодах и батареях постоянный ток через катушку громкоговорителя не протекает.

На рис. 2.58 приведена разновидность схемы рис. 2.57, отличающаяся от первой тем, что в ней отсутствует вывод от средней точки батареи, но имеется дополнительная деталь — электролитический конденсатор большой емкости C_1.

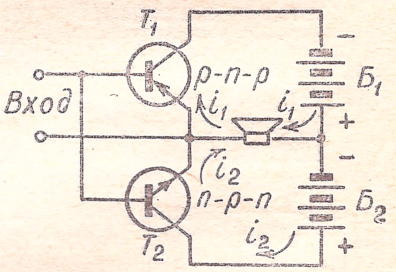


Рис. 2.59. Схема бестрансформаторной оконечной ступени с транзисторами разной структуры

Интересна бестрансформаторная схема оконечной ступени, приведенная на рис. 2.59. Ее особенностью является использование одинаковых транзисторов по параметрам и характеристикам, но разных по структуре (в верхнем плече применен транзистор T_1 типа p—n—p, а в нижнем плече — транзистор T_2 типа n—p—n).

При подаче на вход ступени напряжения, обращенного плюсом к базам и минусом к эмиттерам, ток i_2 через громкоговоритель протекает по цепи: положительный полюс батареи $Б_2$, коллектор—эмит-

тер транзистора T_2, громкоговоритель, отрицательный полюс батареи $Б_2$.

При изменении же полярности входного напряжения на обратную, т. е. при сообщении базам отрицательного потенциала относительно потенциала эмиттеров, ток i_1 через громкоговоритель протекает в противоположном направлении (от положительного полюса батареи $Б_1$ через громкоговоритель и транзистор T_1 к отрицательному полюсу).

Таким образом, ступень работает как двухтактная, не требуя для раскачки ни входного трансформатора, ни инверсной ступени[1].

В качестве полупроводниковых триодов в описываемой ступени могут быть использованы транзисторы типов

МП13 ($p—n—p$) и МП9А ($n—p—n$),

МП14 ($p—n—p$) и МП10 ($n—p—n$),

МП15 ($p—n—p$) и МП11 ($n—p—n$) и другие пары.

На рис. 2.60 приведена еще одна схема бестрансформаторного усилителя мощностью 40 *мвт*. На транзисторе T_1 собрана предварительная ступень, а на транзисторе T_2 — выходная. Особенностью усилителя является использование двух сфазированных[2] громкоговорителей.

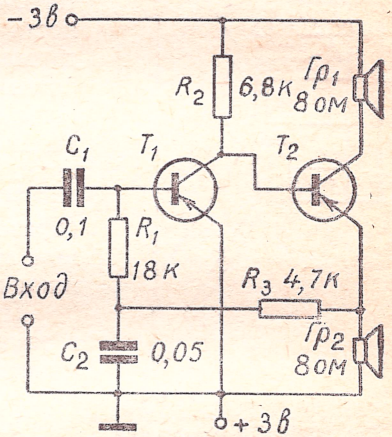


Рис. 2.60. Схема бестрансформаторного усилителя мощностью 35÷40 *мвт*

В качестве напряжений смещения используется постоянное падение напряжения на громкоговорителе $Гр_1$ и напряжение между коллектором и эмиттером транзистора T_1.

Усилитель охвачен отрицательной обратной связью (резистор R_3 и конденсатор C_2), улучшающей его частотную характеристику.

2. 12. ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЕ ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

Из всех преобразователей электрической энергии в звуковую наиболее совершенными в отношении качества воспроизведения звука являются электродинамические диффузорные громкоговорители. Из рис. 2.61, на котором показано устройство громкоговори-

[1] Инверсной ступенью называют ламповый или транзисторный одноступенный усилитель, создающий на выходе два напряжения, равные по амплитуде и противоположные по фазе.

[2] Фазировка осуществляется переключением выводов звуковой катушки одного из громкоговорителей.

теля этого типа, видно, что он состоит из магнитопровода (*М*), диффузора (*Д*) со звуковой катушкой (*К*) и диффузородержателя (*ДД*).

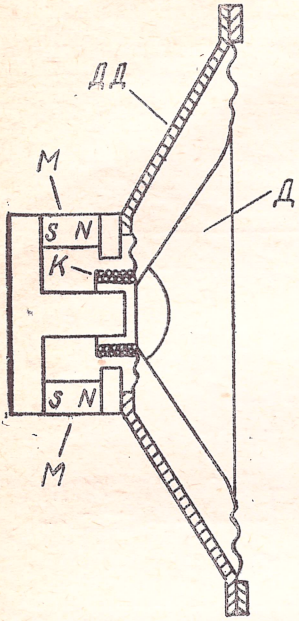


Рис. 2.61. Конструкция электродинамического громкоговорителя

Используемые в переносных транзисторных приемниках малогабаритные громкоговорители различаются построением магнитной цепи, имеющей форму стакана или скобы, и типом магнита. Громкоговорители с кольцевыми оксидно-бариевыми магнитами *МБА*[1] имеют значительные паразитные поля рассеяния, поэтому для того, чтобы они не уменьшали чувствительность приемника, их устанавливают подальше от ферритовых антенн, а если расстояние между антенной и магнитной системой меньше 40 *мм*, то экранируют стальными или пермаллоевыми экранами толщиной 0,5÷1,0 *мм*.

Чтобы громкоговоритель хорошо преобразовывал энергию в достаточно широком диапазоне звуковых частот, применяют гофрированный диффузор.

Преобразование электрической энергии в звуковую осуществляется электродинамическим громкоговорителем следующим образом.

Начиная с момента присоединения звуковой катушки к вторичной обмотке работающего выходного трансформатора (*Тр*) приемника (рис. 2.62), по виткам катушки протекает ток *i* звуковой частоты. В одни полупериоды (например, нечетные) он протекает (если смотреть со стороны диффузора) (рис. 2.63-*а*) в направлении вращения часовой стрелки, а в другие полупериоды (четные) — против движения часовой стрелки (рис. 2.63-*б*). Так как звуковая катушка находится в магнитном поле, образованном сильным постоянным магнитом, то на каждый виток катушки действует электромагнитная сила

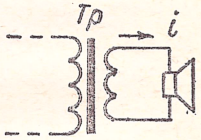


Рис. 2.62. Схема соединения выходного трансформатора с громкоговорителем

$$F = Bli,$$

где B — индукция в зазоре магнитной системы,

l — элемент длины витка,

i — ток в звуковой катушке,

которая направлена согласно правилу левой руки так, как показано на рис. 2.63-*а*.

[1] К ним относятся электродинамические громкоговорители типов 0,25ГД-2, 0,5ГД-11, 0,5ГД-12, 1ГД-11, 1ГД-12 и некоторые другие.

В следующий полупериод, когда направление тока в катушке меняется на обратное, электромагнитные силы заставляют катушку перемещаться в противоположном направлении (рис. 2.63-*б*).

Таким образом, за период переменного тока звуковая катушка, а следовательно, и прикрепленный к ней диффузор, совершают одно полное колебание. Отсюда следует, что подвижная система громкоговорителя колеблется с частотой, равной частоте тока в звуковой катушке. Чем больше ток в катушке и магнитная индукция в зазоре, тем значительнее силы, действующие на подвижную систему громкоговорителя и, следовательно, тем больше звуковой энергии излучает диффузор в окружающее пространство.

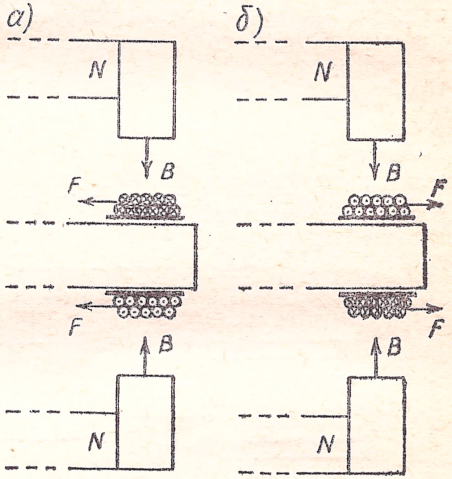


Рис. 2.63. Направления вектора магнитной индукции B, тока в звуковой катушке и электромагнитных сил *F*, действующих на катушку

Электродинамические громкоговорители характеризуются рядом показателей. Важнейшими из них являются: номинальная мощность, рабочий диапазон частот (полоса воспроизводимых частот), неравномерность частотной характеристики, степень нелинейных (амплитудных) искажений, полное сопротивление на частоте 1000 *гц* и среднее звуковое давление.

Чем меньше нелинейные искажения, возрастающие при увеличении размаха подвижной системы, и чем шире диапазон частот, в пределах которого звуковое давление более или менее постоянно, тем лучше громкоговоритель.

Большинство малогабаритных электродинамических громкоговорителей плохо воспроизводит низшие звуковые частоты. Это объясняется малыми размерами диффузора и его жесткой подвеской. Для лучшего воспроизведения низших частот некоторые радиолюбители понижают резонансную частоту подвижной системы громкоговорителя. Осуществить это можно, например, заменой гофрированной части диффузора кольцом из тонкой эластичной кожи. Подробнее об этом читатель может узнать из статьи В. Носова «Повышение качества звучания переносных радиоприемников», опубликованной в журнале «Радио» № 4, 1968, стр. 30.

Лучшими громкоговорителями являются диффузорные электродинамические типов 4ГД-4РР3, 2ГД-35, 1ГД-4, 0,5ГД-11 и др.

2.13. АВТОМАТИЧЕСКАЯ РЕГУЛИРОВКА УСИЛЕНИЯ

Напряжение сигнала на входе приемника не остается постоянным, а изменяется во времени в некоторых пределах. Причинами, вызывающими колебания уровня входного напряжения, являются изменения положения ферритовой антенны, замирания на коротких волнах, изменения уровня сигнала на входе приемника при переходе с одной антенны на другую или при переходе с приема программы одной радиостанции на прием программы другой. Задачей системы автоматической регулировки усиления (АРУ) является поддержа-

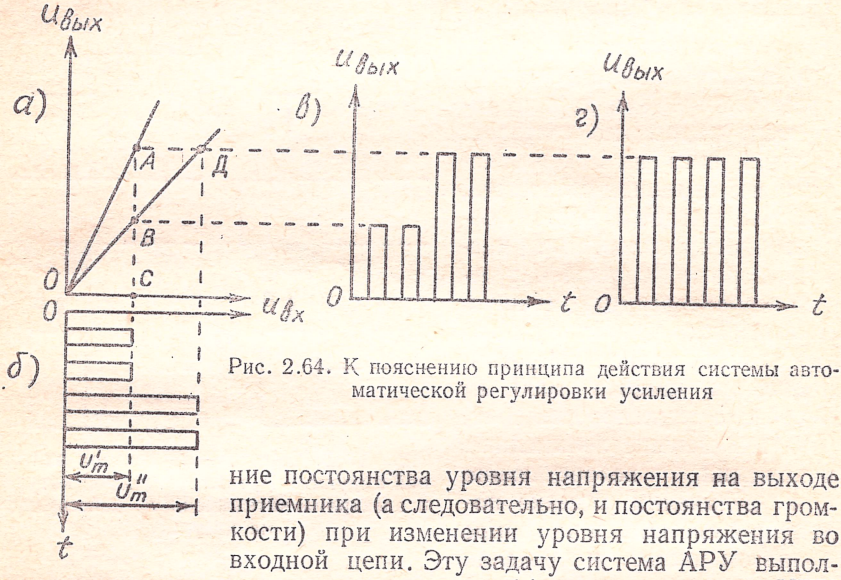


Рис. 2.64. К пояснению принципа действия системы автоматической регулировки усиления

ние постоянства уровня напряжения на выходе приемника (а следовательно, и постоянства громкости) при изменении уровня напряжения во входной цепи. Эту задачу система АРУ выполняет автоматически путем изменения коэффициента усиления УПЧ и УВЧ.

Наглядное представление о принципе действия системы АРУ дает рис. 2.64. Здесь (на рис. 2.64-*а*) представлены две зависимости напряжения на выходе приемника от напряжения на его входе. Прямая *ОА* с большим углом наклона к горизонтальной оси соответствует большому коэффициенту усиления, а прямая *ОД* — малому.

На рис. 2.64-*б* показано изменение напряжения на входе приемника в зависимости от времени. Для упрощения построения графиков это напряжение представлено в виде импульсов напряжения прямоугольной формы.

Из рис. 2.64-*а* и -*б* видно, что при постоянном коэффициенте усиления приемника, соответствующем, например, прямой *ОД*, изменения амплитуды входного напряжения от U'_m до U''_m вызывают колебания амплитуды выходного напряжения (рис. 2.64-*в*) в пределах от *ВС* до *АС*. Если же одновременно с изменениями ам-

плитуды напряжения на входе приемника соответствующим образом изменять его коэффициент усиления, то, как видно из рис. 2.64-*г*, амплитуда выходного напряжения остается постоянной.

Регулировать коэффициент усиления транзисторного УПЧ можно несколькими способами:

путем изменения режима работы транзистора по постоянному току;

изменением обратной связи по переменному току;

регулированием межступенной связи;

изменением нагрузочного сопротивления ступени УПЧ полупроводниковым диодом, напряжение смещения на котором меняется при изменении уровня сигнала на входе приемника.

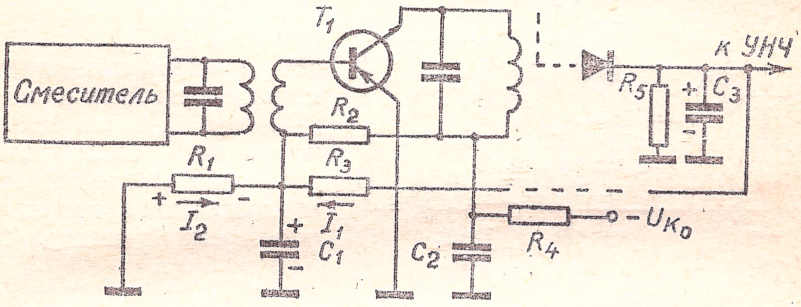


Рис. 2.65. Схема АРУ

Наиболее широкое применение получили способы регулировки усиления путем изменения режима работы транзистора по постоянному току и обратной связи по переменному току.

Приведенная на рис. 2.65 схема АРУ работает следующим образом.

При нормальном сигнале постоянное напряжение на конденсаторе C_3, шунтирующем сопротивление нагрузки R_5 детектора, равно некоторой определенной величине и по цепи — верхняя обкладка конденсатора C_3, резистор R_3, резистор R_1, корпус, нижняя обкладка конденсатора C_3 — протекает постоянный ток I_1, показанный на рис. 2.65 стрелкой I_1. Кроме этого постоянного тока через резистор R_1 протекает в противоположном направлении постоянный ток I_2 от источника коллекторного питания (направлен он от положительного вывода источника через корпус, резистор R_1, резистор R_2, резистор R_4 к минусу источника питания). Таким образом, через резистор R_1, включенный между базой и эмиттером транзистора первой ступени УПЧ, протекает ток, равный $I_2 - I_1$, и на резисторе R_1 или, что то же самое, на конденсаторе C_1 образуется постоянное (регулирующее) напряжение, необходимое для начальной инжекции носителей зарядов из эмиттера в базу. Если уровень сигнала

на входе приемника повышается, то постоянное напряжение на конденсаторе C_3, а следовательно, и ток I_1 увеличиваются. В результате этого разность токов I_2—I_1 и падение напряжения на резисторе R_1 уменьшаются и ток эмиттера, а следовательно, и коэффициент усиления регулируемой ступени УПЧ становятся меньшими.

При снижении уровня сигнала на входе приемника процессы в схеме протекают иначе: напряжение на конденсаторе C_3 и ток I_1 уменьшаются, разность токов I_2— I_1 и падение напряжения на резисторе R_1 увеличиваются и, в результате ввода в базу большего числа дырок, усиление ступени возрастает.

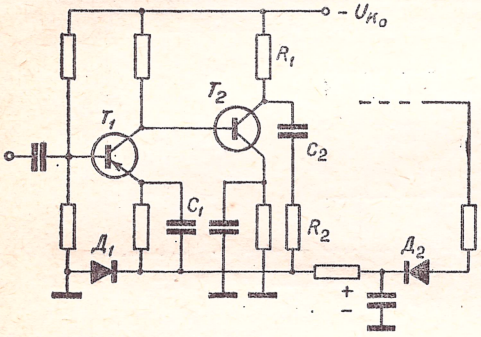


Рис. 2.66. Схема регулировки усиления изменением режима работы транзистора и шунтированием нагрузки

Назначение резисторов R_3, R_4 и конденсаторов C_1, C_2 заключается в следующем.

Резистор R_3 и конденсатор C_1 сглаживают пульсации напряжения на конденсаторе C_3 и тем самым исключают возможность появления искажений из-за воздействия напряжения звуковой частоты на УПЧ.

Конденсатор C_2 и резистор R_4, являющиеся элементами развязывающего фильтра, предотвращают опасность образования связи между ступенями приемника через общий источник коллекторного питания.

Регулировку усиления можно осуществить и путем одновременного изменения режима работы транзистора и шунтирования нагрузки полупроводниковым диодом. Примером такого комбинированного воздействия на усилительную ступень может служить регулировка, осуществляемая в схеме усилителя рис. 2.66.

Снимаемое здесь с выхода детектора АРУ (на диоде $Д_2$) управляющее напряжение подается на диод $Д_1$, включенный в цепь база — эмиттер транзистора T_1, и изменяет режим работы транзисторов T_1 и T_2. Кроме того, диод $Д_1$, включенный последовательно с конденсатором C_2 и резистором R_2, шунтирует нагрузочный резистор R_1, дополнительно воздействуя таким образом на коэффициент усиления ступени.

Эффективность регулировки усиления в данной схеме несколько ограничена наличием отрицательной обратной связи, образующейся за счет соединения коллектора транзистора T_2 с эмиттером транзистора T_1 (через конденсаторы C_1, C_2 и резистор R_2).

Недостатком рассмотренных схем является уменьшение ими усиления ступени УПЧ при приеме не только сильных, но и слабых

сигналов, что отрицательно сказывается на чувствительности приемника.

От этого недостатка свободна так называемая система АРУ с задержкой. Как видно из рис. 2.67, приемник, снабженный такой системой, работает следующим образом. При приеме слабых сигналов система АРУ не работает и приемник обладает максимальным усилением (коэффициент усиления $K_{макс} = U'_{вых} : U'_{вх}$). Начиная с входного напряжения $U'_{вх}$ система АРУ включается и коэффициент усиления приемника уменьшается тем сильнее, чем выше уровень входного сигнала. При напряжении на входе, равном $U''_{вх}$, коэффициент усиления уменьшается до $K_{мин} = U''_{вых} : U''_{вх}$.

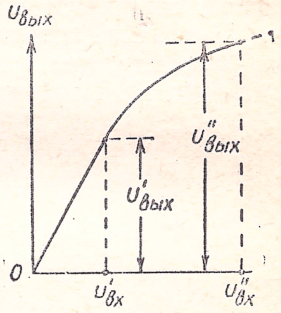


Рис. 2.67. Амплитудная характеристика приемника с системой АРУ с задержкой

Одна из схем АРУ с задержкой приведена на рис. 2.68. Для уяснения процесса регулирования этой схемой коэффициента усиления необходимо предварительно рассмотреть вопрос о сопротивлении полупроводникового диода постоянному току.

Из приведенной на рис. 2.69 вольт-амперной характеристики диода видно, что последний оказывает постоянному току неодинаковое сопротивление. Действительно, при прямом напряжении $U'_{пр}$, пропорциональном отрезку ОД, сопротивление полупроводникового диода постоянному току равно

$$R'_д = \frac{OD}{AD},$$

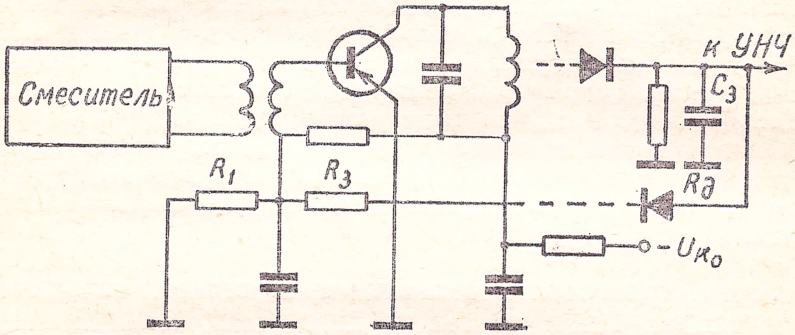


Рис. 2.68. Схема АРУ с задержкой

при напряжении $U''_{пр}$ сопротивление диода уменьшается до величины

$$R''_д = \frac{OF}{BF},$$

а при напряжении $U'''_{пр}$ принимает еще меньшее значение

$$R'''_д = \frac{OK}{CK}$$

Из изложенного следует:

1. прямое сопротивление полупроводникового диода постоянному току зависит от величины приложенного напряжения;

2. чем круче восходит «прямая» ветвь характеристики диода, тем меньше его сопротивление.

Учитывая эти выводы, работу схемы рис. 2.68 можно представлять в следующем виде.

Постоянное напряжение, снимаемое с конденсатора C_3, делится на три части, пропорциональные сопротивлениям диода и резисторов R_3 и R_1. При низких уровня сигнала изменения постоянного напряжения на конденсаторе C_3 (ΔU_{c_3}), вызванные колебаниями напряжения на входе приемника, практически не изменяют напряжения между базой и эмиттером транзистора первой ступени УПЧ, так как приращение этого напряжения ($\Delta U_{эб}$) во много раз меньше ΔU_{c_3} (оно равно приблизительно

$$\Delta U_{эб} = \frac{\Delta U_{c_3}}{1 + \frac{R_д + R_3}{R_1}},$$

где отношение $\frac{R_д + R_3}{R_1}$ во много раз превосходит единицу).

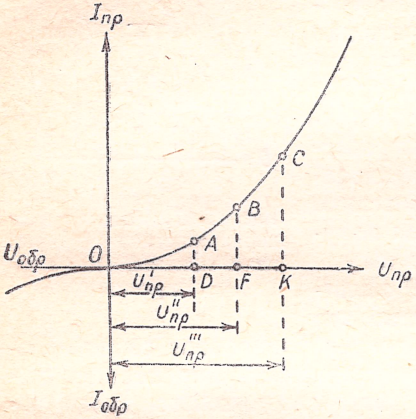


Рис. 2.69. Вольтамперная характеристика полупроводникового диода

С повышением уровня сигнала на входе приемника приращение напряжения на конденсаторе C_3 (ΔU_{c_3}) увеличивается, а сопротивление диода $R_д$ уменьшается. В результате этих изменений приращение постоянного напряжения между базой и эмиттером, подзапирающего транзистор T_1, увеличивается и тем больше, чем выше уровень сигнала.

Таким образом, в данной схеме при низких уровнях сигнала коэффициент усиления УПЧ не изменяется, а при высоких уровнях входного сигнала — уменьшается и тем сильнее, чем значительнее сигнал на входе приемника.

2.14. ИНДИКАТОРЫ ТОЧНОЙ НАСТРОЙКИ ТРАНЗИСТОРНЫХ ПРИЕМНИКОВ

Одним из условий хорошего естественного звучания радиоприемника является точная настройка его контуров на частоту принимаемой станции. В простых широкополосных приемниках выполнение этого требования не встречает затруднений, так как роль индикатора настройки в этих приемниках успешно выполняет громкоговоритель или телефон, звучащий тем громче, чем точнее настроен приемник на радиостанцию. Хуже обстоит в этом отношении дело в супергетеродинных приемниках с высокой избирательностью

и системой АРУ. Осуществить в них настройку по максимуму громкости звучания трудно из-за того, что увеличение усиления, вызванное более точной настройкой контуров приемника, компенсируется действием регулирующего напряжения (см. параграф 2.13). Вследствие этой особенности настройки приемников с системой АРУ в радиоприемники высшего класса и в непереносные приемники I и II классов вводят индикаторы точной настройки.

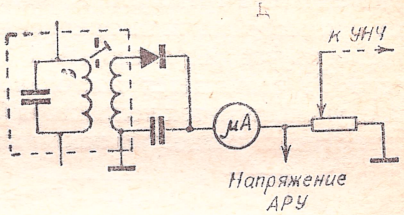


Рис. 2.70. Схема простейшего индикатора настройки

В простейшем виде индикатор настройки представляет собой микроамперметр на 100÷÷200 *мка*, включенный в цепь постоянного тока детектора (рис. 2.70). При точной настройке контуров приемника на принимаемую станцию напряжение, подводимое к детектору, а значит и постоянная составляющая выпрямленного тока, увеличивается. Следовательно, о настройке приемника на станцию можно судить по максимальному показанию микроамперметра.

Недостатком описываемого индикатора является невозможность использования его в приемниках с выходной мощностью более 250 милливатт, так как акустическая связь между громкоговорителем и подвижной системой микроамперметра может вызвать при повышенных звуковых давлениях возбуждение УНЧ приемника.

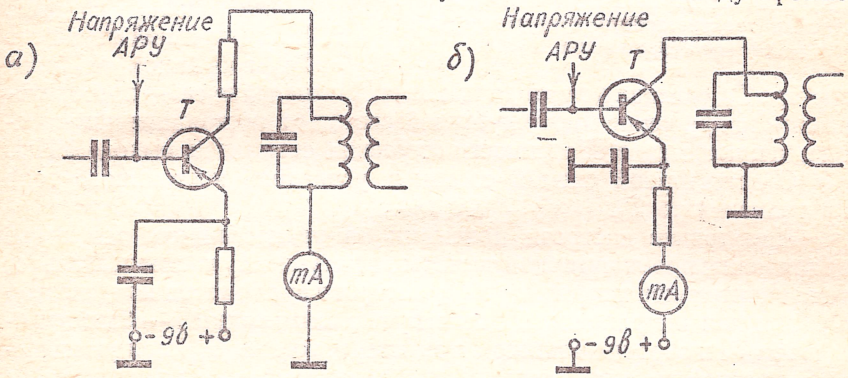


Рис. 2.71. Схемы включения миллиамперметра в качестве индикатора настройки

В случае отсутствия микроамперметра подходящих размеров и чувствительности в качестве индикатора настройки можно использовать миллиамперметр на I *ма*. Включают его обычно в цепь эмиттера (рис. 2.71-*а*) или в цепь коллектора (рис. 2.71-*б*) транзистора ступени УПЧ, охваченной системой автоматической регулировки усиления. Момент точной настройки при таком включении прибора определяют по минимуму показаний миллиамперметра, так как при

расстройке приемника напряжение АРУ отсутствует и ток коллектора (или эмиттера) транзистора T максимален; при точной же настройке приемника сигнал возрастает, напряжение АРУ повышается и ток коллектора (или эмиттера) уменьшается.

Недостатком индикаторов, включенных в цепь коллектора или эмиттера транзистора, является невозможность использования их при воздействии на приемник сильных сигналов. Действительно, в этом случае напряжение АРУ, обращенное плюсом к базе транзистора T, повышается настолько, что может запереть транзистор, т. е. уменьшить ток коллектора (или эмиттера) практически до нуля, и тем самым полностью исключить возможность определения момента настройки по минимуму тока.

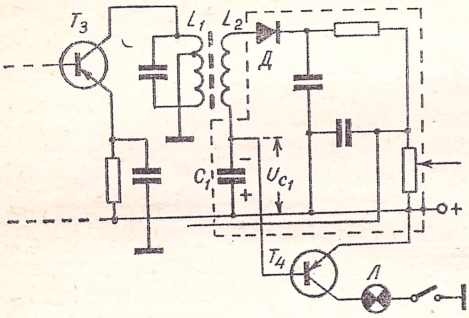


Рис. 2.72. Схема лампового индикатора настройки транзисторного супергетеродинного приемника

В качестве индикатора настройки транзисторного радиоприемника можно использовать и миниатюрную низковольтную лампочку накаливания. В сочетании с одноступенным усилителем постоянного тока она отлично выполняет эту роль и занимает мало места.

Как видно из рис. 2.72, с выходной ступенью УПЧ, собранной на транзисторе T_3, связана детекторная схема. Назначение ее — преобразовывать напряжение промежуточной частоты в постоянное напряжение, меняющееся в зависимости от уровня сигнала на выходе УПЧ.

С детекторной схемой соединен усилитель постоянного тока на транзисторе T_4.

Чем точнее настроен приемник на радиостанцию, тем выше напряжение промежуточной частоты на катушке L_2 и, следовательно, тем значительнее напряжение, до которого заряжается конденсатор C_1. Так как напряжение U_{c_1} действует в цепи эмиттер — база транзистора T_4 и обращено плюсом к эмиттеру, то рост U_{c_1}, при уменьшении растройки приемника вызывает увеличение коллекторного тока транзистора T_4. Последний протекает по цепи: («плюс» источника питания, эмиттер—коллектор транзистора T_4, миниатюрная лампочка накаливания $Л$, выключатель, корпус, «минусовая» шина приемника, минус источника питания) и накаливает нить лампочки тем сильнее, чем выше уровень сигнала на выходе УПЧ.

Для того, чтобы кривая зависимости яркости свечения лампочки от угла поворота ручки настройки была возможно более острой, необходимо подобрать лампочку и транзистор T_4 такими, чтобы при точной настройке приемника на радиостанцию лампочка светилась слабо.

III. ЭКСПЛУАТАЦИЯ, НЕИСПРАВНОСТИ И РЕМОНТ ТРАНЗИСТОРНЫХ ПРИЕМНИКОВ

3.1. ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПЕРЕНОСНЫХ И НЕПЕРЕНОСНЫХ ТРАНЗИСТОРНЫХ ПРИЕМНИКОВ

Изучение статистических данных показывает, что значительное число (приблизительно 20%) находящихся в обращении транзисторных приемников выходит из строя вследствие неправильной эксплуатации. Особенно часто отказывают по этой причине переносные приемники, находящиеся в более неблагоприятных, по сравнению с непереносными, условиях эксплуатации (тряска, удары, более широкий диапазон температур, повышенная влажность и т. п.).

Для бесперебойной работы непереносного приемника требуется немногое: установка аппарата в любом удобном месте комнаты, подвод к выпрямителю нормального напряжения питания или подключение к приемнику батареи номинального напряжения, применение предохранителя заводского изготовления, соответствующего указанному в инструкции номиналу, бережное обращение с органами управления, отключение приемника от сети и заземление антенны при приближении грозы.

Что касается эксплуатации переносного приемника, то она в силу действия на аппарат окружающей среды и ударных нагрузок оказывается более сложной.

Из внешних влияний среды следует прежде всего отметить действие тепла и холода. Непереносный приемник работает в помещении с более или менее постоянной температурой. Переносный же приемник, который выносится зимой из теплого помещения наружу или, наоборот, после длительного пребывания на открытом воздухе вносится в хорошо натопленную квартиру, подвергается значительным тепловым воздействиям.

Под действием низких температур некоторые материалы становятся хрупкими и могут даже растрескиваться. Пластические массы хорошо выдерживают низкие температуры, но зато резко снижают прочность на удар. Неблагоприятно воздействует холод на источники питания.

Действие тепла связано с увеличением размеров и деформацией ряда деталей, образованием между разнородными материалами

тонких щелей, каналов, в которые проникает влага и пыль, частичным нарушением герметизации деталей.

Следующим фактором, с которым приходится считаться при эксплуатации переносных приемников, является влага. Водяные пары, постоянно находящиеся в атмосфере, либо поглощаются материалами, ухудщая их свойства, либо ускоряют протекание некоторых нежелательных процессов, например, коррозии металлов, старения материалов. Поглощаемая некоторыми изоляционными материалами влага может резко увеличить потери энергии в колебательных контурах, уменьшить сопротивление изоляции и понизить пробивные напряжения.

К неприятным последствиям приводит попадание внутрь приемника воды, особенно морской[1]. Вызывая окисление многих деталей, и в первую очередь выводов катушек, пластин конденсаторов переменной емкости, печатных плат, корпусов и выводов транзисторов, вода может полностью вывести приемник из строя и сильно затруднить восстановление его работоспособности.

При пользовании приемниками на открытом воздухе необходимо учитывать и действие пыли. Последняя относительно легко проникает в приемник и, оседая на радиодеталях и печатной плате, может уменьшить сопротивление изоляции и ускорить износ трущихся поверхностей. Попадание в приемник песка и пыли оказывает неблагоприятное действие почти на все детали и цепи, но особенно отрицательно сказывается она на работе переключателя диапазонов и конденсатора переменной емкости, т. е. деталей, ремонт которых связан с большими затратами времени и трудностями. Особенно вредно действует на аппаратуру пыль в тех местностях (например, в приморских областях), где в воздухе содержатся мельчайшие частицы солей, хорошо поглощающих влагу.

Сами по себе тепловые воздействия и влияния влаги, песка и пыли редко вызывают повреждения приемников, но они ускоряют износ и старение деталей, ухудшают механические и электрические свойства материалов, неблагоприятно влияют на работу полупроводниковых приборов и поэтому снижают надежность приемника.

На основании изложенного и опыта эксплуатации аппаратуры важнейшие правила обращения с переносными транзисторными приемниками можно сформулировать следующим образом:

оберегать аппарат от толчков и ударов, учитывая, что в большинстве случаев падение приемника на пол или на землю вызывает тяжелое повреждение аппарата, держать приемник в футляре, который частично предохраняет аппарат от ударов и защищает от пыли;

---

[1] При попадании воды в приемник необходимо тщательно промыть детали спиртом и просушить их. Иногда даже после такой операции не удается сразу восстановить работоспособность приемника.

не устанавливать в приемник источник питания, напряжение которого превышает допускаемый инструкцией верхний предел;

следить за состоянием источника питания и своевременно заменять его; помнить, что электролит поврежденной батареи может попасть на печатную плату и серьезно повредить ее и радиодетали;

желательно утеплять приемник при выносе его зимой на открытый воздух;

защищать аппарат от дождя, снега, тумана, песка и пыли;

не устанавливать приемник летом на солнце в течение длительного времени;

во избежание перегрева приемника и оплавления некоторых пластмассовых деталей не ставить аппарат под мощной настольной лампой;

помнить, что приемник включается соответствующей ручкой по часовой стрелке; вращение должно осуществляться без усилий, так как приложение излишних усилий заканчивается в большинстве случаев повреждением регулятора громкости или выключателя питания; если на ручке регулятора громкости отсутствует цветная метка, указывающая на положение выключателя, то нанести ее краской, цвет которой резко отличается от цвета ручки регулятора громкости;

при вводе приемника в защитный футляр (например, после смены источника питания) следить за тем, чтобы футляр не задевал ручку выключателя, так как это может привести к включению питания;

не вращать без надобности регулятор громкости;

бережно обращаться с верньерной системой, служащей для передачи движения от ручки настройки к блоку конденсаторов переменной емкости с соответствующим замедлением; если указатель шкалы дошел до одного из крайних положений, то продолжать вращать ручку настройки в прежнем направлении нельзя, так как при этом к некоторым деталям верньерного устройства прикладываются дополнительные усилия, способные повредить их; выйти из строя могут ролики верньера, оси роликов, фрикционы и другие дефицитные детали, изготовление которых связано с большими трудностями даже в условиях радиомастерской;

при пользовании переключателем диапазонов обращать внимание на его указатель, т. е. следить за тем, в каком положении он находится; если переключатель установлен в одно из крайних положений, то вращать ручку можно только в обратном направлении[1];

в ручке переключателя диапазонов не должно быть люфта; при наличии его переключатель может выйти из строя, так как

---

[1] Следует иметь в виду, что конструкции барабанных переключателей допускают вращение в обе стороны.

в этом случае крайнее положение переключателя может быть принято за промежуточное;

для уменьшения вероятности отказа приемника по причине окисления поверхностей герметичных дисковых аккумуляторов, входящих в батарею, тщательно очищать крышки и корпуса мелкой наждачной шкуркой, полировать их зубным порошком, обезжиривать бензином или ацетоном и смазывать после этого тонким слоем вазелина;

для увеличения срока службы источника питания выключать приемник сразу же по окончании прослушанной передачи;

осторожно обращаться с штыревыми (телескопическими) антеннами; иметь в виду, что развертывать и свертывать телескопическую антенну следует не одним резким движением руки, удерживающей антенну за верхнюю трубку, а осторожным выдвижением и вводом каждого колена в определенном порядке; если телескопическая антенна повреждена так, что состоит из несвязанных друг с другом трубок, то соединять их, зажимая плоскогубцами, не рекомендуется;

при пользовании переносным приемником в домашних условиях отключать громкоговоритель приемника и включать вместо него другой более мощный электродинамический громкоговоритель, например, типа 4ГД-4, 4ГД-7 или другой с широким рабочим диапазоном частот и относительно равномерной частотной характеристикой. Это не только увеличит громкость звука, но в значительной степени повысит качество воспроизведения;

при подключении к приемникам наружных антенн и звуковых агрегатов соблюдать правила включения, описанные в инструкциях пользования приемниками;

при подключении внешнего источника питания строго соблюдать полярность напряжения; иметь в виду, что при ошибочном включении источника приемник, как правило, выходит из строя, причем восстановление его работоспособности представляет значительные трудности в связи с необходимостью замены многих деталей (например, транзисторов, электролитических конденсаторов) и ремонта печатных плат;

защищать приемник от повреждения внешним источником питания путем ввода в один из соединительных шнуров (последовательно с источником питания) выпрямительного диода Д7Д, Д7Е, Д7Ж или Д226Б, обращенного анодом к положительному полюсу источника питания и катодом к «плюсовому» гнезду приемника.

не вскрывать и не ремонтировать аппарат, если у владельца приемника нет соответствующих знаний и навыков;

не увеличивать без надобности громкость звука, так как это не только снижает качество звучания, но и повышает уровень бытовых шумов, травмирующих нервную систему человека и вызывающих у него утомление и ослабление памяти и внимания.

В заключение несколько слов о защите входных цепей приемника от сильных сигналов, питании переносных аппаратов в домашних условиях и подавлении зеркальной помехи.

Радиоприемник, работающий вблизи местной радиостанции, может быть поврежден ее сильным сигналом, поэтому в тех случаях, когда расстояние между приемником и передающей антенной составляет сотни метров, между приемной антенной и входом приемника включают специальное защитное устройство. Принципиальная схема одного из возможных вариантов такого устройства приведена на рис. 3.1.

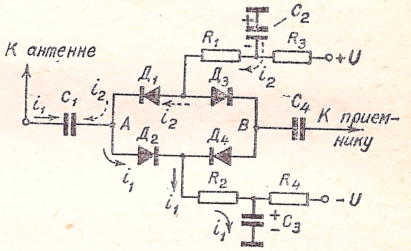


Рис. 3.1. Принципиальная схема устройства защиты приемника от сильных сигналов

Как видно из схемы, сигнал из приемной антенны поступает на вход приемника через полупроводниковые диоды $Д_1$, $Д_3$, и $Д_2$, $Д_4$. Но сопротивления ветвей $C_1Д_1Д_3C_4$ и $C_1Д_2Д_4C_4$ не одинаковы для сигналов разных уровней: для слабых сигналов они небольшие, а для сильных — весьма велики. Объясняется это тем, что при поступлении из антенны сильных сигналов положительной полярности по цепи $C_1Д_2R_2C_3$ протекает ток i_1, который заряжает конденсатор C_3 так, что образующееся на нем напряжение запирает диод $Д_4$, а при поступлении сильных сигналов отрицательной поляр-

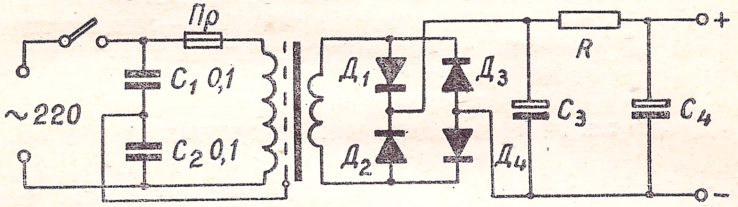


Рис. 3.2. Схема выпрямителя для питания транзисторного приемника в домашних условиях

ности по цепи $C_2R_1Д_1C_1$ протекает ток i_2, который заряжает конденсатор C_2 так, что образующееся на нем напряжение запирает диод $Д_3$.

Таким образом, для сигналов нормального уровня сопротивление между точками A и B мало, а для сигналов повышенного уровня — велико и тем больше, чем выше уровень опасных сигналов.

Питать транзисторные приемники в домашних условиях от батарей неэкономично, поэтому многие радиолюбители пользуются батареями для питания приемников во время прогулок, а при поль-

зовании аппаратами дома питают их от сети. Выпрямители на 3; 4,5 или 9 вольт собирают по разным схемам. На рис. 3.2 приведена мостовая схема, позволяющая получить при использовании понижающего трансформатора (220 : 8,5) выпрямленное напряжение 9,5 *в* при токе нагрузки 80 *ма*.

Номинальные емкости и рабочие напряжения конденсаторов C_1 и C_2 должны быть равны соответственно 0,1 *мкф* и 400 *в*. Диоды $Д_1 \div Д_4$ — типа Д7Е. Сопротивление резистора $R = 15$ *ом*. Номинальные емкости и напряжения конденсаторов C_3 и C_4 — 500 *мкф* × × 20 *в*.

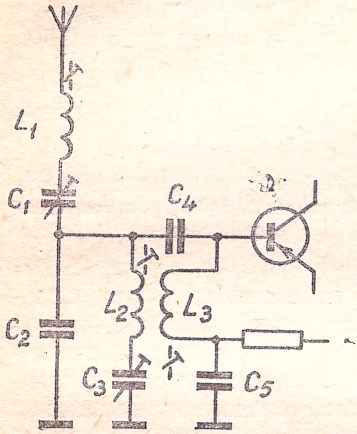


Рис. 3.3. Схема входных цепей, подавляющих зеркальную помеху

Если приему станций мешает зеркальная помеха, то ее можно легко устранить переделкой входной цепи по схеме, приведенной на рис. 3.3, и настройкой контуров $L_1C_1C_2$ и $L_2C_2C_3$ на частоты принимаемых сигналов и контура $L_3C_4C_2C_5$ на частоты зеркальной помехи. Осуществление этих мер позволяет получить на катушке L_3 два напряжения зеркальной помехи. Одно из них развивается благодаря настройке на частоту помехи контура $L_3C_4C_2C_5$, а другое наводится из катушки L_2. Если второе равно по величине первому и противоположно ему по фазе, то результирующее напряжение зеркальной помехи в цепи база—эмиттер транзистора T равно нулю.

3.2. ВИДЫ И ПРИЧИНЫ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

Как бы не был добротно сделан радиоприемник, но со временем под действием механических, электрических и тепловых нагрузок он частично или полностью утрачивает работоспособность[1]. Повреждения транзисторных приемников вызываются различными причинами. Одни аппараты выходят из строя вследствие старения материалов и износа деталей, другие — по причинам нарушений при изготовлении и транспортировке, третьи — в результате пренебрежения правилами эксплуатации (см. 3.1). Большинство неисправностей приемников связано с закономерными или случайными отказами входящих в них элементов (конденсаторов, переключателей, катушек, трансформаторов, транзисторов). Однако нередки

[1] Полную или частичную утрату работоспособности устройством, блоком или радиодеталью называют отказом.

случаи, когда транзисторные приемники перестают работать или хуже работают и по другим причинам, например, разряда источников питания, дефектов монтажа и сборки (плохие контакты, замыкания и обрывы цепей).

Очень неблагоприятно сказываются на состоянии и работе приемника вибрационные и ударные нагрузки, превышение предельно допустимых значений напряжений на электродах транзисторов и мощностей рассеяния на коллекторах, эксплуатация в условиях повышенной влажности, перегрев приемника. Так, повышение температуры внутри футляра и сотрясения, возникающие при падении приемника, почти всегда приводят к изменениям зазоров и емкостных связей, ослаблению крепления деталей, обрывам цепей, замыканиям, трещинам, деформациям отдельных элементов конструкции и другим поломкам.

Типичными повреждениями радиодеталей и цепей приемников являются пробои конденсаторов, потеря ими емкости (внутренние обрывы в конденсаторах), появление утечки, обрывы цепей контурных катушек и отдельных жил литцендрата[1], нарушение контактов в выводах резисторов, короткие замыкания части витков и обрывы обмоток трансформаторов низкой частоты, уменьшение коэффициентов усиления транзисторов, пробои электронно-дырочных переходов полупроводниковых приборов, отсутствие или ненадежность соединений в коммутирующих устройствах (переключателях, выключателях, гнездах), обрывы цепей питания, выходного трансформатора, громкоговорителя и другие неисправности.

Почти все перечисленные повреждения не обнаруживаются при внешнем осмотре, поэтому для успешного поиска неисправной детали необходимо возможно шире пользоваться измерительной аппаратурой и, в первую очередь, простейшими измерительными приборами — авометрами типа ТТ-1, ТТ-2, ТТ-3, Ц435, ТЛ-4 и другими.

3.3. ПРИЗНАКИ НОРМАЛЬНОЙ РАБОТЫ И НЕИСПРАВНОСТЕЙ ПРИЕМНИКОВ

Наиболее простым и распространенным способом проверки работоспособности приемника является прослушивание речевых и музыкальных передач во всем диапазоне принимаемых приемником частот. Если речь и музыка воспроизводятся с нормальной для данного аппарата громкостью без постоянных свистов, тресков, значительных собственных шумов и других помех, то проверяемый приемник считают исправным. Если же при питании аппарата исправным источником э. д. с. прием отсутствует или сопровождается

---

[1] Термин «литцендрат» происходит от немецких слов litze, что означает «жгут», «прядь», и draht — проволока, проводник. Таким образом, слово «литцендрат» можно перевести как «жгут тонких проводов».

помехами внутреннего происхождения, звук искажен или слаб, дальние станции принимаются плохо или совсем не принимаются, то приемник считают неисправным, требующим настройки или ремонта.

Информация, получаемая с помощью одного лишь громкоговорителя, недостаточна для оценки состояния приемника, поэтому в тех случаях, когда аппарату необходимо дать более полную характеристику, его подвергают осмотру и дополнительному контролю с помощью измерительных приборов.

При внешнем осмотре проверяют целость футляра, монтаж, состояние и крепление элементов схемы, движение деталей органов настройки и коммутации, надежность присоединения источника питания, подсветку шкалы и т. п.

Дополнительный контроль включает в себя измерения токов, напряжений и реже сопротивлений резисторов и изоляции, проверку чувствительности и другие испытания.

Так как большинство резисторов, катушек и конденсаторов транзисторных приемников шунтировано относительно низкими входными и выходными сопротивлениями полупроводниковых триодов, то при испытании этих деталей отпаивают один из выводов проверяемого резистора или конденсатора. В тех случаях, когда измерение сопротивления резистора или проверка целости цепи производится без отпайки вывода, источник питания приемника отключают.

Из измеряемых электрических величин интересуются в первую очередь током покоя, током, потребляемым приемником при номинальной громкости, и напряжениями на электродах транзисторов, а в некоторых приемниках — напряжениями между контрольными точками. Если все эти величины соответствуют номинальным значениям, то результаты дополнительного контроля считают удовлетворительными. Если же хотя бы одна из величин выходит за допустимые пределы, то выясняют причину обнаруженного отклонения даже в тех случаях, когда приемник работает нормально.

3.4. ОБРАЩЕНИЕ С ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМИ ПРИБОРАМИ И МАЛОГАБАРИТНЫМИ ДЕТАЛЯМИ

Надежность транзисторной радиоаппаратуры значительно выше надежности аналогичных устройств на электронных лампах. Однако это преимущество полупроводниковых приборов реализуется только при условии строгого соблюдения правил обращения с транзисторами и диодами.

Что же необходимо знать для того, чтобы число отказов аппаратуры по причинам ухудшения параметров и выхода из строя полупроводниковых приборов было минимальным? Ответить на этот вопрос нетрудно, если учесть, что надежность транзисторов и диодов

зависит в основном от температуры окружающей среды и электрических нагрузок.

В свете сказанного важнейшие правила эксплуатации полупроводниковых приборов и обращения с ними при ремонте и налаживании аппаратуры можно сформулировать следующим образом:

не применять источники питания, напряжения которых превышают номинальные значения напряжения для данного типа приемника;

не превышать приводимые в справочниках предельные значения токов, напряжений и мощностей, рассеиваемых транзисторами;

производить замену транзисторов и диодов в приемниках только при выключенных источниках питания;

извлекать транзистор из панели, если по какой-нибудь причине к ее лепесткам приходится подпаивать другие детали и проводники;

в случае необходимости припайки выводов полупроводникового прибора непосредственно к другим элементам схемы выполнять эти соединения на расстояниях не менее 10 *мм* от корпусов транзисторов и диодов, пользоваться легкоплавким припоем ($t_{плавл.} \approx$ $\approx$ 150° С) и паяльником мощностью не более 40 *вт* с узким жалом, по возможности ограничивать время пайки и, зажимая медным пинцетом или утконосами припаиваемый вывод между местом пайки и полупроводниковым прибором, отводить таким образом от последнего излишки тепла;

не подводить к транзисторам сигналы от генераторов и других источников переменного напряжения, амплитуда которых превышает допустимые для данного транзистора напряжения;

иметь в виду, что непосредственное присоединение генератора низкой или высокой частоты к базе—эмиттеру транзистора может резко изменить режим работы последнего по постоянному току, поэтому присоединять источники переменного напряжения к транзисторам в большинстве случаем следует через конденсаторы;

не пользоваться при проверке полупроводниковых приборов такими омметрами и другими измерительными приборами с источниками тока, которые создают в цепях проверяемых транзисторов и диодов чрезмерно большие для них токи;

следить за тем, чтобы при проверке режимов работы полупроводниковых приборов не происходило соединений (щупом вольтметра) выводов транзистора и проводников, находящихся под напряжением;

не допускать работы транзистора с отключенной базой даже на короткие промежутки времени;

иметь в виду, что надежность полупроводниковых приборов повышается в десятки раз при понижении рабочего напряжения до 0,7÷0,8 предельного значения.

При ремонте и налаживании транзисторных приемников приходится иметь дело не только с полупроводниковыми приборами,

но и с различными малогабаритными деталями (катушками для колебательных контуров, блоками конденсаторов переменной емкости, подстроечными конденсаторами, резисторами, переключателями и др.). Во время ремонта приемника некоторые из них приходится снимать, восстанавливать и испытывать.

Отличие малогабаритных деталей от обычных радиоизделий общего применения заключается не только в размерах, но и в недостаточно высоких механической прочности, износоустойчивости и теплостойкости. По этим причинам с малогабаритными деталями нужно обращаться весьма осторожно. Особенно бережным должно быть отношение к изделиям из синтетических материалов (т. е. из пластических масс, пленок, лаков и др.), в основе которых лежат полимерные соединения. Детали из этих материалов можно легко повредить не только ударами и приложением к ним небольших механических усилий (например, при расклеивании изделий), но и горячим паяльником, каплей расплавленного припоя и рядом герметизирующих, клеевых и обезжиривающих составов.

Проверку малогабаритных резисторов и катушек производят обычным способом с помощью омметра или пробника. Что же касается испытаний электролитических конденсаторов, то их проводят низковольтными устройствами с учетом того, что отдельные типы электролитических конденсаторов рассчитаны на низкие рабочие напряжения и их можно пробить при испытаниях обычными тестерами.

3.5 МЕТОДЫ ОТЫСКАНИЯ ПРИЧИН НЕИСПРАВНОСТЕЙ

Процесс восстановления работоспособности отказавшего приемника можно разделить на два этапа: поиск причины отказа и устранение обнаруженной неисправности. Наиболее трудоемким и сложным является первый этап, так как заменить или восстановить отказавший элемент в большинстве случаев намного проще, чем отыскать его из десятков других деталей.

Для успешного поиска причин отказов необходимо правильно представлять себе физические процессы, происходящие в приемнике, уметь выбирать из ряда возможных неисправностей наиболее вероятные, научиться составлять определенную последовательность проверок, отбирать наиболее важные факты и правильно оценивать результаты наблюдений и испытаний.

Существует несколько способов отыскания причин неисправностей:

1) внешний осмотр;

2) сравнение режимов работы исправного и отказавшего приемников;

3) сужение зоны поиска путем испытания и исключения из дальнейшего рассмотрения отдельных блоков и ступеней приемника;

4) наблюдение за прохождением сигналов от одной ступени приемника к другой;

5) проверка отдельных цепей, элементов схемы и характеристик приемника;

6) замена находящихся под подозрением деталей.

Опытные мастера и радиолюбители не отдают предпочтение какому-либо одному из упомянутых способов, а применяют в зависимости от проявления неисправности определенные сочетания двух-трех способов.

Ниже приведены причины часто встречающихся отказов и примерное содержание и порядок действий по отысканию неисправного элемента.

А. В громкоговорителе не слышно передач радиостанций и шума

Этот отказ чаще всего бывает вызван обрывом или плохим контактом в цепи источника питания, нарушением целости цепи громкоговорителя или неисправностью выходной ступени УНЧ.

Примерный порядок действий по отысканию причины отказа:

проверка источника питания;

испытание громкоговорителя и его цепи на обрыв;

проверка исправности оконечной ступени УНЧ;

измерение тока, потребляемого приемником от источника питания[1].

Если общий ток превышает 80÷130 *ма*, то наиболее вероятной причиной отказа считают неисправность оконечной ступени УНЧ или пробой одного из электролитических конденсаторов: шунтирующего источник питания[2] или входящего в ближайший к батарее развязывающий фильтр. При проверке оконечной ступени УНЧ интересуются прежде всего состояниями транзисторов, выходного и входного трансформаторов, конденсаторами типа ЭМ или К-50-6 фильтра питания и развязывающего фильтра.

Б. Шум в громкоговорителе есть, но прием радиостанций отсутствует

Причин этой неисправности может быть много, поэтому при данном нарушении целесообразно воспользоваться методом сужения зоны поиска путем испытания отдельных блоков или методом наблюдения за прохождением сигналов. Исключить из рассмотрения усилитель низкой частоты, т. е. считать его исправным, можно,

[1] Для измерения общего тока, потребляемого приемником, миллиамперметр вводят в разрыв цепи питания между положительным полюсом батареи и «плюсовой» шиной приемника.

[2] Этот конденсатор уменьшает сопротивление для переменного тока между выводами батареи и таким образом предотвращает возникновение связи между ступенями приемника через общий источник питания.

например, по слабому шуму в громкоговорителе. Если необходимо более веское доказательство исправности УНЧ, то его можно получить, подав на вход усилителя сигнал порядка 10÷20 *мв* от звукового генератора (например, типа ЗГ-10) или самодельного транзисторного мультивибратора и прослушав звук, воспроизводимый громкоговорителем. Если интенсивность и качество звука нормальны, то проверяемый усилитель низкой частоты считают исправным и переходят к проверке детектора и УПЧ.

Убедиться в исправности усилителя промежуточной частоты можно путем прикосновения отвертки к базам транзисторов УПЧ[1]. Если при этом в громкоговорителе прослушивается щелчок, то данную ступень УПЧ считают исправной. Если же в момент прикосновения отвертки к базе одного из транзисторов щелчок не возникает, то ступень, собранную на этом транзисторе, считают неисправной.

В случае отсутствия щелчка при прикосновении к базе транзистора оконечной ступени УПЧ проверяют не только эту ступень, но и детектор, а также регулятор громкости. Если в результате этих проверок неисправная деталь не обнаруживается, то переходят к проверке исправности гетеродина. В том, что этот важный узел приемника работает нормально, можно убедиться по характерному звучанию громкоговорителя, называемому «суперным шумом». Дополнительным признаком исправности гетеродина может служить реакция приемника на присоединение наружной антенны (или куска проволоки) к базе транзистора смесителя.

Если при этом вращение ручки настройки приемника вызывает появление сигналов радиостанций, сопровождаемых свистами, то гетеродин считают исправным.

Последними проверяют входные цепи, а в тех приемниках, где имеется УВЧ, сначала убеждаются в его исправности, а затем переходят к испытанию входных цепей.

В некоторых приемниках, например, типов «Селга», «Сокол», «Гауя», где применены переключатели диапазонов ножевого типа, необходимо сразу же проверить правильность его сборки. Если ножевые подвижные контакты собраны на планке не по заводской схеме, то прием радиостанций может отсутствовать.

Следует иметь в виду, что нередко при вскрытии приемников «Селга», «Сокол» и «Гауя» контакты переключателя диапазонов рассыпаются. Для правильной сборки переключателя необходимо пользоваться схемой, приводимой в описании приемника.

В. Прием радиостанций есть, но речь и музыка воспроизводятся слабо

Причинами этого дефекта могут быть неисправности многих элементов схемы, вызывающие уменьшение коэффициента усиле-

[1] При этом отвертку нужно держать не за ручку, а за металлическую часть.

ния какой-либо ступени приемника, поэтому и здесь целесообразно воспользоваться методом сужения зоны поиска или методом наблюдения за прохождением сигналов.

В первую очередь необходимо проверить источник питания и, если он не разряжен, то убедиться в исправности и нормальной чувствительности УНЧ.

Причинами уменьшения коэффициента усиления УНЧ могут быть:

1) неправильная установка транзисторов в панелях;

2) низкое качество транзисторов (уменьшение коэффициентов усиления);

3) потеря емкости электролитическими конденсаторами или обрывы в их цепях.

Если УНЧ исправен и обладает достаточным коэффициентом усиления, переходят к проверке УПЧ. Понижение чувствительности усилителя промежуточной частоты может быть вызвано одной из следующих причин:

1) обрывом одной или нескольких жилок вывода катушки контура;

2) расхождением чашек броневого сердечника;

3) нарушением соединения настроечной чашки с подвижным сердечником, в результате чего последний не перемещается при вращении чашки.

При отмеченных дефектах качество контура можно легко проверить вращением сердечника. Если перемещение последнего вызывает острую настройку или расстройку контура, в чем можно убедиться по резкому увеличению или уменьшению уровня сигнала на выходе УНЧ, то проверяемый контур считают исправным.

Следует иметь в виду, что и в УПЧ потери емкости электролитическими конденсаторами и конденсаторами развязывающих фильтров, а также обрывы в их цепях вызывают резкое понижение чувствительности приемника.

После проверки УПЧ переходят к контролю входных цепей приемника и их коммутации.

При поиске причины данной неисправности следует учитывать, что чувствительность приемника определяется не только исправностью элементов и цепей, но и точностью настройки контуров УПЧ, входных цепей и гетеродина. Если установлено, что причиной понижения чувствительности является расстройка контуров, то подстройку их выполняют по приводимым в описании приемника указаниям завода-изготовителя. В случае отсутствия таких рекомендаций подстраивать контуры можно по описаниям, приведенным в параграфе 3.7.

Г. Прием есть, но звук воспроизводится с сильными искажениями

Так как этот дефект обычно связан с нарушениями в работе выходной ступени УНЧ или громкоговорителя, то поиск причины неисправности начинают с обследования громкоговорителя, после чего переходят к проверке УНЧ.

Причинами данной неисправности могут быть:

1) неправильная установка в панели транзистора;

2) отсутствие контакта в транзисторной панели;

3) обрыв обмотки согласующего или выходного трансформатора;

4) затирание катушки громкоговорителя;

5) обрыв цепи обратной связи в усилителе низкой частоты.

Исходя из этого, можно считать, что действия, которые в данном случае следует предпринять, должны включать проверку хода звуковой катушки в магнитном зазоре, выяснение правильности установки транзисторов и надежности контактов в панелях, испытание обмоток трансформаторов на обрыв и проверка цепей обратной связи. В случае отсутствия или ненадежности контактов в панели необходимо хорошо зачистить выводы транзистора, обрезать их до необходимой длины и изогнуть в виде отрезка синусоиды «длиной» приблизительно 6 *мм* и «амплитудой» порядка 0,5 *мм*.

Д. Прием есть, но сопровождается треском, хрипом, свистом или гудением

Причиной появления треска может быть неисправность транзистора, ненадежность контактов (например, в переключателе диапазонов) или плохая пайка. Учитывая это, можно считать, что наилучшими способами поиска причины данного нарушения являются 5-й и 6-й методы, т. е. проверка отдельных цепей, элементов схемы и ступеней и замена находящихся под подозрением деталей.

Подтвердить предположение о том, что «источником треска» является переключатель диапазонов, можно путем прикосновения к нему во время работы приемника. Если при этом треск возникают или усиливаются, вывод очевиден: «источником треска» является переключатель диапазонов.

Хрип чаще всего возникает из-за увеличения внутреннего сопротивления источника питания, снижения качества конденсаторов, входящих в фильтры источников питания и развязывающие цепи, неисправности громкоговорителя и непрочного соединения деталей корпуса, поэтому при возникновении этого вида искажения целесообразно вести поиск причины неисправности методом проверки отдельных деталей (громкоговорителя, источника питания и конденсаторов) и методом внешнего осмотра деталей корпуса.

Свист, возникающий при настройке приемника на любую радиостанцию, является в основном признаком плохой настройки УПЧ, фильтрпробки и входных цепей. Иногда свист бывает вызван неправильным выбором емкости нейтрализующего конденсатора в ступени УПЧ или чрезмерным повышением коэффициента усиления УПЧ[1]. При этом усилитель промежуточной частоты возбуждается и приемник работает с непрерывным свистом. В ряде случаев для устранения свиста приходится подбирать емкость конденсатора в цепи связи контура гетеродина с эмиттером транзистора.

Следовательно, при этом виде нарушений поиски причины неисправности следует сосредоточить в основном на УПЧ, преобразователе частоты и входных цепях.

Часто при приеме коротковолновых радиостанций воспроизведение речи и музыки сопровождается гудением. Причина этого явления — несовершенство конструкции блока конденсаторов переменной емкости или плохая амортизация его. Подтвердить это можно несложным экспериментом. Если прикосновение руки к корпусу блока конденсаторов устраняет гудение, то причиной его можно считать неудачную конструкцию конденсаторов переменной емкости или плохое крепление их к корпусу или к шасси приемника. Блок конденсаторов должен крепиться к шасси с помощью амортизаторов и иметь мягкое сочленение с верньерной системой (разумеется, если возможность такого сочленения предусмотрена конструкцией блока).

В приемниках «Спидола» и «ВЭФ-12» микрофонный эффект[2] может быть вызван недостаточной жесткостью крепления радиодеталей (конденсаторов) в барабане переключателя диапазонов и на контактной гребенке.

В приемниках «Спидола» наблюдается еще одно явление — при чрезмерном увеличении громкости звука прием станций на длинноволновом диапазоне сопровождается гудением, перемешанным треском. При уменьшении громкости звука гудение и треск прекращаются. Этот дефект вызван замыканием витков звуковой катушки на магнитную систему громкоговорителя. Убедиться в этом можно с помощью омметра. При присоединении последнего к лепесткам громкоговорителя стрелка прибора отклоняется на определенный угол, зависящий от сопротивления звуковой катушки. Если при нажатии на диффузор показания прибора изменяются

---

[1] В случае необходимости уменьшить коэффициент усиления УПЧ можно путем ввода в схему транзисторов с малым коэффициентом усиления изменением режимов работы триодов или шунтированием колебательных контуров УПЧ резисторами.

[2] Микрофонным эффектом называют изменение анодного тока электронной лампы, вызванное воздействием на нее механических колебаний. Подобное явление имеет место и в транзисторных приемниках, но здесь оно вызывается колебаниями не электродов транзистора, а вибрацией других деталей, например, пластин конденсаторов переменной емкости.

скачками, то считают, что звуковая катушка соединяется с магнитной системой. В ряде случаев отключать при такой проверке громкоговоритель и пользоваться омметром не нужно. Достаточно при появлении гудения и тресков нажать на диффузор пальцем и прослушать передачу. Если возбуждение и трески прекратятся и воспроизведение звуков станет нормальным, то можно считать, что причиной данного дефекта является затирание звуковой катушки. Такой громкоговоритель требует ремонта или замены.

3.6. ПОРЯДОК РАЗБОРКИ И СБОРКИ ТРАНЗИСТОРНЫХ ПРИЕМНИКОВ

Для осмотра монтажа, проверки режимов работы транзисторов и проведения других испытаний необходим доступ к обеим сторонам печатной платы. Чтобы получить его, нужно частично разобрать приемник. Порядок выполнения этой операции для 18 типов наиболее распространенных транзисторных приемников и радиол «Мрія» и «Эфир-М» кратко изложен ниже.

Разборка приемника «Алмаз»

1. Открыть крышку пенала и извлечь из него аккумуляторную батарею.

2. Отвинтить на задней стенке приемника два винта, крепящие крышку приемника к корпусу, и снять крышку.

3. Отвинтить две стойки, крепящие печатную плату к корпусу.

4. Снять печатную плату с основания.

Сборка приемника «Алмаз», как и сборка других приемников, производится в обратной последовательности.

Разборка приемника «Альпинист»

1. Отвинтить два винта и снять переднюю стенку корпуса приемника.

2. Отпаять проводник от гнезда наружной антенны.

3. Отвинтить пять винтов и вынуть плату приемника.

При установке платы на место можно повредить стрелку-указатель, поэтому собирать приемник следует осторожно.

Разборка приемника «ВЭФ-12»

1. Отвинтить пять винтов, которыми крепится задняя стенка и крышка отсека питания, и снять их.

2. Отвинтить винты и снять все ручки управления.

3. Снять колпачок телескопической антенны и легким нажатием на антенну ввести ее в приемник.

4. Отвинтить четыре винта (три по углам шасси и четвертый в отсеке питания) и вынуть винты пинцетом.

5. Перекашивая шасси так, чтобы расположенный справа отсек питания находился выше левой половины шасси, вынуть его из корпуса.

6. Отвинтить три винта, которыми крепится печатная плата к шасси и повернуть ее от себя на 90°.

Разборка приемника «Гиала»

1. Отвинтить расположенные по краям задней крышки корпуса два винта.

2. Снять ручку регулятора громкости, отвинтить два винта М4, расположенные по диагонали платы УНЧ, и снять последнюю.

3. Отвинтить четыре винта М4 и снять плату УПЧ.

При установке платы УПЧ на место необходимо совместить поводок переключателя диапазонов с ручкой переключателя, а поводок КПЕ с прорезью шкива верньерного устройства.

Разборка приемника «Космонавт»

1. Снять крышку отсека питания и вынуть из приемника элементы.

2. Отвинтить два винта, расположенные на дне отсека питания и крепящие нижнюю крышку к корпусу приемника.

3. Снять нижнюю крышку приемника с закрепленным на ней громкоговорителем.

4. В случае необходимости извлечения платы приемника из корпуса отвинтить четыре винта, расположенные по углам платы и крепящие ее к корпусу.

Разборка приемника «Меридиан»

1. Отвинтить винты и снять ручки настройки и регуляторов громкости и тембра.

2. Положить радиоприемник на стол лицевой стороной вниз, вынуть задвижку отсека питания и извлечь две батареи со своей колодкой.

3. Отвинтить четыре винта, крепящие крышку, и снять ее.

4. Отвинтить два винта и снять крышку отсека питания.

5. Отпаять от переключателей диапазонов два вывода, идущие к гнезду наружной и телескопической антенны.

6. Отвинтить винт и стойку, крепящие кронштейн телескопической антенны.

7. Потянуть кронштейн с телескопической антенной вверх и, отвернув винт, крепящий антенну, вынуть ее из корпуса.

8. Отвинтить три стойки и два винта и вынуть несущий каркас со всеми элементами.

Разборка приемника «Нева-2»

1. Открыть крышку пенала и вынуть аккумуляторную батарею.

2. Отвинтить винт в левом верхнем углу, который крепит крышку приемника к корпусу, и снять крышку.

3. Отвинтить винт, крепящий лимб и шкалу радиоприемника, и снять лимб, шкалу и уплотнительное кольцо.

4. Отвинтить три винта, крепящие печатную плату к корпусу.

5. Соблюдая осторожность, вынуть печатную плату из корпуса.

Разборка приемника «Нейва»

1. Открыв крышку люка питания, вынуть батарею.

2. Отвинтить винт, расположенный над переключателем диапазонов, который крепит крышку приемника к корпусу, и снять крышку.

3. Если необходимо, вынуть печатную плату из корпуса.

Для этого нужно положить раскрытый приемник лицевой стороной вниз, приподнять крышку и вывинтить из нее с помощью специальной отвертки телефонное гнездо.

Затем отвинтить два винта и стойку, крепящие печатную плату к корпусу, и осторожно вынуть печатную плату из корпуса.

Разборка приемника «Планета»

1. Отвинтить один винт, крепящий заднюю крышку, три винта по углам печатной платы и один винт рядом с гнездом «Телефон».

2. Вынуть плату.

При установке платы необходимо совместить поводок переключателя диапазонов с пазом ручки переключателя.

Разборка приемника «Рига-102»

1. Вывинтить два винта М4 (с пломбами) на задней стенке радиолы.

2. Отключить все разъемы: антенны, УКВ, громкоговорителя, проигрывателя.

3. Вывинтить три винта М3 в дне футляра приемника, удерживающие нижнюю декоративную профильную планку. Последняя закрывает нижнюю часть шкалы приемника.

4. Вывинтить в дне футляра приемника четыре винта М4, удерживающие шасси.

5. Выдвинуть шасси вперед (на себя) из футляра и снять боковые пластмассовые накладки, которые одевают на шкалу с двумя плоскими пружинами.

6. Для получения доступа к печатной плате КСДВ-ПЧ необходимо снять:

а) фальшпанель переключателя диапазонов (два винта М4),

б) все ручки управления,

в) шкалу приемника (два винта М4, крепящие ее к шасси),

г) подшкальник (два винта М4).

7. Для получения доступа к деталям печатной платы УНЧ необходимо вывинтить один винт М4 (между радиаторами транзисторов П213Б) и вынуть печатную плату из контактного гнезда.

При установке платы УНЧ на место нужно внимательно проследить за тем, чтобы были правильно установлены прокладки под винтом М4. Если не сделать этого, то винт может замкнуть радиаторы транзисторов на шасси приемника, что выведет из строя не только УНЧ, но в ряде случаев и блок питания.

Разборка приемника «Рига-103»

1. Отвинтить винты на задней стенке, крепящие шасси к футляру приемника, и, потянув сзади шасси на себя, осторожно извлечь его из футляра.

2. Отвинтить буксы и снять заднюю стенку с шасси.

Разборка приемника «Селга»

1. Отвинтить винт, крепящий заднюю стенку приемника, и снять ее.

2. Отпаять вывод конденсатора от гнезда наружной антенны.

3. Отвинтить два винта, крепящие печатную плату.

4. Отвинтить стойку-винт, крепящую печатную плату и служащую гайкой для крепления задней стенки приемника.

5. Вынуть печатную плату.

Разборка приемника «Сигнал»

1. Открыть крышку люка питания и вынуть батареи.

2. Отвинтить винты, крепящие крышку приемника к корпусу, и снять крышку.

3. Если необходимо, извлечь печатную плату из корпуса; для этого положить раскрытый приемник лицевой стороной вниз, приподнять крышку и вывинтить специальной отверткой телефонное гнездо.

4. Отвинтить два винта и стойку, крепящие печатную плату к корпусу.

5. Осторожно вынуть плату.

Разборка приемника «Сокол»

1. Отвинтить два винта и снять заднюю крышку.

2. Отпаять конденсатор от гнезда внешней антенны.

3. Отвинтить два винта, крепящие плату к корпусу приемника.

4. Вынуть печатную плату из пазов корпуса приемника.

Разборка приемника «Соната»

1. Снять ручку регулятора тембра.

2. Отвинтить два винта крепления крышки пенала и снять крышку.

3. Вынуть батареи.

4. Отвинтить два винта крепления крышки корпуса и снять крышку.

5. Отвинтить стопорный винт ручки переключателя диапазонов и снять ручку.

6. Вынуть колодку с гнездами.

7. Отвинтить пять винтов крепления платы к корпусу и вынуть плату.

Разборка приемника «Спидола»

1. Отвинтить два винта и снять заднюю стенку.

2. Снять колпачок телескопической антенны и полностью ввести антенну в приемник.

3. Повернуть на один-два оборота винт крепления ручки переключателя диапазонов и снять ручку.

4. Отпаять (в приемнике «Спидола») провод от гнезда наружной антенны и от экранирующей фольги.

5. Отвинтить четыре винта (по углам шасси), крепящие шасси приемника к корпусу.

6. Вынуть шасси.

7. Отвинтить два винта, которыми крепится печатная плата.

Разборка приемника «Спорт-2»

1. Снять ручку для переноски радиоприемника.

2. Снять на задней стенке крышку отсека питания.

3. Отключить батарею и вынуть ее из отсека.

4. Отвинтить два винта на задней стенке корпуса и два фигурных винта на боковых стенках.

5. Снять заднюю стенку и шкалу.

6. Снять каретку стрелки с рамы, предварительно освободив ее от тросика и снять стрелку, поднимая ее между ферритовыми стержнями антенн вверх.

7. Отвинтить пять винтов, крепящих раму и плату к передней стенке корпуса.

8. Вынуть плату с рамой из корпуса, отпаяв, если в этом возникает необходимость, провода, соединяющие плату с переключателем тембра и громкоговорителем.

Разборка приемников «Юпитер» и «Сатурн»

1. Снять металлическую крышку на задней стенке корпуса, отключить батарею и извлечь ее из приемника.

2. Отвинтить винт, крепящий заднюю крышку, а также гайку телефонного гнезда и отделить одну часть корпуса от другой.

3. Отвинтить три винта, крепящие плату к передней стенке корпуса, и извлечь плату.

Разборка радиолы «Мрія»

1. Нажав на две боковые кнопки, расположенные в верхней части корпуса радиолы, снять крышку.

2. Отвинтить два угловых винта на подмоторной панели со стороны переднего корпуса.

3. Сдвинув вправо две кнопки на крышке отсека питания, снять крышку.

4. Вынуть элементы.

5. Отвинтить винт, расположенный в нижнем левом углу отсека питания.

6. Отвинтить винт, находящийся на заднем корпусе справа внизу, и отделить переднюю стенку корпуса.

7. Отвинтить две стойки и три винта, крепящие раму с платой к переднему корпусу.

8. Вынуть плату с рамой из переднего корпуса, следя за тем, чтобы не погнуть стрелку.

В случае необходимости отпаять провода, соединяющие плату с отсеком питания, телескопической антенной, двигателем, громкоговорителем и звукоснимателем.

Для снятия проигрывающего устройства необходимо отвинтить два винта, крепящие его к задней стенке корпуса.

Разборка радиолы «Эфир-М»

Для получения доступа к деталям радиолы необходимо отвинтить все винты, крепящие шасси к футляру, после чего выдвинуть шасси.

3.7. НЕИСПРАВНОСТИ ТРАНЗИСТОРНЫХ ПРИЕМНИКОВ И СПОСОБЫ ИХ УСТРАНЕНИЯ

В этом параграфе приведены таблицы характерных неисправностей наиболее распространенных промышленных приемников, способы проверки и настройки их блоков, режимы работы транзисторов и основные данные моточных деталей. В каждой таблице неисправностей три графы. В первой (слева) содержатся признаки неисправностей, во второй — вероятные причины и в третьей — рекомендации по проведению простейших измерений и испытаний, направленных на уточнение причины неисправности, и устранению обнаруженных дефектов.

Пользоваться таблицами очень просто. Сначала на основе опыта или анализа внешних признаков отказа намечают цепь или блок (например, цепь питания, усилитель низкой частоты или усилитель промежуточной частоты), в котором наиболее вероятно появление неисправности. Затем находят соответствующую таблицу и просматривают ее левую графу. Отыскав в ней признак неисправности, совпадающий с тем, который был обнаружен у поврежденного приемника, знакомятся с содержащимися в средней графе причинами неисправностей и выбирают наиболее вероятную из них или ту, которую можно легко устранить.

Если таким образом не удается найти причину отказа, то предполагают, что приемник не работает по причине отказа другого элемента схемы или блока и переходят к его проверке в той же последовательности.

Приведенные в таблицах значения напряжений и токов можно разделить на две группы. К первой относятся результаты измерений, полученные при питании приемников от собственных источников питания, т. е. от батареи аккумуляторов и гальванических элементов, на которые рассчитаны данные приемники. Ко второй группе значений напряжений и токов относятся результаты измерений этих величин, полученные при питании приемников от специального блока питания, обладающего очень малым внутренним сопротивлением.

На это обстоятельство обращается внимание в связи с тем, что при сравнении значений напряжений и токов, которые будут получены владельцами приемников при ремонте своих аппаратов, с табличными значениями возможны расхождения.

От собственных источников питались приемники «Альпинист», «ВЭФ-12», «Меридиан», «Рига-103», «Спидола», поэтому результаты

измерений, которые получат читатели при ремонте своих приемников, совпадают со значениями токов и напряжений, приведенными в таблицах. Что же касается напряжений и токов, устанавливающихся при некоторых видах неисправностей[1] приемников «Алмаз», «Гиала», «Нейва», «Планета», «Селга», «Сокол», «Юпитер», то они могут существенно отличаться от значений, которые будут зафиксированы. Объясняется это тем, что мощный низкоомный блок, который питал перечисленные приемники, способен был развивать большие разрядные токи, а собственные источники питания, которыми будут пользоваться читатели, на это не способны. По этой причине приведенные в таблицах некоторые значения токов и напряжений следует рассматривать как несколько завышенные.

ПЕРЕНОСНЫЙ РАДИОПРИЕМНИК «АЛМАЗ»

Принципиальная схема приемника приведена на рис. 3.4. Причинами отказов чаще всего являются:

пробои конденсаторов C_{1-5}, C_{1-6}, C_3, C_4, C_6, C_9, C_{12}, C_{14}, $C_{16} \div C_{22}$, $C_{26} \div C_{31}$;

потери емкости или обрывы цепей конденсаторов C_{1-5}, C_{1-6}, C_3, C_6, C_{10}, $C_{15} \div C_{17}$, $C_{20} \div C_{23}$, C_{25}, C_{26}, C_{28};

обрывы катушек трансформатора K_6 и контуров $K_3 \div K_6$;

неисправности транзисторов ПП6 и ПП7;

уменьшение коэффициента усиления по току транзистора ПП2, ПП3 или ПП5;

Таблица 3.1

Наименование ступени	Напряжение (в вольтах) между плюсовым проводом батареи и		
	эмиттером	базой	коллектором
Оконечная ступень УНЧ (транзисторы ПП6 и ПП7)	0,02 ÷ 0,03	0,09 ÷ 0,16	8,8 ÷ 9,0
Предоконечная ступень УНЧ (транзистор ПП5)	1,6 ÷ 2,1	1,8 ÷ 2,3	7,4 ÷ 7,8
Первая ступень УНЧ (транзистор ПП4)	0,2 ÷ 0,3	0,34 ÷ 0,43	1,8 ÷ 2,3
Вторая ступень УПЧ (транзистор ПП3)	0,2 ÷ 0,5	0,4 ÷ 0,7	6,6 ÷ 7,0
Первая ступень УПЧ (транзистор ПП2)	0,2 ÷ 0,4	0,4 ÷ 0,6	2,0 ÷ 3,6
Преобразователь частоты (транзистор ПП1)	0,30 ÷ 0,68	0,4 ÷ 0,8	4,0 ÷ 6,0

Примечание.

Приведенные в таблице 3.1 напряжения измерены вольтметром типа А4-М2.

[1] К таким неисправностям относятся нарушения, связанные с резким увеличением тока, потребляемого от источника питания.