

ПРИЛОЖЕНИЕ К ЖУРНАЛУ «ЮНЫЙ ТЕХНИК»

Сокол Л. С.



КАК

РАБОТАЕТ ВЫПУСК I

РАДИОПРИЕМНИК

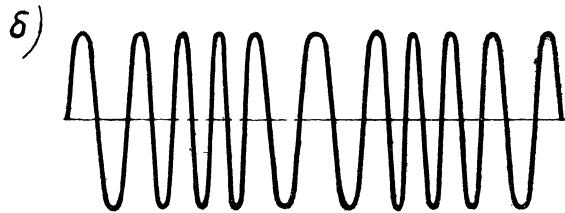
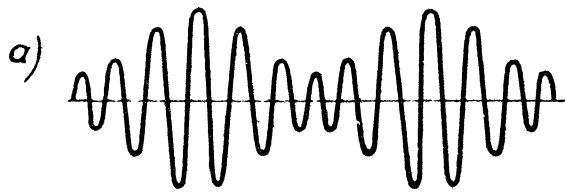


РИС. 1. МОДУЛИРОВАННЫЕ КОЛЕБАНИЯ

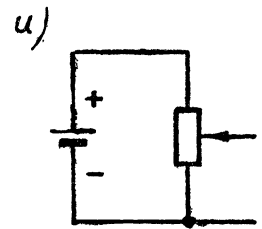
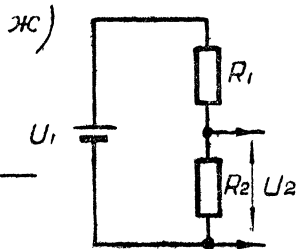
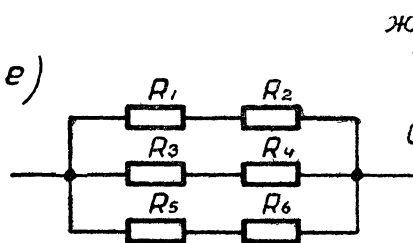
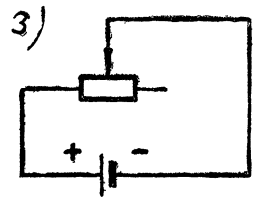
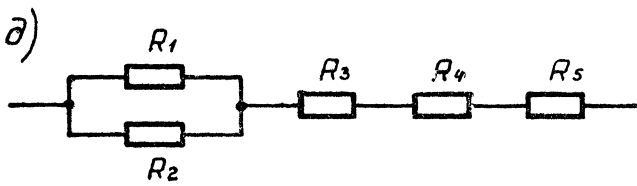
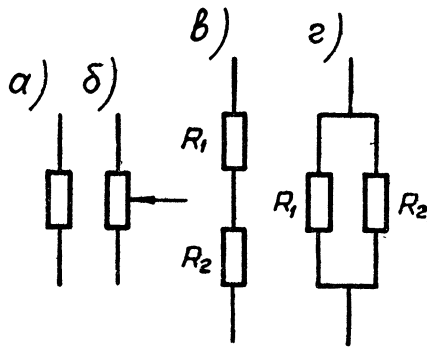


РИС. 2. РЕЗИСТОРЫ

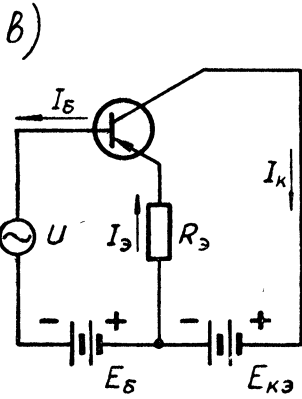
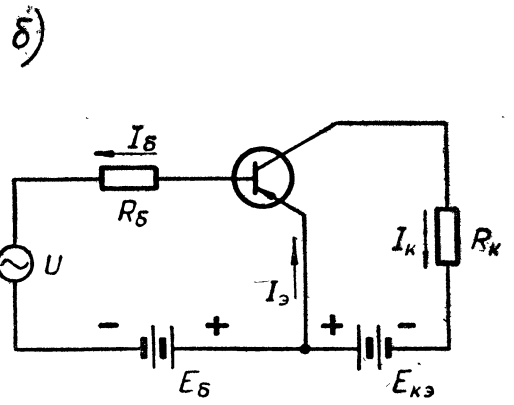
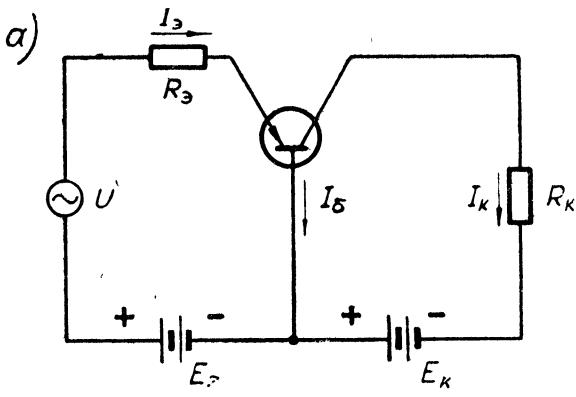


РИС. 14. УСИТЕЛЬНЫЕ СХЕМЫ НА ТРАНЗИСТОРАХ

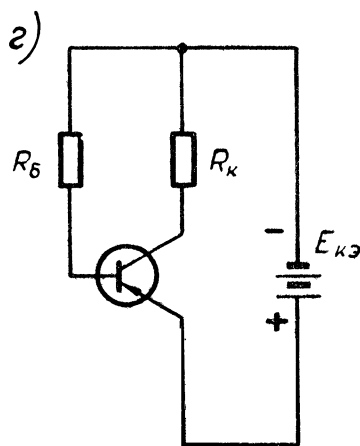
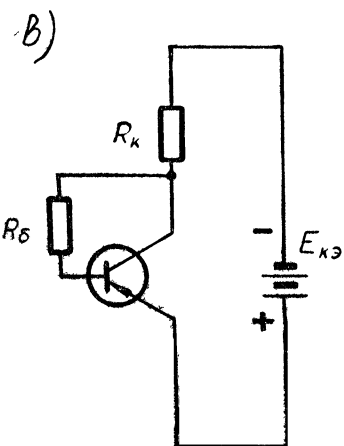
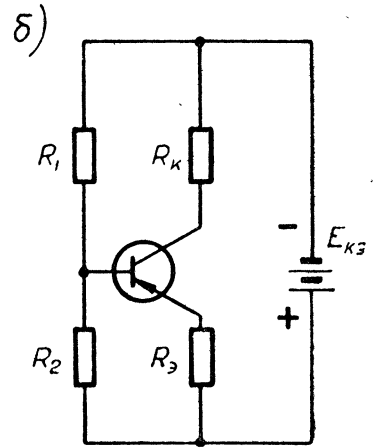
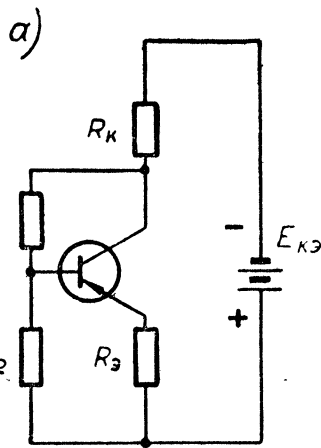


РИС. 15. СХЕМЫ ПИТАНИЯ ТРАНЗИСТОРНЫХ УСИТЕЛЕЙ

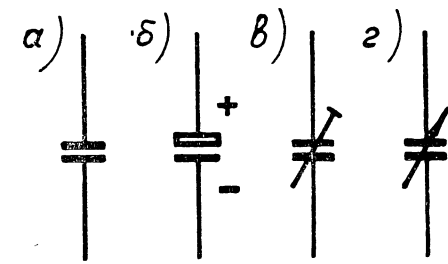


РИС. 3. КОНДЕНСАТОРЫ

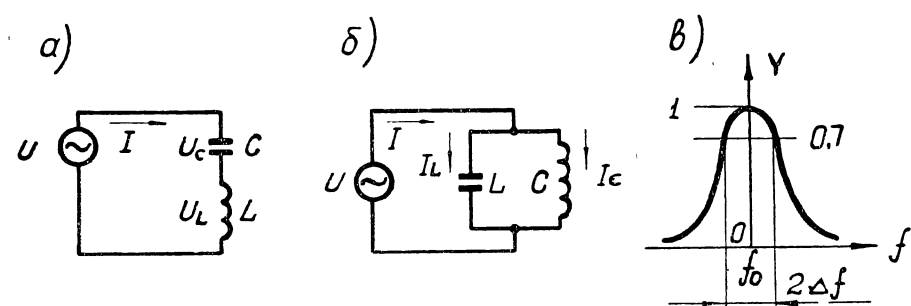


РИС. 5. ОДИНОЧНЫЕ РЕЗОНАНСНЫЕ КОНТУРЫ

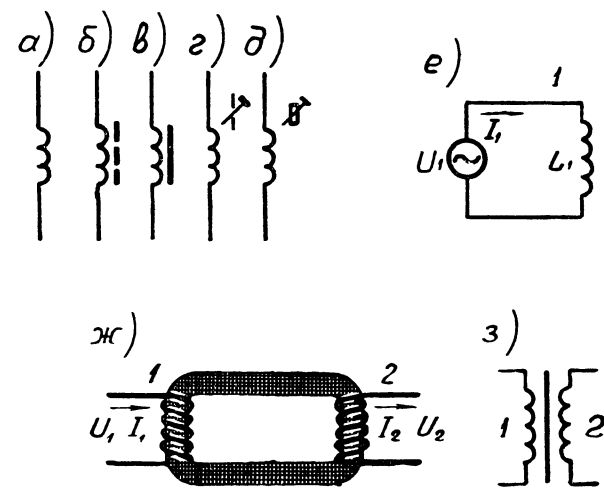


РИС. 4. КАТУШКИ И ТРАНСФОРМАТОРЫ

РАДИОВЕЩАНИЕ И РАДИОПРИЕМНИК

Антенна радиостанции излучает радиоволны, которые распространяются от нее во все стороны. По мере удаления от передающей антенны радиоволны ослабевают (затухают). Используемые для радиовещания радиоволны разбиты на 4 диапазона. Длинные волны (ДВ): 150—415 мкц или 2000—722 м; средние волны (СВ): 520 мкц—1,6 Мгц или 575—187 м; короткие волны (КВ): 6—30 Мгц, или 50—10 м; ультракороткие волны (УКВ): 30—300 Мгц, или 10—1 м. Диапазоны КВ и УКВ разбиты на несколько поддиапазонов.

То, что мы слышим, когда работает приемник,— речь, музыка— это не радиоволны, а звуковые колебания. Известно, что человеческое ухо способно воспринимать как звук колебания с частотами от 16 до 20 000 гц. Частоты радиоволн измеряются килогерцами (тысяча герц) и мегагерцами (миллион герц). Самая большая звуковая частота (20 000 гц) меньше частоты самой длинной из используемых радиоволн (150 мкц) в 7,5 раза. Для того чтобы радиоволны несли в себе сигналы звуковых частот, необходимо во время передачи воздействовать на радиоволну звуковыми колебаниями. Этот процесс называется модуляцией. Модулировать радиоволну— задача передающей радиостанции.

Задача приемника заключается в том, чтобы принять эту радиоволну (часто очень ослабленную) и выделить из нее звуковые сигналы.

В радиовещании используются два вида модуляции: амплитудная и частотная. При амплитудной модуляции изменяется амплитуда колебаний радиоволны по закону звуковых колебаний (рис. 1а), при частотной модуляции изменяется частота радиоволны (рис. 1б). Амплитудная модуляция применяется в диапазонах ДВ, СВ и КВ, а частотная— в диапазоне УКВ. Частоты звуковых колебаний называют низкими, а частоты радиоволн— высокими.

В эфире одновременно действует большое количество радиостанций. Каждой из них отведена определенная частота или несколько частот. По международному соглашению соседние частоты радиостанций должны отличаться не менее, чем на 10 мкц, в диапазонах ДВ, СВ и КВ. В диапазоне УКВ разность соседних частот должна составлять не менее 250 мкц. Приемник должен одновременно принимать передачу, ведущую только на одной частоте, и не принимать передач на других частотах.

Для успешного выполнения своей роли приемник должен обладать рядом свойств.

Чувствительность. Это способность приемника воспринимать слабые радиосигналы при нормальной громкости звучания. Она равна величине напряжения, развиваемого в антенне приемника, и измеряется в микровольтах (*мкв*)— миллионных долях вольта. Иногда чувствительность называют величиной напряженности поля радиоволны в месте приема. Напряженность поля численно равна напряжению, которое получается в антенне с действительной высотой в 1 м и измеряется в *мкв/м*. Часто чувствительность выражается в более «грубых» единицах— милливольтгах (1 *ме* = 0,001 *в*).

Избирательность показывает, во сколько раз громче приемник воспроизводит передачи нужной станции, чем станции, работающей на соседней частоте.

Полоса частот показывает, какие звуковые частоты может воспроизвести приемник. Обеспечить воспроизведение всей полосы звуковых частот— задача довольно сложная. Качество звучания приемника зависит от того, какую часть из этих частот он воспроизводит.

Выходная мощность— максимальная мощность (громкость), с которой может работать приемник без искажений звука.

В зависимости от своих качеств промышленные приемники делятся на 5 классов: высший, первый, второй, третий и четвертый. Приемник высшего класса обладает чувствительностью 50 *мкв*, избирательностью в 1000 раз, обеспечивает мощность звучания более 4—5 *вт* и воспроизводит полосу звуковых частот от 60 до 6000 гц при работе в ДВ, СВ и КВ диапазонах. При работе в УКВ диапазоне его чувствительность достигает 5 *мкв*, а полоса воспроизводимых звуковых частот расширяется до 60—15000 гц. Приемник четвертого класса обычно работает в диапазонах ДВ и СВ. Его избирательность составляет 50—80 раз, а полоса воспроизводимых звуковых частот 200—3000 гц.

Переносные приемники выпускаются только с I по IV класс. Их выходная мощность значительно ниже (0,1—0,2 *вт*), а нижняя звуковая частота, которую они могут воспроизвести, составляет 150 гц у приемника I класса и 400 гц— у приемника IV класса. Качества приемников I, II и III классов изменяются соответственно с понижением класса.

Делать чувствительность приемника выше 50 *мкв* в диапазонах ДВ, СВ и КВ не имеет смысла, потому что на этих частотах сказывается влияние многочисленных промышленных, атмосферных и других радиопомех, которые будут принимать чувствительным приемником так же хорошо, как полезный сигнал. В диапазоне УКВ

действие помех слабее, и чувствительность приемника можно повысить до 5 *мкв*. Возможность расширения полосы звуковых частот в УКВ диапазоне вызвано тем, что этот диапазон более свободен, чем остальные.

На радиолюбительские приемники ГОСТ не распространяется, и схемы приемников могут быть разнообразными. Но каждый радиолюбитель должен четко представлять, какими схемными решениями обеспечивается тот или иной параметр: чувствительность, избирательность, выходная мощность. Для этого придется познакомиться с работой различных радиотехнических схем на лампах и транзисторах, о которых мы расскажем в двух брошюрах. Но сначала поговорим о деталях и основных элементах любой радиосхемы.

РАДИОДЕТАЛИ

Резистор— деталь, в которой сосредоточено все сопротивление определенного участка цепи. Условные обозначения резисторов на схемах и примеры их соединения приведены на рис. 2. Промышленность выпускает резисторы проволочные и непроволочные, постоянные (рис. 2а) и переменные (рис. 2б). Сопротивления резисторов могут быть от нескольких ом до десятков мегом (мегом— миллион ом). Каждый резистор рассчитан на определенную мощность рассеяния, то есть предельную электрическую мощность (расход электроэнергии в единицу времени), которую он может превращать в тепло и не перегореть при этом. Резисторы рассчитываются на номинальную мощность рассеяния 0,125 ватта (*вт*); 0,25 *вт*; 0,5 *вт*; 1 *вт*; 2 *вт* и т. д. Мощность, рассеиваемая резисторами в данной схеме, подсчитывается по формуле:

$$P = UI, \text{ где:}$$

P— мощность в ваттах (*вт*);

I— ток через резистор в амперах (*а*);

U— напряжение на резисторе в вольтах (*в*).

Эта мощность должна быть всегда меньше номинальной мощности рассеяния резистора. В схемах резисторы могут соединяться последовательно (рис. 2в), параллельно (рис. 2г) и в более сложные цепи (рис. 2д, е), которые можно представить как совокупность последовательных и параллельных соединений.

Сопротивление участка цепи с последовательным соединением резисторов равно сумме сопротивлений всех резисторов. При последовательном соединении резисторов напряжение на всем участке цепи равно сумме напряжений на отдельных резисторах, и, наоборот, полное напряжение на участке цепи делится между резисторами пропорционально их сопротивлениям.

При параллельном соединении резисторов полный ток равен сумме токов через каждый резистор, и наоборот,

полный ток делится между резисторами обратно пропорционально их сопротивлениям. Сопротивление двух параллельно соединенных резисторов нетрудно подсчитать по формуле:

$$R_{\text{общ.}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}.$$

Схема на рис. 2 ж называется делителем напряжения, т. к. напряжение батареи делится между резисторами *R*₁ и *R*₂ и на резисторе *R*₂ образуется напряжение *U*₂. Обозначения переменных резисторов приведены на рис. 2з, и. Стрелка обозначает подвижной контакт резистора, связанный с ручкой. На рис. 2з резистор включен реостатом, а на рис. 2и— потенциометром. Включение на рис. 2и подобно схеме рис. 2ж, только напряжение *U*₂ здесь может меняться плавно при повороте ручки резистора.

Конденсатор— это деталь, в которой сосредоточена вся емкость определенного участка цепи. Основная единица измерения емкости— фарада (*ф*). Но это слишком крупная единица, и на практике используются более мелкие: микрофарада, нанофарада. Микрофарада (*мкф*)— миллионная доля фарады; пикофарада (*пф*)— миллионная доля микрофарады.

1 *ф* = 1 000 000 *мкф*;
1 *мкф* = 1000 000 *пф*.

Промышленность выпускает конденсаторы различной емкости от нескольких пикофарад до сотен микрофарад. В название типа конденсатора как правило входит начальная буква названия диэлектрика, который в них применяется (К— керамический, Б— бумажный, П— полистирольный и т. д.). Исключение составляют электролитические конденсаторы, в которых проводящая жидкость (электролит) используется в качестве одной из обкладок. В схемах радиоприемников используются полярные электролитические конденсаторы. Полярность подаваемого на них напряжения необходимо строго соблюдать, чтобы конденсатор не вышел из строя. Каждый конденсатор рассчитан на определенное рабочее напряжение. Напряжение, которое приложено к конденсатору в схеме, не должно превышать рабочего. Конденсаторы одного и того же типа и равной емкости имеют тем большие размеры, чем больше их рабочее напряжение. На рис. 3 показаны условные обозначения конденсаторов: а— постоянный, б— электролитический, в— полупеременный (подстроечный), г— переменный. Обычно на схемах рядом с обозначением конденсатора указывается его емкость и рабочее напряжение. Переменные конденсаторы предназначены для изменения емкости в больших пределах (например, 17—500 *пф*), а подстроечные— для изменения емкости в небольших пределах (например 5—30 *пф*). В схемах могут встретиться участки с последовательным и параллель-

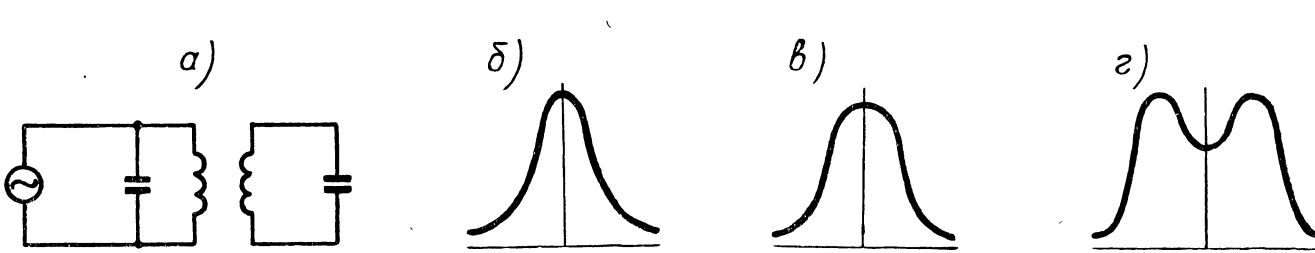


РИС. 6. ПОЛОСОВОЙ ФИЛЬТР

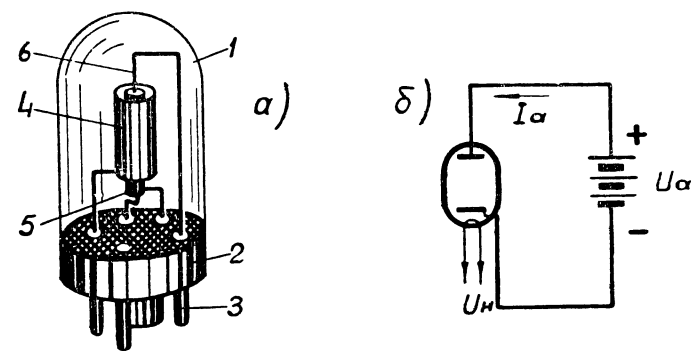


РИС. 9. ЛАМПОВЫЙ ДИОД

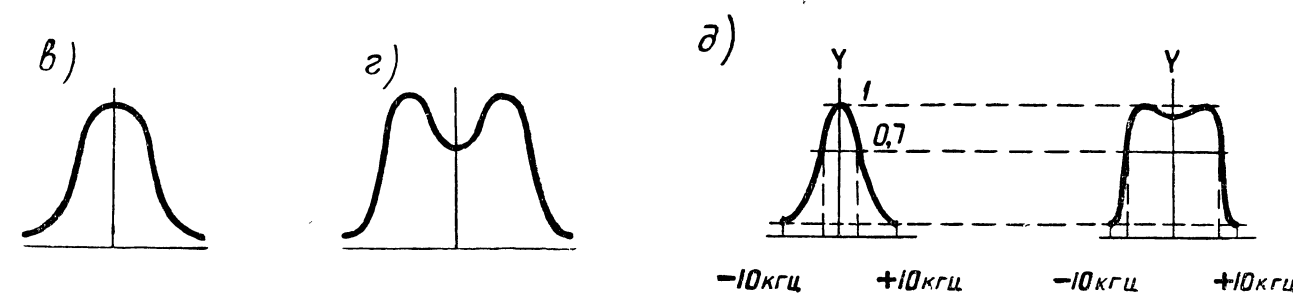


Рис. 10. ТРИОД

ном соединением конденсаторов. Емкость параллельного соединения конденсаторов подсчитывается аналогично сопротивлению последовательного соединения резисторов, т. е. равна сумме емкостей соединенных конденсаторов. Емкость последовательного соединения конденсаторов подсчитывается аналогично сопротивлению параллельного соединения резисторов, только вместо *R* нужно писать *C*. Емкость такого соединения меньше емкости любого из соединенных конденсаторов.

Если конденсатор включен в цепь с источником постоянного напряжения, то это равноценно разрыву этой цепи, ток в цепи не идет. Это почти верно, потому что в действительности через конденсатор проходит очень малый ток утечки, который вызван несовершенством диэлектрика и рядом других причин. Однако величиной тока утечки можно пренебречь и считать, что его нет. В цепи с источником переменного напряжения через конденсатор течет переменный ток. Это может показаться странным, т. к. известно, что, за исключением тока утечки, через диэлектрик ток протекать не может. Ток через диэлектрик действительно не течет. Но под действием переменного напряжения меняется величина и знак заряда конденсатора. Это значит, что в некоторый момент на одной обкладке находится больше электронов, чем на другой, а после изменения полярности напряжения на второй обкладке оказывается больше электронов, чем на первой. Для того чтобы это осуществить, часть электронов должна по проводам через источник напряжения переместиться с одной обкладки на другую. Движение электронов по проводам и есть электрический ток. Так получается эффект прохождения переменного тока через конденсатор. Аналогично тому, как резистор в цепи постоянного тока представляет собой определенное сопротивление, так и конденсатор в цепи переменного тока представляет вполне определенное сопротивление. В отличие от сопротивления резистора, которое преобразует электрическую энергию в тепловую и называется активным, сопротивление конденсатора не преобразует электрическую энергию в тепло и называется реактивным емкостным сопротивлением. Реактивное емкостное сопротивление определяется частотой переменного тока и емкостью конденсатора. Оно подсчитывается по формуле:

$$X_C = \frac{1}{6,28 \cdot f \cdot C}, \text{ где}$$

*X*_C— реактивное емкостное сопротивление в омах (*ом*);

f— частота в герцах (*гц*);

C— емкость в фарадах (*ф*).

Реактивное сопротивление одного и того же конденсатора с увеличением частоты убывает, а с уменьшением частоты возрастает и в цепи постоянного тока (*f* = 0) достигает очень большой величины.

Катушка— это деталь, в которой сосредоточена индуктивность участка цепи. В приемниках используются катушки с сердечниками и без них, на каркасах и без каркасов. Для постоянного тока катушка представляет некоторое сопротивление, которое зависит от материала, длины и диаметра провода, из которого она намотана. При протекании через катушку переменного тока вокруг нее образуется переменное магнитное поле, которое наводит на катушке напряжение, препятствующее изменениям тока. Это явление называется самоиндукцией. Величина, характеризующая эти свойства катушки, называется коэффициентом самоиндукции или индуктивностью. Индуктивность катушки измеряется в генри (*гн*). Чаще применяются более мелкие единицы: миллигенри (*мгн*)— тысячная доля генри; микрогенри (*мкгн*)— миллионная доля генри.

1 *гн* = 1000 *мгн*; 1 *мгн* = 1000 *мкгн*.
Напряжение, которое образуется на катушке при прохождении через нее переменного тока, зависит от частоты этого тока и индуктивности катушки. Если пренебречь активным сопротивлением провода, то в цепи переменного тока катушка представляет собой реактивное индуктивное сопротивление, которое подсчитывается по формуле:

$$X_L = 6,28 f L, \text{ где:}$$

*X*_L— реактивное индуктивное сопротивление в омах;

f— частота в герцах;

L— индуктивность в генри.

С увеличением частоты реактивное сопротивление катушки возрастает, а с уменьшением частоты убывает. При постоянном токе (*f* = 0) реактивное сопротивление катушки равно нулю. Активное сопротивление большинства катушек составляет настолько значительную величину, что им не всегда можно пренебречь. Тогда катушку считают участком цепи, составленным из последовательно соединенных активного сопротивления *r* и реактивного сопротивления *X*_L.

Если в катушку вложить кусок мягкого железа, магнитное поле катушки сосредоточится внутри него, и индуктивность возрастет в несколько раз. Кусок железа называется в этом случае сердечником. Материалы, подобные железу по магнитным свойствам, называются ферромагнитными. Различают магнитно-твердые и магнитно-мягкие ферромагнитные материалы. Магнитно-твердые, будучи однажды намагничены, сохраняют намагниченность. Магнитно-мягкие сохраняют намагниченность не могут. В катушках переменного тока применяются только магнитно-мягкие материалы. Алюминий, медь, латунь и другие металлы, употребляемые в качестве сердечников, уменьшают индуктивность. Для получения переменной индуктивности применяются чаще ферромагнитные сердечники, а иногда и латунные. Для изменения индуктивности сердечники вдвигаются в катушку или выдвигают-

ся из нее. Катушки с сердечниками, не входящие в состав колебательного контура (см. ниже), часто называют дросселями. В массивных ферромагнитных сердечниках под воздействием переменного магнитного поля наводятся индукционные вихревые токи, которые образуют замкнутые цепи в толще сердечника. Эти токи разогревают сердечник, сильно увеличивая тепловые потери энергии. Для того чтобы избавиться от этого недостатка, сердечник набирают из листов, изолированных между собой. Изоляция разрывает цепи вихревых токов. Этот способ применим на низких частотах. На высоких частотах в качестве ферромагнитных сердечников применяют ферриты и магнитодиэлектрики. Ферриты— это сложные вещества с большим удельным сопротивлением, в состав которых входит железо. Необходимо очень сильное магнитное поле, чтобы в ферритовом сердечнике создать заметные вихревые токи. Принцип действия магнитодиэлектрика аналогичен работе листового сердечника. Только здесь изолируются не листы, а очень мелкие крупинки ферромагнитного материала (например, химически чистого железа). Эти крупинки в большом количестве запрессованы в пластмассу, из которой изготовлен сердечник.

Условные обозначения катушек и дросселей приведены на рис. 4: катушка без сердечника (рис. 4а); дроссель с ферритовым или магнитодиэлектрическим сердечником (рис. 4б); дроссель со стальным сердечником (рис. 4в); катушка, подстраиваемая ферритовым сердечником (рис. 4г); катушка, подстраиваемая латунным сердечником (рис. 4д).

Трансформаторы. На рис. 4е изображены две катушки (1 и 2), расположенные на некотором расстоянии одна от другой. Через катушку 1 протекает переменный ток *I*₁. Переменное поле катушки 1 наводит в катушке 2 переменное напряжение *U*₂. Это явление называется взаимной индукцией, а про катушки говорят, что между ними существует связь. Величина напряжения *U*₂ зависит от тока *I*₁, расстояния между катушками и от индуктивности катушек *L*₁ и *L*₂. При неизменных величинах тока *I*₁ и индуктивности *L*₁, напряжение *U*₂ тем больше, чем больше величина *L*₂ и чем ближе катушка 2 расположена к катушке 1. Зависимость *U*₂ от расстояния существует потому, что не все магнитные силовые линии катушки 1 пересекают витки катушки 2. Если же катушки 1 и 2 поместить на замкнутый ферромагнитный сердечник (рис. 4ж), то все магнитное поле будет сосредоточено в сердечнике, и все его силовые линии будут пересекать витки катушки 2 независимо от места ее расположения на сердечнике. Теперь *U*₂ будет зависеть только от величины тока *I*₁ и соотношения индуктивностей *L*₁ и *L*₂. Это соотношение зависит только от числа витков ω_1 (катушки 1) и ω_2 (катушки 2), т. к. обе они располагаются на одном и том же сердечнике. Такое устройство называется трансформатором. Катушка 1 называется первичной обмоткой, катушка 2— вторичной обмоткой. Величины, относящиеся к первичной обмотке, обозначают знаком 1, относящиеся к вторичной обмотке— знаком 2. Отношение чисел витков ω_2 к ω_1 называется коэффициентом трансформации *n*.

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = n.$$

Токи *I*₁ и *I*₂ и напряжения *U*₁ и *U*₂ очень просто связаны через коэффициент трансформации

$$I_2 = n I_1; U_2 = n U_1.$$

Если *U*₂ больше, чем *U*₁, т. е. если *n* больше единицы, то трансформатор называют повышающим. Если же *U*₂ меньше, чем *U*₁— трансформатор понижающий. Сердечник трансформатора, как и у дросселя, набирается из листов или изготавливается из феррита или магнитодиэлектрика. Схематическое обозначение трансформатора со стальным сердечником приведено на рис. 4з. Устройство, изображенное на рис. 4е, тоже называют трансформатором, но только трансформатором без сердечника, или воздушным трансформатором. Связь между катушками 1 и 2 на рис. 4е называется трансформаторной.

РЕЗОНАНС

На рис. 5 изображены две схемы, содержащие индуктивность *L* и емкость *C*. Посмотрим, как поведет себя схема на рис. 5а при изменении частоты *f* переменного напряжения *U*. Предположим сначала, что *f* = 0, т. е. к цепи приложено постоянное напряжение. Ток *I* конденсатора постоянного тока не пропускает, ток *I*' равен нулю. Это значит, что сопротивление цепи *LC* очень велико. Начнем постепенно увеличивать частоту *f*. С увеличением частоты емкостное сопротивление *X*_C будет уменьшаться, а индуктивное сопротивление *X*_L— увеличиваться. При некоторой частоте *f*₀ они окажутся равными по величине. Здесь вам придется поверить, что в такой схеме напряжения на конденсаторе *U*_C и на катушке *U*_L противоположны по знаку. Но вследствие равенства *X*_L и *X*_C эти напряжения тоже равны по величине. Получается, что на частоте *f*₀ на участке цепи из *L* и *C* напряжение равно нулю, т. е. общее сопротивление этого участка равно нулю и через него может протекать очень большой

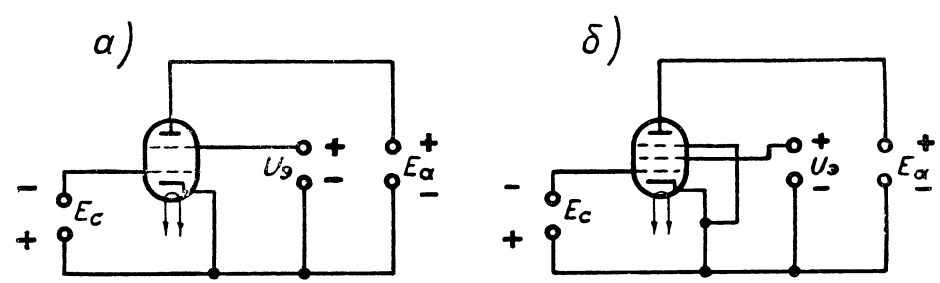


РИС. 11. ТЕТРОД И ПЕНТОД

ток I . Но мы не учли, что последовательно с катушкой включено ее активное сопротивление r , которое не меняется с частотой. Значит, ток в цепи определится этим сопротивлением и напряжением источника U_c .

$$I = \frac{U_c}{r}$$

При дальнейшем увеличении частоты равенство X_L и X_C нарушится, X_L будет увеличиваться, а X_C — уменьшаться. При этом ток I будет уменьшаться, стремясь к нулю при дальнейшем увеличении частоты. Явление, которое наблюдается в схеме на частоте f_0 , называется резонансом напряжений, частота f_0 — резонансной частотой, а цепь L, C (рис. 5а) — последовательным резонансным (или колебательным) контуром. На резонансной частоте сопротивление такого контура активно и равно r — сопротивлению потерь. Ток I при резонансе максимален. С удалением частоты от f_0 в сторону увеличения или уменьшения ток I уменьшается, а сопротивление контура возрастает.

Тот же эксперимент можно проделать со схемой на рис. 5б. X_L и X_C с изменением частоты меняются так же, как и прежде. Так же на частоте f_0 наступит равенство X_L и X_C . Но в этой схеме противоположны по знаку токи I_L и I_C . При равенстве сопротивлений X_L и X_C токи должны быть равны по величине. Выходит, что общий ток I равен нулю. Если бы не было активного сопротивления катушки r и тока утечки конденсатора, так и было бы. На самом же деле в такой схеме на частоте f_0 ток I имеет наименьшую величину и увеличивается с удалением частоты f от f_0 в сторону увеличения или уменьшения. Явление, наблюдаемое в этой схеме на частоте f_0 , называется резонансом токов, а цепь L, C — параллельным резонансным (или колебательным) контуром. Частотные свойства обоих контуров графически изображаются резонансной кривой (рис. 5в). По горизонтальной оси (ось абсцисс) откладываются значения частоты, по вертикальной оси — значения величины Y . Эта величина соответствует току в последовательном контуре и напряжению на параллельном контуре. Наибольшее значение величины Y равно 1. Расстояние по частоте между частотами, соответствующими $Y = 0,7$ (т. е. уменьшению Y на 30% от резонансного значения), называется полосой пропускания контура $2\Delta f$. Из резонансной кривой видно, что резонансный контур обладает избирательными свойствами, т. е. способностью пропускать некоторую полосу частот и не пропускать остальные частоты. Число, показывающее, во сколько раз резонансная частота больше, чем полоса пропускания, называется добротностью контура Q :

$$Q = \frac{f_0}{2\Delta f}$$

Добротность зависит от величины активного сопротивления потерь, которое всегда присутствует в контуре, и равна отношению реактивного емкостного или индуктивного сопротивления на резонансной частоте к сопротивлению потерь r .

$$Q = \frac{X_L}{r} = \frac{X_C}{r}$$

Резонансная частота f_0 , на которую настроен контур, зависит от величины L и C , из которых этот контур составлен. Она подсчитывается по формуле:

$$f_0 = \frac{1}{2,8 \sqrt{L \cdot C}}, \text{ где:}$$

f_0 — резонансная частота в герцах (гц);
 L — индуктивность в генри (гн);
 C — емкость в фарадах (ф).

Настроить контур на определенную резонансную частоту можно при помощи огромного количества пар значений L и C . Это значит, что можно сделать очень много разных контуров с одинаковой частотой f_0 . Но при этом у них будут отличаться величины добротности Q и полосы пропускания $2\Delta f$.

На резонансной частоте последовательный контур представляет собой малое сопротивление, равное сопротивлению потерь r . Параллельный контур представляет собой большое сопротивление R_{oe} . Оно зависит от добротности контура и подсчитывается по формуле:

$$R_{oe} = Q^2 \cdot r$$

При добротности $Q = 50$ и сопротивлении потерь $r = 5 \text{ ом}$, сопротивление параллельного контура на частоте f_0 равно:

$$R_{oe} = 50 \cdot 50 \cdot 5 = 12500 \text{ ом} = 12,5 \text{ ком.}$$

В резонансных контурах можно плавно изменять резонансную частоту при помощи переменной емкости или переменной индуктивности. Обычно изменение частоты в больших пределах производится при помощи переменного конденсатора, а в небольших пределах (подстройка) — при помощи подстроечного конденсатора или изменением индуктивности при перемещении в катушке небольшого сердечника.

Кроме одиночных контуров (рис. 5) применяются связанные резонансные контуры (рис. 6). Их частотные свойства также изображаются резонансными кривыми. В зависимости от степени связи между контурами кривые могут иметь различную форму. При слабой связи (рис. 6б) кривая выглядит так же, как кривая одиночного контура.

При критической связи (рис. 6в) скаты кривой становятся круче, а вершина более плоской. При сильной связи (рис. 6г) скаты кривой еще круче, а на вершине появляется провал. В приемниках обычно используются связанные контуры с критической связью или немного больше критической. Связанные контуры называют также полюсовыми фильтрами.

Одиночные контуры и полюсовые фильтры используются в приемниках для обеспечения избирательности. При одинаковой полосе пропускания избирательность полюсовых фильтров выше, чем у одиночных контуров, т. к. у полюсовых фильтров круче скаты кривых. И наоборот, при одинаковой избирательности, выше полоса пропускания у полюсовых фильтров по той же причине (см. рис. 6д).

ТЕЛЕФОНЫ И ГРОМКОГОВОРИТЕЛИ

Главные телефоны и громкоговорители предназначены для преобразования тока низкой частоты в механические колебания. Эти колебания, передаемые окружающему воздуху, воспринимаются как звук. Устройство телефона изображено на рис. 7. Он состоит из постоянного магнита 1, обмотки 2 и мембраны 3. Все это помещено в пластмассовый или металлический корпус. Стальная мембрана притягивается магнитом с постоянной силой. При пропускании через обмотку тока низкой частоты магнитное поле обмотки складывается с полем магнита или вычитается из него. Сила притяжения меняется с частотой тока, и мембрана колеблется с той же частотой, заставляя колебаться окружающий воздух. Полоса звуковых частот, воспроизводимых телефоном, недостаточна для хорошего приема музыкальной передачи.

Электродинамический громкоговоритель обладает лучшим качеством воспроизведения и большей мощностью, чем телефон. Устройство громкоговорителя показано на рис. 8. Постоянный магнит 1 соединен с магнитопроводом 2 из магнитного-мягкого материала. Свободный конец магнита имеет цилиндрическую форму и находится в круглом отверстии магнитопровода. Таким образом, свободный конец магнита и края отверстия магнитопровода — это два полюса магнита. В небольшом кольцевом зазоре создается сильное магнитное поле. В этом зазоре находится звуковая катушка 3, тонкий каркас, которой приклеен к коническому бумажному ратрубу — диффузору 4. Когда по катушке протекает ток низкой частоты, ее магнитное поле взаимодействует с полем постоянного магнита. Катушка втягивается в зазор или выталкивается из него, в зависимости от направления ее поля. Движения катушки передаются диффузору, края которого закреплены на кольцевом обрамлении, жестко связанном с магнитом. Колебания диффузора передаются окружающему воздуху.

ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛАМПЫ

Диод. Устройство простейшей электронной лампы — диода — изображено на рис. 9а. Диод — «двуэлектрод-

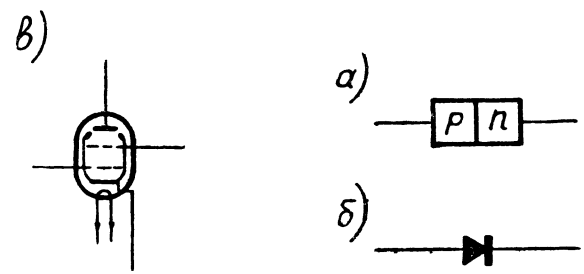


РИС. 12. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДИОД

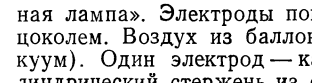


РИС. 12. ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДИОД

ная лампа». Электроды помещены в стеклянный баллон с цоколем. Воздух из баллона откачан (создан высокий вакуум). Один электрод — катод — представляет собой цилиндрический стержень из смеси окислов металлов. Второй электрод — анод — металлический цилиндр, окружающий катод. Внутри катода через изоляционную трубку пропущена нить подогрева. Выводы от подогрева, катода и анода пропущены через баллон и цоколь и припаяны к контактным ножкам. При пропускании через нить подогрева тока накала I_n нить нагревает катод, и он испускает свободные электроны, как и любой накаливаемый проводник. Это явление называется термоэлектронной эмиссией. Эмиссионная способность различных материалов неодинакова. Для катодов выбирают материалы с высокой эмиссионной способностью.

Если между катодом и анодом включить постоянное напряжение E_a положительным полюсом на анод (рис. 9б), то электроны устремятся от катода к аноду. Этот поток электронов образует анодный ток I_a . Но в радиотехнике принято считать, что анодный ток течет от анода к катоду. Это осталось еще с тех времен, когда неизвестна была природа электрического тока, и считали, что ток в электрической цепи течет от положительного полюса к отрицательному.

При изменении полярности анодного напряжения анодный ток прекращается, т. к. электроны, вылетевшие с катода, попадают обратно на катод. Анодное напряжение, при котором течет анодный ток, называется прямым. Напряжение противоположной полярности называется обратным. Когда при включенном подогреве в диоде течет анодный ток, говорят, что диод «отперт». При отсутствии анодного тока диод «заперт». Величина анодного тока диода тем больше, чем больше анодное напряжение при постоянном значении тока накала. В приемниках с питанием от сети обычно используются лампы с напряжением накала 5 или 6,3 в. Способность диода пропускать ток только в одном направлении (от анода к катоду) используется для выпрямления переменного тока и для детектирования (см. ниже).

Триод. Если в диоде между катодом и анодом поместить третий электрод, получится новая лампа — триод (рис. 10а). Третий электрод — металлическая решетка или спираль, охватывающая катод, — называется сеткой. Если сетку соединить с катодом, работа лампы ничем особенным не будет отличаться от работы диода, т. к. электроны будут почти беспрепятственно пролетать через сетку. Если же при положительном напряжении на аноде изменить потенциал сетки относительно катода, подключив сетку к батарее через переменный резистор (рис. 10б), то при помощи сеточного напряжения можно управлять анодным током. При этом можно даже запереть лампу, не изменяя анодного напряжения. Допустим, мы подали на сетку небольшой отрицательный потенциал. От этого анодный ток уменьшился, т. к. некоторые электроны стали возвращаться на катод. При увеличении отрицательного потенциала сетки таких электронов становится все больше, а анодный ток еще сильнее уменьшается. При некотором отрицательном потенциале сетки E'_c анодный ток прекратится. Этот потенциал называется потенциалом или напряжением отсечки. При подаче на сетку небольшого положительного потенциала скорости электронов увеличатся и анодный ток тоже увеличится. Небольшая часть электронов будет попадать на сетку, образуя сеточный ток I_c (этот ток течет от сетки к катоду). С повышением потенциала сетки анодный и сеточный токи будут расти. При слишком большом анодном и сеточном токах анод и сетка могут раскалиться, и это приведет к порче лампы.

Т. к. сетка расположена ближе к катоду, чем к аноду, то для изменения анодного тока на одну и ту же величину необходимо изменить анодное напряжение гораздо больше, чем сеточное. Это свойство триода используется для усиления напряжения. Отношение изменения анодного напряжения ΔU_a к изменению сеточного напряжения ΔU_c при одинаковом изменении анодного тока называется

коэффициентом усиления триода μ ($\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_c}$).

На рис. 10в показано использование триода в качестве усилителя напряжения. В качестве источника анодного напряжения используется батарея E_a . В анодную

цепь включено сопротивление анодной нагрузки R_a . В цепь сетки включены последовательно батарея E_c и источник переменного напряжения U_c . Когда напряжение источника U_c равно нулю, через триод течет анодный ток I_{a0} , величина которого определяется постоянным напряжением E_a и E_c . E_c выбрано такой отрицательной величины, что лампа еще отперта, а сеточный ток равен нулю. При этом на аноде устанавливается анодное напряжение U_{a0} , равное напряжению батареи E_a минус падение напряжения на резисторе R_a , которое равно $I_{a0} \cdot R_a$.

Если напряжение U_c не равно нулю, то потенциал сетки изменяется вместе с изменением U_c . Это вызывает изменения анодного тока, из-за которых изменяется падение напряжения на резисторе R_a . В результате напряжение U_a изменяется в соответствии с изменениями U_c . При возрастании U_c возрастает и анодный ток I_a , а анодное напряжение U_a уменьшается. Поэтому изменения анодного и сеточного напряжений противоположны по знаку, т. е. одним и тем же изменениям анодного тока I_a соответствуют изменения U_a , в μ раз превосходящие изменения U_c . Такая схема (которую называют усилительным каскадом) усиливает напряжение U_c в μ раз. Для того чтобы получить усиленное напряжение, нужно переменное напряжение U_a (изменения анодного напряжения) отделить от постоянного напряжения U_{a0} . Об этом речь пойдет ниже.

U_a называют выходным напряжением $U_{вых}$, U_c — входным напряжением $U_{вх}$. Усилительные свойства каскада характеризует коэффициент усиления по напряжению K , который равен отношению $U_{вых}$ к $U_{вх}$.

$$K = \frac{U_{вых}}{U_{вх}}$$

Самое большое значение, которое может иметь K , равно коэффициенту усиления лампы, т. е. μ . Но это можно осуществить только при очень больших величинах R_a . В усилителях же не всегда можно применять R_a достаточно большой величины, поэтому величина K обычно меньше, чем μ .

Тетрод (рис. 11а). Если в триоде между анодом и сеткой поместить вторую сетку, получится тетрод. Это тоже усиленная лампа. Она включается так же, как триод, только вторая сетка соединяется с положительным полюсом источника E_a или подключается к источнику положительного напряжения, несколько меньшего, чем E_a . Эта сетка является электростатическим экраном между первой сеткой и анодом, т. е. устройством, ослабляющим влияние анодного напряжения на скорость электронов. Вторая сетка получила название экранной, а первая — управляющей. Благодаря ослаблению влияния анодного напряжения на величину анодного тока увеличился коэффициент усиления, который у тетродов достигает 1000, в то время как у триодов коэффициент усиления обычно не больше 100. Экранная сетка дает тетроду один серьезный недостаток. Электроны, ударяясь с большими скоростями об анод, выбивают из него другие электроны, которые называются вторичными. Если напряжение на аноде больше, чем напряжение на экранной сетке, то вторичные электроны попадают обратно на анод. Но если напряжение выше на экранной сетке, что может иметь место при усилении, то вторичные электроны попадут на экранную сетку, уменьшив тем самым анодный ток. Это явление носит название динаatronного эффекта. Оно приводит к искажениям усиливаемого напряжения, т. е. к искажению звука в приемнике.

Пентод (рис. 11б). Для устранения динаatronного эффекта в тетрод ввели третью сетку, расположив ее между экранной сеткой и анодом. Эта третья сетка получила название антидинаatronной, или защитной. Защитная сетка соединяется с катодом внутри баллона или выводится наружу. Иногда на нее подают небольшое отрицательное напряжение относительно катода.

Таким образом, в лампе появилось пять электродов, и она стала называться пентодом. Защитная сетка тормозит вторичные электроны, не пропуская их к экранной сетке, и они попадают обратно на анод. Электроны, летящие с катода, имеют достаточно большие скорости, чтобы пролететь сквозь защитную сетку на анод. Коэффициент усиления пентода такой же, как у тетрода.



РИС. 13. ТРАНЗИСТОРЫ

Кроме защитной сетки применяются также два плоских электрода, соединенных с катодом. Они развивают поток электронов на два луча, ослабляя этим динаatronный эффект. Такие лампы называются лучевыми тетродами (рис. 11в).

В приемниках применяются и более сложные лампы, но о них мы в этой брошюре говорить не будем.

ПРОВОДНИКИ, ДИЭЛЕКТРИКИ И ПОЛУПРОВОДНИКИ

В металлах и их сплавах электроны слабо связаны с атомами ядрами и могут свободно перемещаться от атома к атому. Шестства, содержащие большое количество таких «свободных» электронов, называются проводниками. Если к проводнику приложить даже небольшое электрическое напряжение, электроны начинают двигаться в одном направлении, образуя электрический ток. Чем больше проводник содержит «свободных» электронов, тем меньше его удельное сопротивление. Проводники обладают малым удельным сопротивлением.

Изоляторы, или диэлектрики, практически совсем не содержат «свободных» электронов, и поэтому значительный ток в диэлектрике можно создать только при помощи сильного электрического поля, т. е. при достаточно высоком напряжении. Удельное сопротивление диэлектриков очень велико.

Полупроводники по удельному сопротивлению занимают промежуточное место между проводниками и диэлектриками. Это значит, что в полупроводнике содержится небольшое количество «свободных» электронов. Это относится к химически чистым полупроводникам, не содержащим примесей. В промышленности для изготовления полупроводниковых приборов применяются чаще всего полупроводники германий и кремний. Если в чистый полупроводник (например, германий) добавить незначительное количество примеси (например, сурьмы), то в полупроводнике появится дополнительное количество «свободных» электронов, и удельное сопротивление станет меньше, чем у чистого полупроводника. Если же в германий ввести в качестве примеси индий, то в некотором количестве атомов будет не хватать электронов, т. е. образуются места, не заполненные электронами — дырки. Если электрон заряжен отрицательно, то дырка заряжена положительно. Атомы, имеющие дырки, перемещаются электроны в соседних атомах, в которых образуются дырки. Так образуется беспорядочное перемещение дырок внутри кристалла полупроводника. Если к такому полупроводнику приложить электрическое напряжение, образуется упорядоченное движение дырок, т. е. электрический ток. Если электроны текут от отрицательного потенциала к положительному, то дырки, наоборот, от положительного к отрицательному. Полупроводник с электронной проводимостью называется полупроводником n -типа, с дырочной проводимостью — p -типа. При достаточно большом количестве примеси можно настолько «испортить» чистый полупроводник, что по удельному сопротивлению он приблизится к металлу. Отдельные кристаллы полупроводника n -типа или p -типа электрически нейтральны, т. е. не заряжены.

Полупроводниковый диод. Если два кристалла полупроводников p -типа и n -типа с чистой плоской поверхностью плотно соединить друг с другом (например, путем сплавления), то по одну сторону границы окажется избыток электронов, а по другую — избыток дырок (см. рис. 12а). Такое состояние не может существовать долго, и через очень небольшой промежуток времени количество электронов и дырок справа и слева от границы станет равным. Т. е. часть дырок из p -области перейдет в n -область, а часть электронов из n -области перейдет в p -область. Т. к. до совмещения образцы были нейтральны, то теперь они зарядились: p -область получила отрицательный заряд, а n -область — положительный. Это значит, что между областями теперь появилось напряжение. Но это напряжение существует только вблизи границы и его нельзя измерить вольтметром. Оно называется потенциальным барьером и, после выравнивания количества электронов и дырок справа и

слева от границы, препятствует их дальнейшему переходу. Пограничный слой называется p - n -переходом и является основной частью плоскостного полупроводникового диода. Если к p - n -переходу приложить постоянное напряжение положительным полюсом к n -области, а отрицательным — к p -области, то оно увеличит потенциальный барьер, и тока не будет. Если же положительный полюс соединить с p -областью, а отрицательный — с n -областью, электроны из n -области устремятся в p -область, а дырки из p -области — в n -область. Но по проводам, соединяющим источник напряжения с диодом, будут течь только электроны, т. к. из p -области в провод будут переходить избыточные электроны, а избыточные дырки из n -области не смогут выйти, т. к. будут заполняться поступающими из провода электронами. Напряжение, уменьшающее потенциальный барьер и вызывающее ток через диод, называется прямым, напряжение, увеличивающее потенциальный барьер и запирающее диод, называется обратным, или запирающим. Полупроводниковый диод обладает выпрямительными свойствами, аналогичными ламповому диоду. Однако при обратном напряжении через полупроводниковый диод течет обратный ток, значительно превосходящий обратный ток лампового диода. Кроме плоскостных диодов выпускаются точечные, у которых переход образуется в месте контакта поверхности полупроводника и заостренной металлической иглы. Принцип работы этих диодов изучен еще недостаточно. Прямое напряжение прикладывается «минусом» к игле, «плюсом» — к полупроводнику. p - n -переход обладает определенной емкостью, зависящей от площади контакта и приложенного напряжения. Плоскостные диоды отличаются от точечных большей емкостью, и в высоко-частотных цепях обычно применяются точечные диоды.

Все диоды заключаются в стеклянный или металлический герметичный корпус для предохранения их от грязи и влаги, которые резко ухудшают работу диодов. Обозначение полупроводникового диода приведено на рис. 12б.

Следует помнить, что хотя электроны текут в диоде от отрицательного полюса источника напряжения к положительному полюсу, направление тока, принятое в практических расчетах, обратное. Поэтому при рассмотрении схем считают, что прямой ток идет в диоде от p -области к n -области.

Промышленностью выпускаются диоды различного назначения (выпрямительные, детекторные, импульсные и т. д.) на различных величинах прямых токов (от нескольких миллиампер до сотен ампер) и различных величин обратных напряжений (от нескольких вольт до сотен вольт). Если через диод пропустить прямой ток, превышающий величину, указанную в паспорте, он может перегреться и выйти из строя. Если превысить величину обратного напряжения, указанного в паспорте, произойдет «пробой» диода, т. е. пойдет большой обратный ток, и он может выйти из строя.

Транзисторы. Если соединить три кристалла полупроводника, как показано на рис. 13а, и сделать от них выводы, получится полупроводниковый прибор, называемый p - n - p -транзистором. На рис. 13б показана структура p - n - p -транзистора. Рассмотрим работу p - n - p -транзистора. Он состоит из двух p - n -переходов, между которыми находится общий для них кристалл полупроводника n -типа. Эту область называют базой. Одна из p -областей (допустим, левая) называется эмиттером, другая — коллектором. На рис. 13 в показано обозначение p - n - p -транзистора, а на рис. 13г — p - n - p -транзистора. Если к транзистору p - n - p подключить напряжения, как показано на рис. 13а, то эмиттерный переход окажется под прямым напряжением, а коллекторный — под обратным. При этом из эмиттера в базу потечет дырка (эмиттер «инжектирует» дырки в базу), образуя ток эмиттера I_a . Т. к. толщина базы невелика, почти все дырки дойдут до коллектора, и он их «соберет». Дырки, собранные коллектором, образуют ток коллектора I_k . Во время прохождения дырок через базу часть их заполняется электронами, поступающими вместе с выводом базы. Эти электроны образуют ток базы I_b . Очевидно, ток эмиттера равен сумме токов коллектора и базы.

$I_a = I_k + I_b$

Ток коллектора несколько меньше тока эмиттера, что выражается множителем α .

$$I_k = \alpha \cdot I_a$$

α всегда меньше единицы и в зависимости от типа транзистора, может иметь величину от 0,9 до 0,99 и выше. α называется коэффициентом передачи тока. Отношение тока I_k к току I_a называется коэффициентом усиления по току β . Причину этого названия мы выясним ниже.

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} \approx \frac{1}{1-\alpha}$$

При $\alpha = 0,95$ $\beta = 20$, а при $\alpha = 0,99$ $\beta = 100$ и т. д. В паспортах транзисторов обычно указывается величина β , т. к. ее легче измерить с требуемой точностью. При разомкнутой цепи эмиттера через цепь коллектора и базы течет обратный ток коллекторного перехода I_{ko} . Его значение тоже приводится в паспорте транзистора. В паспорте также приводятся предельные величины токов коллектора и эмиттера и предельное напряжение на коллек-

торе. Превышение этих величин может привести к порче транзистора. Кроме того, в паспорте приводится предельно допустимая величина мощности рассеяния на коллекторе, которая равна произведению коллекторного напряжения U_k на ток коллектора I_k , которые имеют место в конкретной схеме. Мощность рассеяния в любой схеме не должна превышать величины, указанной в паспорте, во избежание перегрева транзистора и выхода из строя. На рис. 13а указаны практически возможные направления токов и полярности напряжений для транзисторов p - n - p . Для p - n - p -транзисторов направления токов и полярности напряжений обратны. Физические процессы в транзисторе p - n - p те же, с той лишь разницей, что эмиттер инжектирует не дырки, а электроны и т. д. Транзисторы, как и диоды, выпускаются в металлических герметичных корпусах. При пайке диодов и транзисторов необходимо применять маломощный паяльник и припой с температурой плавления не выше $+150^\circ \text{C}$. Выводы необходимо держать инструментом, хорошо отводящим тепло (например, толстый пинцет).

ТРАНЗИСТОР КАК УСИЛИТЕЛЬ

В отличие от лампового триода, транзистор является усилительным элементом, управляемым током. В качестве усилителя он может использоваться в трех схемах включения: с общей базой (ОБ) — рис. 14а; с общим эмиттером (ОЭ) — рис. 14б; с общим коллектором (ОК) — рис. 14в.

Рассмотрим схему ОБ. Когда напряжение сигнала U равно нулю, через транзистор течет ток I_0 и приблизительно равный ему ток I_k . Т. к. на сопротивлении R_k падает напряжение, равное $I_k R_k$, то напряжение на коллекторе:

$$U_k = E_k - I_k \cdot R_k$$

Если же к эмиттерной цепи приложить переменное напряжение U , оно вызовет изменения эмиттерного тока ΔI_b , которые вызовут приблизительно равные им изменения коллекторного тока ΔI_k . Это, в свою очередь, вызовет изменения напряжения на коллекторе ΔU_k , которые равны произведению изменений коллекторного тока на сопротивление коллекторной нагрузки

$$\Delta U_k = \Delta I_k \cdot R_k$$

Т. к. эмиттерная цепь работает в режиме прямых напряжений, то достаточно небольшого переменного напряжения, чтобы получить значительные изменения тока эмиттера. При достаточно большой величине R_k можно получить значительное усиление по напряжению.

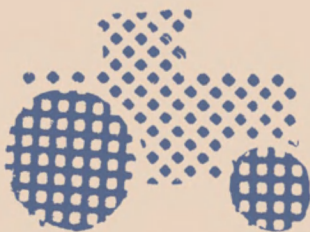
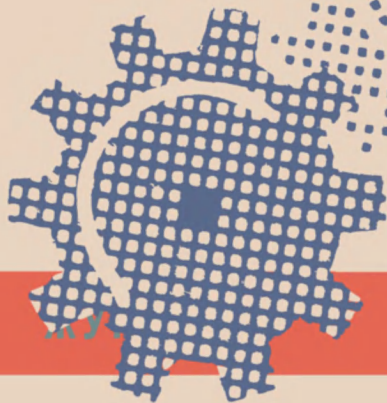
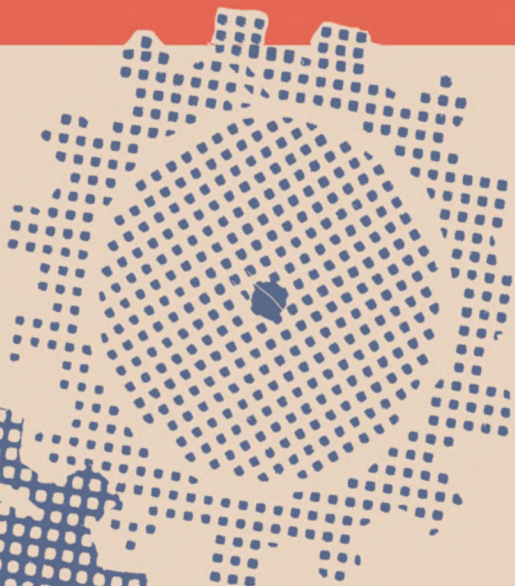
В схеме ОЭ (рис. 14б) в отсутствие переменного напряжения схемой задается ток базы I_b , который определяет ток коллектора $I_k = \beta \cdot I_b$. Переменное напряжение U вызывает изменения тока базы ΔI_b , которые вызывают в β раз большие изменения коллекторного тока ΔI_k . Все остальное аналогично предыдущей схеме. От этой схемы можно получить большее усиление по напряжению, т. к. она обладает, в отличие от схемы ОБ, усилением по току β . Важно помнить, что в схеме ОЭ при разомкнутой цепи базы течет ток I_{kb} , а не I_{ko} , причем I_{kb} в β раз превосходит I_{ko} и может достигать значительных величин. Поэтому иногда при наладке приемника транзистор с неприпаянным к схеме выводом базы выходит из строя. Это происходит потому, что величина I_{ko} сильно растет с повышением температуры, и небольшой нагрев транзистора под действием тока I_{kb} приводит к последующему быстрому самонагреву и выходу транзистора из строя.

В схеме ОК (рис. 14в) изменения тока базы ΔI_b вызывают изменения тока эмиттера ΔI_e , превосходящие ΔI_b в $(1 + \beta)$ раз. Эта схема обладает только усилением по току. Усиление по напряжению схемы ОК немного меньше единицы.

Из трех рассмотренных схем в приемниках чаще всего применяется схема ОЭ, реже — ОБ. Схема ОК почти не применяется.

При больших амплитудах переменного напряжения на коллекторе при усилении может случиться так, что напряжение на коллекторе станет равным напряжению на базе. Этот режим называется режимом насыщения. Транзистор в этот момент резко теряет усилительные свойства, что приводит к большим искажениям сигнала. Особенно часто это происходит из-за роста тока I_{ko} с повышением температуры. При понижении температуры может произойти отсечка сигнала, вызванная временным запирающим транзистора. Эти недостатки присущи многим схемам транзисторных любительских приемников, где в целях упрощения схемы недостаточно качественно выполнены цепи питания транзисторов. Приемник, налаженный летом в теплую погоду, может не работать в холодные осенние вечера. Наилучшей схемой питания транзистора является схема на рис. 15а. Она обеспечивает наибольшую стабильность режима при изменении температуры. Хороша схема рис. 15б, несколько хуже схема рис. 15в. Самая ненадежная схема на рис. 15г. Правильно рассчитанные схемы (рис. 15а, б) обычно не требуют подбора деталей, при питании по схемам рис. 15в, г необходим подбор сопротивлений R_b до получения расчетного значения тока I_k . Зато последние схемы требуют меньше деталей и расходуют меньше энергии от батарей.

ДЛЯ УМЕЛЫХ РУК



Художник В. Князьков

Редактор **Н. Сендерова**
Художественный редактор **Г. Коптелова**

Технический редактор **И. Колодная**

Корректор **Н. Шадрина**

Сдано в производство 10/VII — 69 г. Подпи-

сано в печать 18/IX — 69 г. Л89987 Тираж 115 034

Формат 70 × 108^{1/16} Печ. л. 0,75 Усл. печ. л. 1

Уч.-изд. л. 1,51 Изд. № 308 Заказ № 0625

По оригиналам издательства

«МАЛЫШ»

Комитета по печати

при Совете Министров РСФСР

Московская типография № 13

Главполиграфпрома Комитета по печати

при Совете Министров СССР.

Москва, ул. Баумана, Денисовский пер., д. 33.