

Электронные лампы приобрели свои исключительно ценные свойства лишь после того, как в диод был введен третий электрод — *сетка*. Это открыло перед электронной лампой огромные возможности. Сетка помещается между катодом и анодом.

Название «сетка» объясняется тем, что в первых конструкциях лампы она действительно представляла собой сетку или решетку (рис. 1 и 2). В дальнейшем сетку начали делать в виде проводочной спирали, окружающей катод, но первоначальное название «сетка» удержалось за этим электродом до настоящего времени.

Какую же роль выполняет сетка?

Работа триода, как всякой электронной лампы, основана на существовании электронного потока между катодом и анодом. Сетка находится между этими электродами, поэтому электроны, устремляющиеся от катода к аноду, встречают ее на своем пути и сетка управляет количеством электронов, летящих к аноду.

Разумеется, сетку нельзя рассматривать как механическое препятствие для электронов. Промежутки между витками сетки, как бы густа она ни была, всегда будут огромны по сравнению с размерами электронов. Если, например, представить себе электрон в виде футбольного мяча, то расстояния между витками сетки в том же масштабе будут равны расстояниям между планетами нашей вселенной.

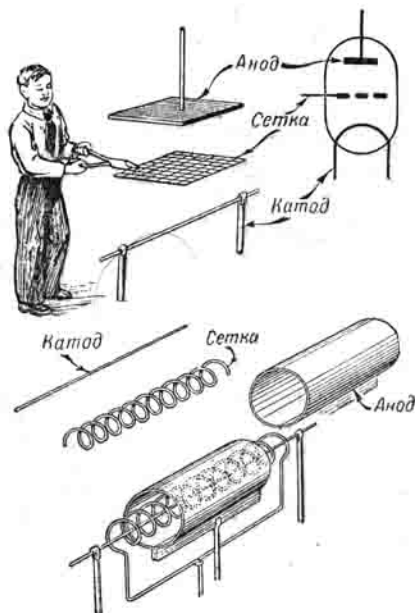


Рис. 1.



Рис. 2.

Сетка, как и другие электроды, имеет вывод наружу. Посмотрим, изменится ли что-либо в работе лампы, если вывод сетки присоединить к катоду (рис. 3). При таком соединении сетка приобретает потенциал катода. Между сеткой и катодом не будет никакого электрического поля, поэтому витки сетки окажут очень слабое действие на электроны, летящие от катода к аноду. Возможно, что отдельные электроны, столкнувшиеся с витками сетки, застрянут на них. Но в этом случае сетка зарядится отрицательно по отношению к катоду, и излишние электроны немедленно стекнут с нее на катод по соединительному проводнику, выравнивая таким образом потенциалы сетки и катода.

Положение резко изменится, если сообщить сетке какой-либо потенциал относительно катода. Осуществить это можно, включив, например, между катодом и сеткой батарею.

Если батарея окажется включенной так, что сетка зарядится отрицательно (рис. 4), то последняя начнет отталкивать электроны обратно к катоду. Если в анодную цепь лампы включен измерительный прибор, то он зарегистрирует уменьшение анодного тока. Прорываться к аноду сквозь сетку смогут лишь те электроны, которые обладают достаточно большой скоростью.

При значительном отрицательном потенциале сетки даже те электроны, которые обладают наи-

1 Левитин, Е. А., Электронные лампы, Госэнергоиздат, 1960 (Массовая радиобиблиотека).

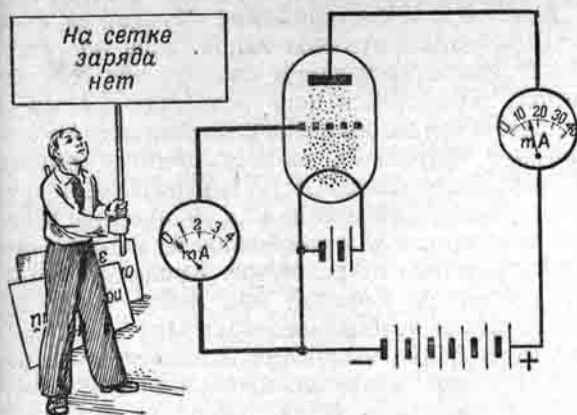


Рис. 3.

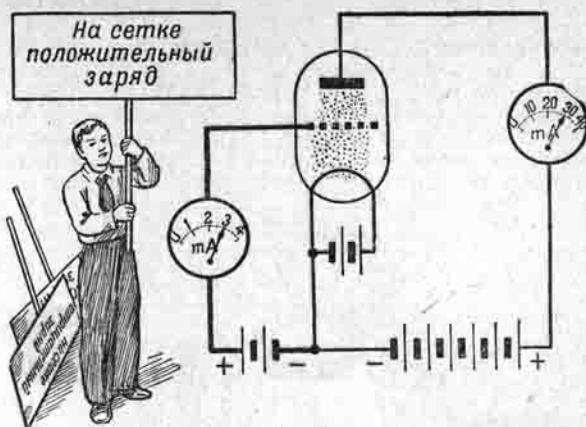


Рис. 5.

большой скоростью, не смогут преодолеть ее отталкивающее действие. Анодный ток прекратится. Лампа, как говорят, будет заперта. Если батарею (которую мы назовем сеточной) присоединить так, чтобы сетка была заряжена положительно относительно катода (рис. 5), то возникшее между катодом и сеткой электрическое поле станет ускорять движение электронов. В этом случае прибор в цепи анода покажет увеличение анодного тока. Теперь смогут достигать анода и те электроны, которые при вылете из катода обладали малой скоростью и без помощи сетки не смогли бы преодолеть путь до анода.

Чем выше положительный потенциал сетки, тем больше она способствует увеличению скорости электронов, излучаемых катодом. В соответствии с этим возрастает и анодный ток. При этом, разумеется, некоторая часть электронов притягивается и к сетке, но при правильной конструкции лампы количество этих электронов невелико по сравнению с общей эмиссией катода. Подавляющее число электронов вследствие притяжения сеткой получает столь большое ускорение, что они проскакивают через промежутки между ее витками и устремляются к аноду, при-

тяжение которого еще больше ускоряет их. Лишь те электроны, которые на своем пути сталкиваются непосредственно с витками сетки или оказываются в непосредственной близости от них, притянутся к сетке и создадут в ее цепи ток, получивший название *сеточного тока*.

В дальнейшем разность потенциалов между сеткой и катодом будем называть *напряжением на сетке*. Если потенциал сетки положителен по отношению к катоду, это напряжение тоже считается положительным, а если потенциал сетки по отношению к катоду отрицателен, то и напряжение на сетке имеет отрицательный знак. По мере увеличения положительного напряжения на сетке количество притягиваемых ею электронов увеличивается и при большом напряжении сеточный ток может стать очень большим.

Процессы, происходящие в цепях анода и сетки трехэлектродной лампы, можно наглядно показать при помощи графика (рис. 6). По горизонтальной оси графика откладывают напряжение на сетке в вольтах, а по вертикальной — величину анодного тока в миллиамперах. Точка пересечения осей, т. е. начало координат, соответствует нулевому потенциалу сетки. Вправо от нее откладывается положительное напряжение на сетке, влево — отрицательное.

Для получения данных, нужных для построения графика, соберем схему, которая даст возможность изменять по желанию напряжение на сетке при неизменном напряжении на аноде и, разумеется, при неизменном напряжении накала. Отложив на графике величины анодного тока, соответствующие различным значениям напряжения на сетке, в виде кривой, мы получим так называемую *анодно-сеточную*, или *входную*, *характеристику триода*, показывающую зависимость анодного тока лампы от величины и знака напряжения на сетке.

При некотором отрицательном напряжении на сетке анодный ток прекращается — стано-

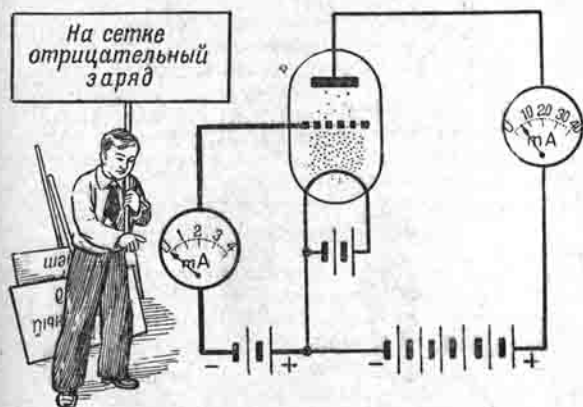


Рис. 4.

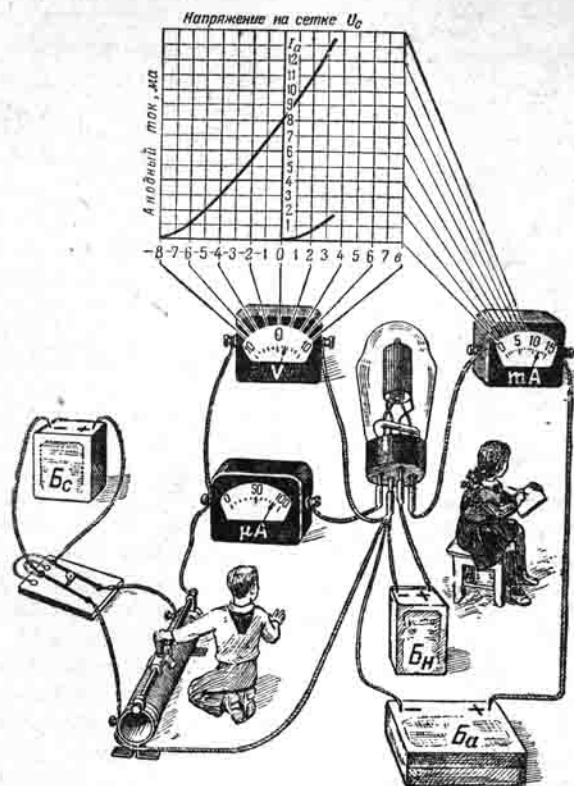


Рис. 6.

вится равным нулю. Эта точка считается началом характеристики, так как достаточно самого малого уменьшения отрицательного напряжения на сетке, чтобы анодный ток возник. На приведенном для иллюстрации графике этой точке соответствует напряжение на сетке, равное 8 в.

На графике внизу изображена и характеристика сеточного тока. Он начинается примерно при нулевом напряжении сетки и возрастает по мере увеличения положительного напряжения на ней. Влево от нуля, в области отрицательных напряжений на сетке, ток в ее цепи отсутствует. Однако анодный ток в этой области имеется, и величина его зависит от значения отрицательного потенциала сетки. При отрицательном потенциале на сетке она управляет величиной анодного тока, не потребляя никакого тока, т. е. не потребляя энергии. Она ведет себя как электрическая заслонка, регулирующая доступ электронов к аноду лампы, но не расходуя энергии на свою работу. Это обстоятельство вместе с уже отмеченным ранее мгновенным изменением величины анодного тока при изменениях напряжения на сетке представляет замечательную особенность электронных ламп с сеткой, обеспечивающую им самые разнообразные применения.

На использовании управляющего действия сетки и основана способность лампы усиливать

подводимое к ней напряжение. Увеличивая или уменьшая отрицательное напряжение на сетке, мы тем самым заставляем анодный ток соответственно ослабляться или возрастать. Если в анодную цепь лампы включить резистор (сопротивление) R (рис. 7), то анодный ток, проходя по нему, будет создавать на нем падение напряжения. Любое увеличение или уменьшение анодного тока приведет к изменению величины падения напряжения на резисторе. Кривая, по которой изменяется анодный ток, имеет такую же форму, как и переменное напряжение на сетке; поэтому и форма изменения напряжения на резисторе будет такой же. Однако при этом изменения напряжения на резисторе будут во много раз больше по величине, потому что малые изменения напряжения на сетке создают большие изменения величины анодного тока даже при условии, что резистор в анодной цепи лампы имеет достаточно большое сопротивление.

Колебания напряжения на резисторе будут представлять собой как бы увеличенную фотографию колебаний напряжения на сетке.

Наклон характеристики у различных ламп неодинаков. У одних характеристика идет круче, у других — более полого. Чем круче поднимается характеристика, тем сильнее будут сказываться изменения сеточного напряжения на величине анодного тока и, следовательно, тем больше будет усиление лампы.

Из этого можно сделать вывод, что чем круче характеристика лампы, тем большими усиленными способностями она обладает. У нас выпускались раньше и выпускаются в последнее время разные типы триодов. Широко применялись триоды 6С1С, 6С2П, 6С3П, 6С3Б, 6С6Б, 6С7Б и др.

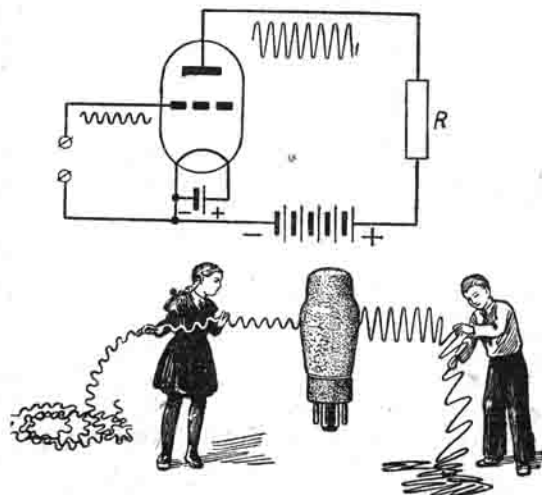


Рис. 7.

Для оценки ламп и для их сравнения пользуются специальными числовыми показателями, носящими название *параметров*.

То свойство лампы, о котором мы только что говорили, называется *крутизной характеристики* или просто *крутизной*. Этот параметр показывает, насколько круто поднимается анодно-сеточная характеристика лампы, т. е. насколько резко изменяется величина анодного тока при изменениях напряжения на сетке.

Крутизна характеристики обозначается буквой *S* и выражается в миллиамперах на вольт (*ма/в*). Физически крутизна характеристики показывает, на сколько миллиампер изменяется анодный ток лампы при изменении напряжения на ее сетке на 1 в. Для определения графическим способом крутизны характеристики надо построить на ней прямоугольный треугольник, гипотенузой которого служит исследуемый участок характеристики, а катетами — линии, параллельные горизонтальной и вертикальной осям графика (рис. 1).

В таком треугольнике горизонтальный катет показывает величину изменения напряжения на сетке, а вертикальный — соответствующее изменение величины анодного тока лампы. Обозначим анодный ток символом I_a , а напряжение на сетке — символом U_c . Как принято в физике и технике, греческая буква Δ — дельта, стоящая перед обозначением какой-нибудь физической величины, обозначает небольшое увеличение, называемое приращением этой величины.

На нашем рисунке вертикальный катет определяет величину приращения анодного тока, т. е. ΔI_a , а горизонтальный катет — соответственно ΔU_c . Взяв отношение $\Delta I_a / \Delta U_c$, т. е.

$$\frac{\text{приращение анодного тока (миллиамперы)}}{\text{приращение напряжения на сетке (вольты)},}$$

мы получим значение крутизны характеристики (*ма/в*). Если, например, изменение напряжения на сетке на 2 в приводит к изменению анодного тока на 3 ма, то крутизна характеристики

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_c} = \frac{3}{2} = 1,5 \text{ ма/в.}$$

Если бы характеристика лампы представляла собой прямую линию, то крутизна, измеренная в разных ее точках, была бы одинаковой. В действительности же начальная (нижняя) часть характеристики более полого, чем остальная. Обычно лампа ставится в такие условия работы или, как часто говорят, в такой режим, при котором ее анодный ток изменяется в процессе работы только в пределах прямолинейной части характеристики. Поэтому, как правило, крутизну характеристики определяют именно для прямолинейного участка.

Крутизна характеристики зависит от конструкции лампы: крутизна тем больше, чем ближе сетка к катоду и чем больше эмиссия катода.

Характеристика, которую мы рассмотрели, получена при анодном напряжении $U_a = 100$ в. Если снять характеристику при более высоком анодном напряжении, например при 150 в, то она расположится на графике выше первой, потому что увеличение анодного напряжения приводит к возрастанию анодного тока.

Характеристики одной и той же лампы, снятые при разных анодных напряжениях, идут почти параллельно друг к другу, причем характеристики, снятые при более высоком анодном напряжении, располагаются выше и левее, а снятые при более низком — ниже и правее.

Ряд характеристик, снятых при разных анодных напряжениях, называют *семейством характеристик*.

Из характеристик видно, что есть две возможности влиять на величину анодного тока триода: изменяя напряжение либо на его аноде, либо на сетке. При этом для одинаковых изменений анодного тока нужны неодинаковые изменения анодного или сеточного напряжения.

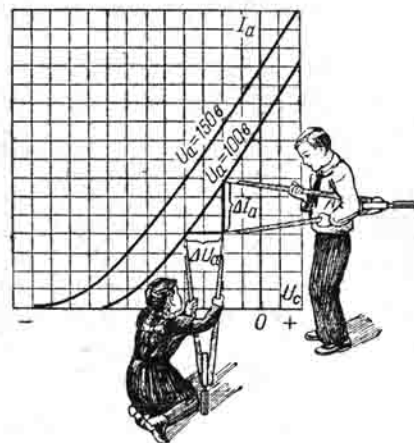


Рис. 1.

Чтобы уяснить себе связь между этими величинами, сделаем такое построение. Проведем мысленно через семейство характеристик лампы (рис. 2) вертикальную прямую *ab*, соответствующую отрицательному напряжению на сетке —4 в. Точки *в*, *г* и *д*, в которых эта прямая пересечет характеристики, будут указывать величину анодного тока при одном и том же напряжении на сетке, но при разных анодных напряжениях.

Увеличение напряжения на аноде и на сетке, как мы знаем, приводит к увеличению анодного тока. Но анод расположен дальше от катода, чем сетка, поэтому он притягивает электроны слабее. Для увеличения анодного тока на одну и ту же величину требуется гораздо меньшее изменение напряжения на сетке, чем на аноде. У лампы, характеристики которой показаны выше, изменение напряжения на сетке на 3 в (с —4 до —1 в) вызывает изменение анодного тока на 3 ма. Если же напряжение на сетке оставить неизменным, равным —4 в, то для того чтобы анодный ток возрос на те же 3 ма, потребуется повышение анодного напряжения на 60 в.

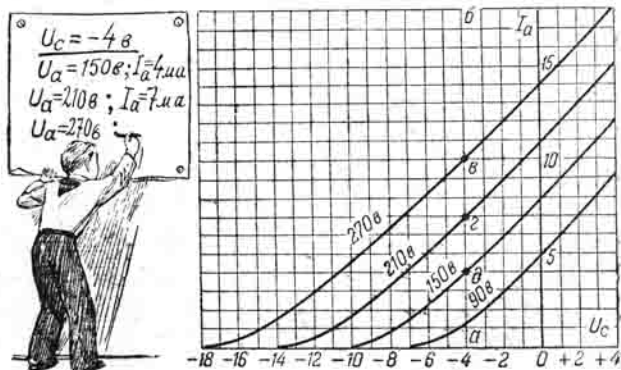


Рис. 2.

¹ Левитин Е. А., Электронные лампы, Госэнергоиздат, 1960 (Массовая радиобиблиотека).

(со 150 до 210 в). Если для увеличения анодного тока на 8 ма потребовалось в 20 раз большее увеличение анодного напряжения по сравнению с сеточным (анодное на 60 в, а сеточное на 3 в), то можно сказать, что действие сетки на величину анодного тока в 20 раз сильнее действия анода.

Число, показывающее, во сколько раз сетка действует на анодный ток сильнее, чем анод, называется коэффициентом усиления лампы и обозначается греческой буквой μ (мю).

Математически это можно написать так:

$$\mu = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_c} = \frac{60}{3} = 20.$$

Чем гуще сетка, тем сильнее любое изменение ее напряжения будет воздействовать на поток электронов, летящих от катода к аноду, тем больше коэффициент усиления.

Третьим параметром лампы является ее внутреннее сопротивление. Согласно закону Ома:

$$\text{сопротивление} = \frac{\text{напряжение}}{\text{ток}},$$

или, пользуясь буквенными обозначениями,

$$R = \frac{U}{I}.$$

По этой формуле можно по анодному напряжению лампы и соответствующему этому напряжению анодному току вычислить сопротивление лампы. Но найденная величина будет сопротивлением лампы постоянному току. Электронная лампа чаще всего используется для усиления переменных напряжений. При этом надо знать, как изменяется анодный ток при изменениях анодного напряжения, поскольку именно это определяет величину напряжения на резисторе анодной нагрузки.

На графике, помещенном на стр. 89, видно, что при напряжении на сетке -4 в и анодном напряжении 150 в

анодный ток равен 4 ма. При повышении анодного напряжения до 210 в анодный ток возрастает до 7 ма. Следовательно, при изменении анодного напряжения на 60 в произошло изменение анодного тока на 3 ма.

Представляет интерес именно величина, показывающая соотношение между изменениями анодного напряжения и анодного тока, называемое внутренним сопротивлением лампы:

$$\text{внутреннее сопротивление} = \frac{\text{изменение анодного напряжения}}{\text{изменение анодного тока}},$$

или

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}.$$

Если ΔI_a выражено в амперах, а ΔU_a — в вольтах, то R_i будет в омах; если же ΔI_a выразить в миллиамперах, а ΔU_a опять в вольтах, то R_i получится в килоомах.

В нашем примере изменение анодного напряжения на 60 в сопровождалось изменением анодного тока на 3 ма, значит, внутреннее сопротивление лампы

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a} = \frac{60}{3} = 20 \text{ ком.}$$

Параметры лампы — крутизна характеристики, коэффициент усиления и внутреннее сопротивление — являются исходными для расчетов аппаратуры, в которой применяются электронные лампы.

Между указанными тремя параметрами триода существует легко запоминаемая зависимость:

$$\frac{\text{крутизна характеристики} \times \text{внутреннее сопротивление}}{\text{коэффициент усиления}} = 1,$$

или

$$\frac{SR_i}{\mu} = 1.$$

Усилительное действие лампы всегда тем лучше, чем больше крутизна ее характеристики.

ТЕТРОДЫ И ПЕНТОДЫ ¹

Казалось бы, при помощи трехэлектродных ламп можно получить усиление любой величины. Если недостаточно усиление, даваемое одной лампой, то можно применить две, три, пять и т. д. ламп и в конце концов получить нужное усиление. Однако возможность применения многих ламп для последовательного усиления сигнала ограничивается опасностью возникновения собственных колебаний вследствие наличия у лампы межуэлектродных емкостей. С последним фактором надо познакомиться поближе, так как межуэлектродные емкости ламп играют огромную роль в работе радиоаппаратуры.

Два любых проводника, помещенных на некотором расстоянии один от другого, обладают определенной взаимной емкостью. Она зависит от размеров проводников и расстояния между ними.

Анод и сетка лампы являются проводниками, находящимися очень близко друг от друга. Поэтому между анодом и сеткой лампы суще-

ствует емкость, носящая название межуэлектродной (рис. 1).

Любая емкость способна проводить переменный ток, притом тем лучше, чем больше ее величина и чем выше частота переменного тока. Поэтому пространство анод — сетка лампы не является для переменного тока непреодолимой преградой. Межуэлектродная емкость как бы «связывает» анодную цепь лампы с ее сеточной

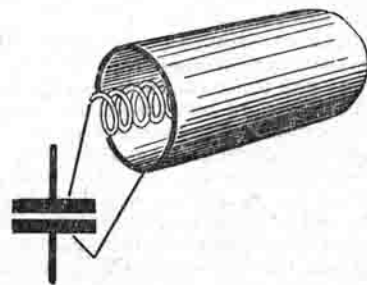


Рис. 1. Анод и сетка образуют конденсатор.

¹ По разным источникам.

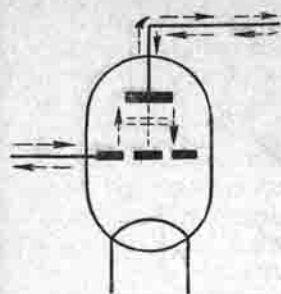


Рис. 2. Анодная и сеточная цепи лампы связаны для переменных токов через междуэлектродную емкость.

токов на передающих радиостанциях служат ламповые генераторы с обратной связью. В каждом супергетеродинном приемнике имеется гетеродин, который также представляет собой генератор с обратной связью.

Но обратная связь полезна только тогда, когда она возникает там, где это нужно, и ее величина может по желанию регулироваться. Если же обратная связь возникает самопроизвольно, то она нарушает нормальную работу радиоаппаратуры и может вызвать появление генерации колебаний, которая приводит к сильному искажению сигналов. Такая самопроизвольно возникшая неконтролируемая обратная связь называется *паразитной*.

Междуэлектродные емкости трехэлектродных ламп способствуют возникновению паразитных обратных связей. При усилении колебаний низких частот действие их незаметно, но на высоких частотах при большом усилении паразитные обратные связи приводят к возникновению собственных колебаний. Поэтому междуэлектродные емкости делают невозможным получение больших усилений. Для усилителей высокой частоты с большим усилением нужны лампы, в которых междуэлектродная емкость значительно уменьшена.

Тетрод. Задача эта была решена. В пространство между управляющей сеткой лампы и ее анодом была введена дополнительная сетка, которая соединяется через конденсатор с катодом лампы. Величина междуэлектродной емкости при этом снижается в сотни и даже в тысячи раз. В качестве примера можно указать, что величина емкости анод — сетка у триодов составляет не менее 2—3 пф, а в лампах с дополнительной сеткой она снижается до 0,01 пф.

Дополнительная сетка, введенная в пространство между анодом и основной сеткой лампы, получила название *экранирующей* (экранной), а лампа с такой сеткой — *экранированной* (рис. 3). Основную сетку лампы в отличие от экранирующей

цепью (рис. 2). Переменные напряжения, действующие в анодной цепи, через междуэлектродную емкость воздействуют на сеточную цепь и создают в ней некоторое напряжение, которое вновь воздействует на анодный ток. Это явление носит название *обратной связи*. Обратная связь широко используется в радиотехнике. Для генерирования высокочастотных

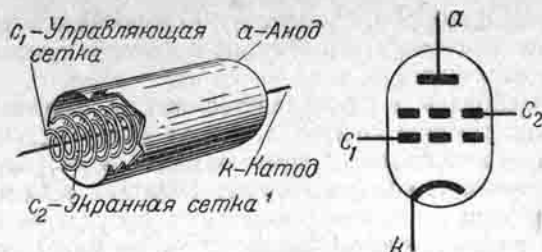


Рис. 3. Устройство тетрода и его условное обозначение на схемах.

щей называют *управляющей*, так как к ней подводится напряжение приходящего сигнала и она управляет анодным током.

Экранированная лампа состоит, таким образом, из четырех электродов: катода, управляющей сетки, экранирующей сетки и анода; поэтому она получила название *четырёхэлектродной лампы*, или *тетрода* (от греческого слова «тетра» — четыре).

Экранирующая сетка не только уменьшает паразитную емкость, но и увеличивает коэффициент усиления лампы. Если у триодов он не превышает 100, то у экранированных ламп он измеряется многими сотнями. Все это приводит к тому, что экранированная лампа может дать значительно большее усиление по сравнению с триодом и позволяет строить усилители с большим общим усилением.

Однако у экранированных ламп есть один очень крупный недостаток — склонность к так называемому *динатронному эффекту*.

Что же представляет собой динатронный эффект?

Читатель знает, что электроны в пространстве между катодом и анодом несутся с очень большой скоростью.

В результате электронной бомбардировки анода из его поверхности выбиваются электроны, получившие название *вторичных* в отличие от *первичных* электронов, создаваемых катодом (рис. 4). Вторичные электроны, выбитые из

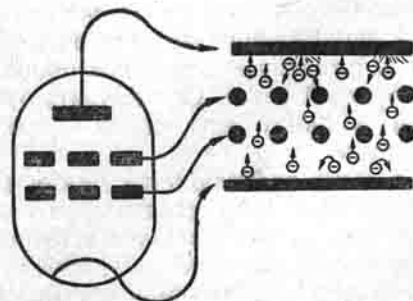


Рис. 4. Электроны, бомбардирующие анод, выбивают из него вторичные электроны.

анода, приобретают известную скорость и вследствие этого могут отлетать на некоторое расстояние от анода.

Находясь в пространстве между анодом и экранирующей сеткой, электрон будет испытывать притяжение к тому из этих электродов, напряжение которого выше. Поэтому если напряжение на экранирующей сетке будет выше, чем напряжение на аноде, то вторичные электроны будут притягиваться экранирующей сеткой. Но летящие электроны представляют собой электрический ток. Если выбитые из анода вторичные электроны летят к экранирующей сетке, то в пространстве между анодом и этой сеткой установится ток, направление которого обратно направлению основного анодного тока, вследствие чего величина общего анодного тока уменьшается.

Это явление и называют динаatronным эффектом. Оно приводит к сильным искажениям и значительно ограничивает возможность использования усилительных свойств лампы.

Динаatronный эффект, как указывалось, возникает тогда, когда напряжение на аноде ниже напряжения на экранирующей сетке. При работе лампы это может иметь место. Хотя на экранирующую сетку обычно подается несколько меньшее постоянное напряжение, чем на анод, мгновенное значение напряжения на аноде в некоторые моменты работы лампы может оказаться ниже, чем напряжение на экранирующей сетке. В самом деле, переменное напряжение на управляющей сетке вызывает на резисторе в анодной цепи лампы значительно большее переменное напряжение. Это переменное напряжение во время своего отрицательного полупериода уменьшает величину анодного напряжения. Поэтому при сильных колебаниях напряжение на аноде в некоторой части периода может оказаться ниже напряжения на экранирующей сетке, что приводит к возникновению динаatronного эффекта. Экранированные лампы могут хорошо работать при условии, что к их управляющей сетке подводятся небольшие напряжения.

Пентод. Способ устранения неприятных последствий динаatronного эффекта очевиден: надо не пускать вторичные электроны приближаться к экранирующей сетке. Осуществить это можно введением в лампу еще одной — третьей по счету — сетки.

Третья сетка располагается между анодом и экранирующей сеткой и соединяется с катодом. Поскольку отрицательный полюс источника анодного напряжения соединен с катодом, третья сетка оказывается заряженной отрицательно относительно анода. Поэтому выбитые из анода вторичные электроны будут отталкиваться этой сеткой обратно к аноду. В то же время, будучи

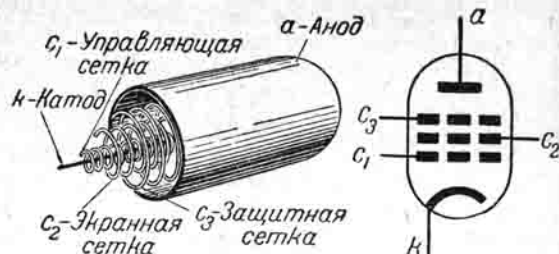


Рис. 5. Устройство пентода и его условное обозначение на схемах.

достаточно редкой, эта сетка не препятствует электронам основного анодного тока лететь к аноду.

Третья сетка защищает лампу от возникновения динаatronного эффекта и поэтому называется *защитной*, или *противодинаatronной*. Иногда ее называют *пентодной сеткой*. Происхождение этого названия следующее. Лампы с тремя сетками имеют всего пять электродов (катод, анод и три сетки); такие лампы называют пентодами (от греческого слова «пента» — пять) (рис. 5).

Соединение защитной сетки с катодом часто производится внутри лампы, и эта сетка, таким образом, не имеет самостоятельного вывода из баллона. В лампах некоторых типов защитная сетка имеет вывод наружу и ее соединение с катодом осуществляется вне баллона путем соединения соответствующих гнезд ламповой панели.

Защитная сетка, находясь между управляющей сеткой и анодом, как и экранирующая сетка, служит экраном между ними и способствует еще большему уменьшению емкости между этими электродами. Поэтому емкость между анодом и управляющей сеткой у пентодов еще меньше, чем у тетродов.

Защитная сетка, как и экранирующая, ослабляет действие анода на поток электронов по сравнению с действием управляющей сетки, поэтому коэффициент усиления пентодов больше, чем коэффициент усиления тетродов.

У современных высокочастотных пентодов коэффициент усиления доходит до нескольких тысяч (у триодов же, как мы видели, он не бывает больше 100), а емкость управляющая сетка — анод измеряется тысячными долями пикофарды (у триодов — несколько пикофард).

Благодаря большому коэффициенту усиления и малой междуэлектродной емкости пентод является прекрасной лампой для усиления колебаний высокой частоты. Но пентоды с большим успехом применяются и для усиления низкой (звуковой) частоты, в частности в оконечных каскадах.

Конструктивно низкочастотные пентоды несколько отличаются от высокочастотных. Для усиления низкой частоты не нужны слишком большие коэффициенты усиления, но зато необходимо иметь большой прямолинейный участок характеристики, потому что усиливать придется большие напряжения. Для этого у низкочастотных пентодов делают сравнительно редкие экранирующие сетки. При этом коэффициент усиления не получается очень большим (в десятки раз меньше, чем у высокочастотных пентодов), а вся характеристика сдвигается влево, поэтому большой ее участок становится пригодным для использования.

Низкочастотные пентоды в оконечных каскадах должны отдавать большую мощность; для этого требуются большие колебания анодного тока. Поэтому катод низкочастотного пентода должен давать большую эмиссию, для чего его поверхность приходится увеличивать. Увеличивать приходится и аноды. При большом анодном токе аноды подвергаются сильной электронной бомбардировке, что приводит к их значительному нагреванию, так как на аноде выделяется или, как говорят, рассеивается большая мощность. Эта мощность тем больше, чем больше электронов в потоке и чем выше их скорость, т. е., иначе говоря, чем больше анодный ток и выше анодное напряжение. Тонкие, небольшие по размерам аноды при сильном анодном токе могут раскалиться и даже расплавиться. Чтобы этого не произошло, аноды низкочастотных ламп делают большими и массивными; их часто чернят, так как черные тела лучше излучают тепло и, следовательно, лучше самоохлаждаются; к ано-

дам приваривают специальные охлаждающие ребра.

Удается конструировать мощные низкочастотные лампы и без защитных сеток. Витки экранирующих сеток в таких тетрадах располагают точно за витками управляющих сеток. При подобном устройстве сеток электроны, летящие к аноду, будут в гораздо меньших количествах попадать на витки экранирующей сетки, заслоненной витками управляющей сетки. Электронный поток при этом рассеивается на отдельные пучки или лучи. Формированию лучей способствуют специальные пластины — экраны, соединенные с катодом и ограничивающие электронный поток с боков. Расслаивание электронного потока в таких тетрадах на отдельные лучи и дало основание назвать их лучевыми тетрадами. При такой конструкции лампы удается устранить динаatronный эффект, отсюда анод на точно рассчитанное расстояние от катода и других сеток. Благодаря этому выбитые из анода вторичные электроны не могут долететь до экранирующей сетки и притягиваются обратно анодом, не нарушая работы лампы.

У лучевых ламп удается создать очень выгодную форму характеристики, позволяющую получить большую выходную мощность при небольшом напряжении сигнала на сетке.

Высокочастотные и низкочастотные пентоды, а также лучевые тетроды чрезвычайно широко распространены. Наиболее известными высокочастотными пентодами являются 6К7, 6Ж4, 1К1П, 1К2П, 6К4П; из низкочастотных пентодов — 6П9, 6П14П, а из лучевых тетродов — 2П1П, 2П2П, 6ПЗС, 6П6С, 6П1П.

КОМБИНИРОВАННЫЕ ЛАМПЫ ¹

Электронная лампа является довольно дорогим прибором, имеющим к тому же сравнительно ограниченный срок службы, в среднем составляющий около 1000 ч. Поэтому естественно стремление по возможности уменьшить число ламп в радиоприемниках и вообще в любого рода аппаратуре, в которой применяются электронные лампы.

Добиться такого уменьшения числа ламп можно разными способами. К ним надо причислить, например, улучшение параметров ламп и их усилительных свойств, что позволяет применять одну высококачественную лампу там, где раньше должны были работать две-три лампы менее высокого качества. Другим способом, ведущим к той же цели, является объединение

в одном баллоне двух или нескольких ламп, служащих для выполнения одинаковых или различных функций.

Примером выполнения различных задач отдельными частями лампы отчасти могут служить гептоды и гексоды. Одна часть такой лампы служит для генерирования, а другая — для смешивания частот.

Лампы такого рода называют многоэлектродными. В них общий электронный поток находится под действием нескольких электродов, как бы последовательно проходит через обе части лампы. В отличие от них комбинированными лампами называют такие лампы, в которых для работы отдельных частей лампы используются раздельные электронные потоки, создаваемые одним общим катодом, либо раздельные катоды, имеющие самостоятельные выводы, но нагреваемые одной общей нитью накала.

¹ Левитин Е. А. и Левитин Л. Е., Электронные лампы, изд-во «Энергия», 1964.

нается с цифры 1, составляет 1,2 в, а лампы, первая цифра в названии которых 6, имеют напряжение накала 6,3 в.

Второй элемент в наименовании лампы — буква, характеризующая тип лампы:

- А — гептод;
- Б — пентод с одним или двумя диодами;
- Д — диод (детекторный);
- Х — двойной диод (детекторный);
- Ц — кенотрон (диод или двойной диод, предназначенный для выпрямителей);
- С — триод;
- Э — тетрод;
- К — пентод с удлиненной характеристикой;
- Ж — пентод с короткой характеристикой;
- П — выходной пентод или лучевой тетрод;
- Е — электронно-световой индикатор настройки;
- Г — триод с одним или двумя диодами;
- Н — двойной триод;
- Ф — триод-пентод;
- И — триод-гексод или триод-гептод.

Третий элемент — цифра, обозначающая порядковый номер типа прибора, позволяет различать разные типы ламп с одинаковым количеством электродов. Например, лампы 6Н8С, 6Н9С и 6Н2П — все это различные типы двойных триодов.

Последняя буква (четвертый элемент) в названии лампы характеризует ее конструктивное выполнение.

- П — пальчиковая, т. е. цельностеклянная лампа со штырьками, выходящими непосредственно из стеклянного дна;
- С — лампа в стеклянном баллоне с восьмиштырьковым цоколем;
- Ж — лампа типа «желудь»;
- Б — сверхминиатюрная лампа при диаметре баллона 10 мм;
- А — то же при диаметре баллона 6 мм.

Лампы в металлическом баллоне не имеют буквы в конце условного обозначения, т. е. оно состоит только из трех элементов. Например, 6К7 — пентод с удлиненной характеристикой, напряжение накала 6,3 в, седьмой тип, баллон металлический.

Приведем еще примеры условных обозначений:

- 6П14П — пентод выходной с напряжением накала 6,3 в, пальчиковый;
- 6СЗБ — триод с напряжением накала 6,3 в, сверхминиатюрный в баллоне диаметром 10 мм;
- 1А1П — частотно-преобразовательная лампа с двумя управляющими сетками, напряжение накала 1,2 в, первый тип, пальчиковая.

РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЛАМП ¹

Начинающим изучать радиотехнику иногда трудно выработать четкое представление о режимах работы лампы в усилителях. Что такое режим АВ₂ и чем он отличается от режима В₂? Какой режим усиления наиболее выгоден в выходных каскадах? А в каскадах предварительного усиления — в усилителях напряжения?

Отчего возникают нелинейные искажения и в каком режиме они будут наименьшими? Что такое отсечка тока?

На эти и другие вопросы, относящиеся к затрагиваемой теме, в упрощенном виде отвечают помещаемые ниже рисунки с подписями. Они помогут запомнить то, что очень часто забывается вскоре после прохождения материала в радиокружках и при самостоятельном ознакомлении с радиотехникой.

Анодно-сеточная характеристика лампы, как мы уже знаем ², выражает зависимость анодного тока I_a от напряжения на сетке U_c при неизменном постоянном напряжении U_a на аноде. Имея такую характеристику (рис. 1), можно опреде-

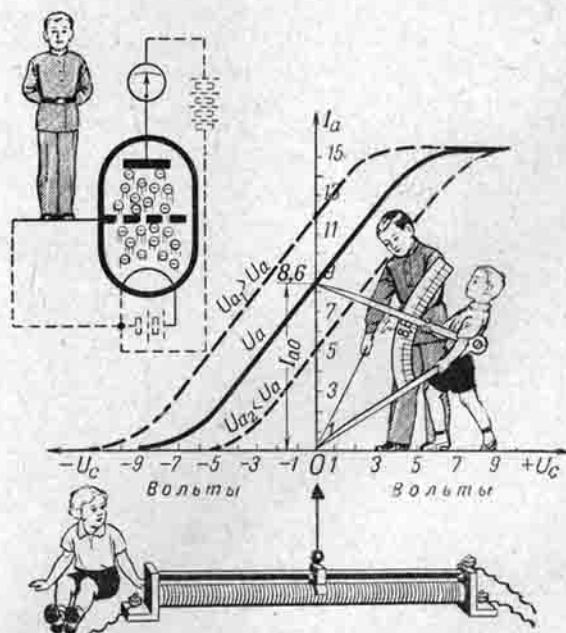


Рис. 1. Отсчет анодного тока по характеристике лампы.

¹ Бажанов С. А., Как работает радиолампа, Госэнергоиздат, 1947 (Массовая радиобиблиотека). Новая редакция.

² См. раздел «Триоды» на стр. 86.

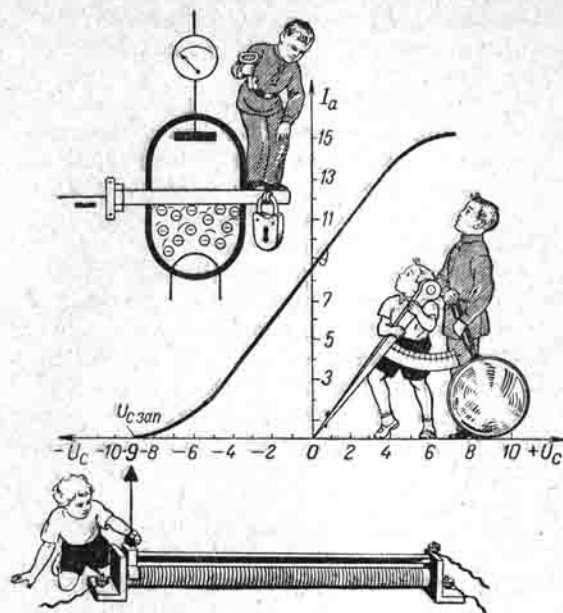


Рис. 2. Лампа «заперта».

лить, чему равен анодный ток при любом напряжении на сетке; при $U_c = 0$, например, $I_a = I_{a0} = 8,6 \text{ ма}$. Для меньших анодных напряжений характеристика располагается правее, а для больших — левее рассмотренной нами характеристики, обозначенной на рис. 1 сплошной жирной линией.

Сделаем отрицательное напряжение на сетке настолько большим, чтобы сетка отталкивала от себя все электроны обратно к катоду, совершенно не пропуская их к аноду. Поток электронов обрывается, анодный ток делается равным нулю. Лампа «запирается» (рис. 2). Напряжение на сетке, при котором происходит «запирание»

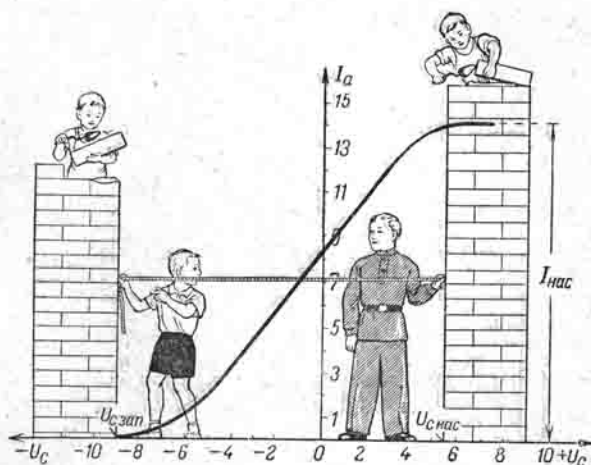


Рис. 3. Пределы изменений анодного тока при заданном напряжении на аноде.

лампы, называется **напряжением запираания** (обозначено $U_{c, \text{зап}}$).

Для взятой нами характеристики $U_{c, \text{зап}} = -9 \text{ в}$. «Отпереть» лампу можно уменьшением отрицательного напряжения на сетке или же увеличением анодного напряжения.

Установив постоянное напряжение на аноде, можно менять анодный ток I_a от нуля ($I_a = 0$) до максимума ($I_a = I_{\text{нас}}$) изменением напряжения на сетке в пределах от $U_{c, \text{зап}}$ до $U_{c, \text{нас}}$ (рис. 3). Воздействие сеточного напряжения на поток электронов — исключительно удобная возможность управления величиной анодного тока, в особенности если учесть, что это воздействие осуществляется почти мгновенно, с очень малой инерцией.

Будем непрерывно менять напряжение на сетке, делая его то положительным, то отрицательным. С этой целью подведем к сетке переменное напряжение с амплитудой $U_{\text{мс1}}$, называемое **напряжением возбуждения лампы**. График этого напряжения (синусоида) нанесен на оси времени t , идущей вниз от нуля (рис. 4). Анодный ток будет **пульсировать** — периодически увеличиваться и уменьшаться — с частотой, равной частоте изменения напряжения возбуждения. График пульсации анодного тока, повторяющий по своей форме график напряжения возбуждения, нанесен вдоль горизонтальной оси времени t вправо от характеристики. Чем больше величина $U_{\text{мс}}$, тем в больших пределах изменяется анодный ток (сравните на рис. 4

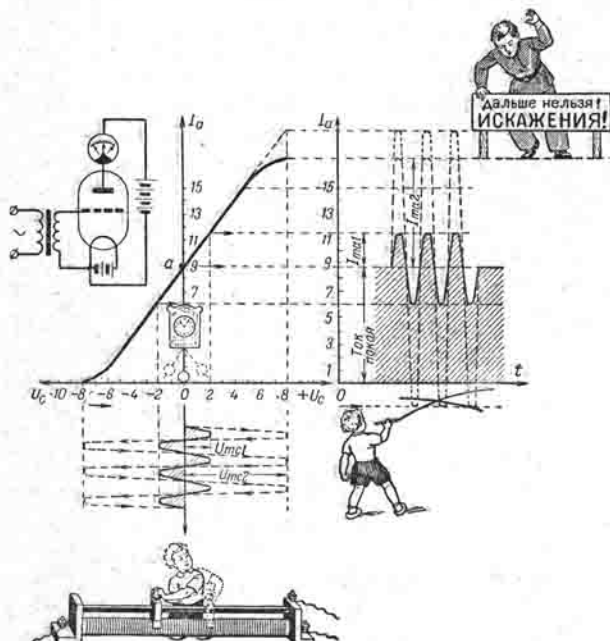


Рис. 4. Переменное напряжение на сетке создает пульсации анодного тока.

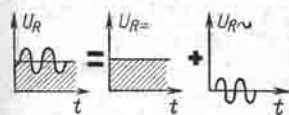
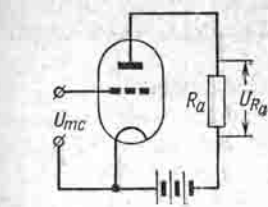


Рис. 5. Одноламповая схема усиления.

падение напряжения U_{Ra} , пульсирующее с частотой напряжения возбуждения и повторяющее все изменения тока. Пульсирующее напряжение состоит из двух составляющих: постоянного напряжения U_R и переменного напряжения U_R с амплитудой U_{ma} . При правильно выбранном сопротивлении резистора R_a амплитуда переменной составляющей напряжения U_{ma} оказывается больше U_{mc} , т. е. осуществляется усиление переменного напряжения. Отношение U_{ma} к U_{mc} называется коэффициентом усиления схемы.

Если усиление, даваемое одной лампой, недостаточно, то усиленное первой лампой напряжение подают ко второй лампе, а от второй — к третьей и т. д. Так осуществляется усиление каскадами. На рис. 6 приведена упрощенная схема трехлампового усилителя.

На рис. 7 показана такая же характеристика лампы, как и на рис. 4, только без верхнего и нижнего плавных изгибов. Это — идеализированная характеристика. Сравните рис. 4 и 7 и Вы увидите, к чему приводит наличие изгибов на реальной характеристике. Они вызывают в анодной цепи искажения формы кривой усиленных колебаний, а эти искажения недопустимы, в особенности когда

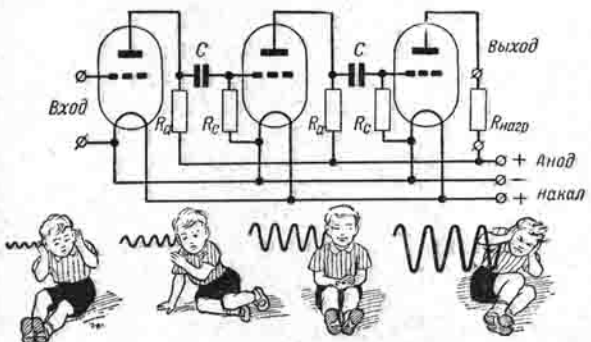


Рис. 6. Упрощенная схема трехлампового усилителя с емкостными межкаскадными связями.

U_{mc1} и I_{ma1} с U_{mc2} и I_{ma2}). Точка a на характеристике, соответствующая среднему (нулевому) значению напряжения на сетке и величине тока покоя в анодной цепи, называется *рабочей точкой*.

Что произойдет, если в анодную цепь лампы (рис. 5) включить резистор R_a ? Через него будет проходить анодный ток I_a , вследствие чего на нем получится

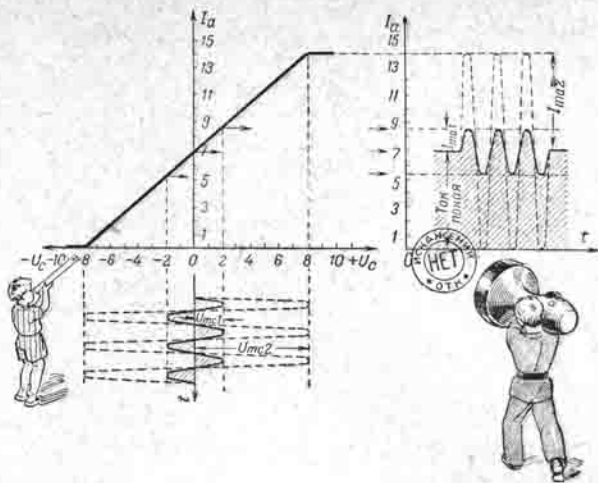


Рис. 7. Характеристика лампы, работающей без искажений.

они большие. Громкоговоритель, присоединенный к усилителю, работающему с искажениями, воспроизводит хриплые звуки, речь становится неразборчивой, пение — неестественным и т. п. Такие искажения, обусловленные криволинейностью или, как принято говорить нелинейностью ламповой характеристики, называют *нелинейными*. Их не будет, если характеристика строго линейна: здесь график колебаний анодного тока в точности повторяет график колебаний напряжения на сетке.

Характеристики большинства усилительных ламп в своей средней части прямолинейны. Напрашивается вывод: использовать не всю характеристику лампы вместе с изгибами, а только ее прямолинейный средний участок (рис. 8). Это избавит усиление от нелинейных искажений. Чтобы это осуществить, напряжение на сетке не должно превышать в сторону отрицательных значений — U_{c1} , а в сторону положительных значений — U_{c2} . Величина анодного

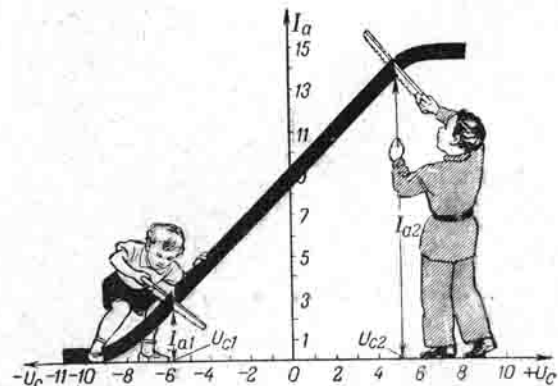


Рис. 8. Как устранить искажения, возникающие вследствие наличия изгибов характеристики.

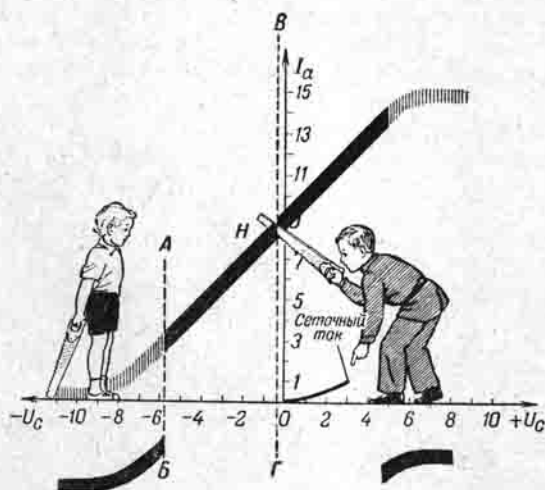
The diagrams illustrate the operation of a vacuum tube in Class A mode:

- Schematic:** Shows a vacuum tube with a heater, a grid, and an anode. The grid is connected to a negative voltage $U_{сг}$ and the anode to a positive voltage $U_{аг}$. A load resistor $R_{нагр}$ is connected between the anode and the positive supply.
- Graph 1 (Left):** A plot of anode current I_a versus grid voltage $U_{гг}$. The curve shows that as $U_{гг}$ increases from -10 V to $+6$ V, I_a increases from 0 to approximately 14 mA. A point M is marked on the curve at $U_{гг} \approx -6$ V and $I_a \approx 2$ mA. A sign hanging from the curve reads "РЕЖИМ А" (Mode A). A boy is shown holding the sign.
- Graph 2 (Right):** A plot of anode current I_a versus anode voltage $U_{аг}$. The curve shows that as $U_{аг}$ increases from 0 to 15 V, I_a increases from 0 to approximately 14 mA. A point N is marked on the curve at $U_{аг} \approx 10$ V and $I_a \approx 8$ mA. A boy is shown holding a sign that reads "РЕЖИМ А".
- Staircase Diagram:** A diagram showing the grid voltage $U_{гг}$ as a series of pulses. The pulses have a peak-to-peak amplitude of $U_{сг}$ and a period of $2 T_{имп}$. The pulses are labeled "СВЯЩЕНИЕ" (Pulse).
- Reflection Diagram:** A diagram showing a person looking at their reflection in a mirror, illustrating the concept of a signal being reflected or delayed.

К сожалению, указанной выше причиной нелинейных искажений дело не ограничивается. В моменты, когда сетка заряжена положительно, она притягивает к себе электроны, отнимая некоторое их количество от общего потока, направленного к аноду. Благодаря этому в цепи сетки возникает сеточный ток. Этот ток, проходя через внутреннее сопротивление того источника переменного напряжения, которое подается на сетку, создает на этом сопротивлении падение напряжения.

левее линии AB — изгиб характеристики. Остается только небольшой участок характеристик, при использовании которого можно полностью избавиться от искажений в лампе; к. п. д. при этом становится еще меньше.

Среди других режимов низкочастотного усиления режим А — самый неэкономичный: при нем только в отдельных случаях к. п. д. достигает 30—35%, а вообще он бывает 15—20%. Но этот режим — самый «чистый» режим, с наименьшими искажениями. Его применяют главным образом при световом питании в маломощных усилительных каскадах (до 2—3 Вт), где к. п. д. не имеет особо важного значения. Пренебрегая внесением незначительных нелинейных искажений, необнаруживаемых при прослушивании зву-



— 100 —

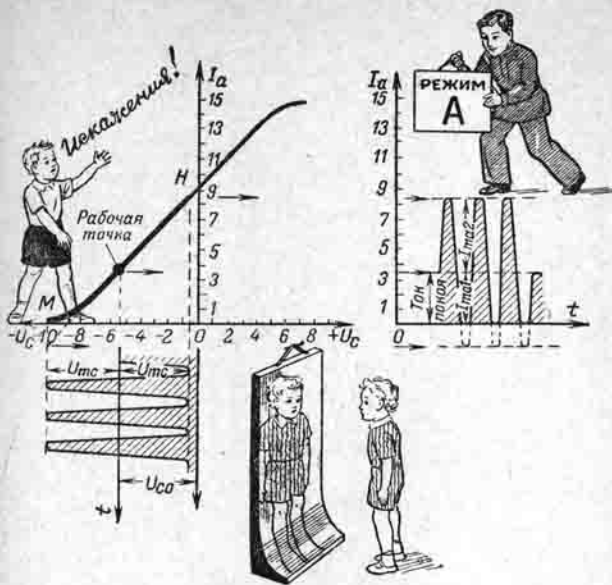


Рис. 11. Работа лампы в режиме А с использованием нижнего изгиба характеристики.

ковой программы, можно включить и нижний изгиб в рабочий участок MN характеристики (рис. 11). Такой режим лампы еще сохраняет название режима А.

В учебниках встречается такое определение усиления режима А: это режим, при котором лампа работает без отсечки анодного тока. На рис. 12 показано, что такое *отсечка*. Амплитуда напряжения возбуждения U_{mc} настолько велика, что в течение некоторой части периода изменения этого напряжения лампа «запирается» — ток через лампу прекращается. Нижние части синусоиды пульсаций анодного тока не воспроизводятся и как бы отсекаются — отсюда и название «отсечка». Отсечка может быть не только снизу, но и сверху («верхняя отсечка», см. рис. 17), когда наибольшее значение анодного тока должно было бы превысить ток насыщения лампы.

Широкое распространение получила двухтактная схема усилителя, работающего в режиме А. В этой схеме использованы две одинаковые лампы. Напряжение возбуждения подается так, что когда одна сетка заряжается положительно, другая заряжается отрицательно. Благодаря этому возрастание анодного тока одной лампы сопровождается одновременным уменьшением тока другой лампы. Это гораздо легче представить себе, если одну характеристику расположить в перевернутом виде под другой: сразу становится понятным, как напряжение («раскачка») действует на токи в лампах (рис. 13). В результате переменные напряжения, возникающие на двух половинках первичной обмотки

трансформатора, включенные в анодные цепи ламп, складываются и на всей обмотке получается результирующее переменное напряжение удвоенной величины, т. е. $U_{ma} = U_{ma1} + U_{ma2}$.

Двухтактная схема работает с меньшими нелинейными искажениями, чем однотактная.

Рассмотрим теперь такой случай: на сетку лампы подано напряжение смещения $U_{c0} = U_{c, \text{зап}}$. Тем самым рабочая точка смещена на самый низ характеристики. Лампа «заперта», ее анодный ток равен нулю. Если к лампе подвести напряжение возбуждения с амплитудой U_{mc} , то в анодной цепи появятся импульсы тока в виде «половинок периодов» с максимальным значением $I_{a, \text{макс}}$. Иначе говоря, кривая усиленных колебаний исказится до неузнаваемости: срежется вся ее нижняя половина (рис. 14). Такой режим может показаться совершенно непригодным для низкочастотного усиления: слишком уж велики искажения. Но подождем делать вывод о непригодности.

Возьмем не одну лампу, а две и заставим их работать попеременно: одну — от одного полу- периода напряжения возбуждения, а другую — от другого, следующего за первым. Каждая лампа в отдельности будет воспроизводить свою половину кривой, а совместным их действием будет воспроизведена полностью вся кривая. Но как для этого соединить лампы?

По двухтактной схеме, изображенной на рис. 13, только на сетку каждой из ламп в этой схеме придется подать напряжение смещения $U_{c0} = U_{c, \text{зап}}$. Пока напряжение возбуждения не подается, обе лампы «заперты» и их анодные токи равны нулю. Но вот подано напряжение возбуждения, и лампы поочередно начинают «отпираться» и «запираться», работая импульсами, толчками (см. левую часть рис. 15).

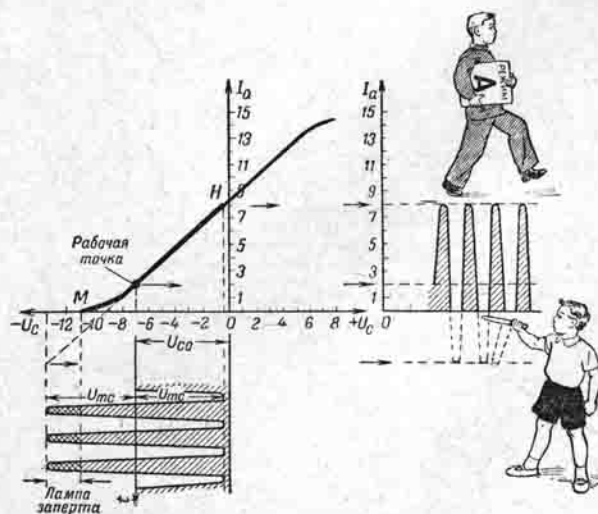


Рис. 12. Лампа работает с отсечкой анодного тока.

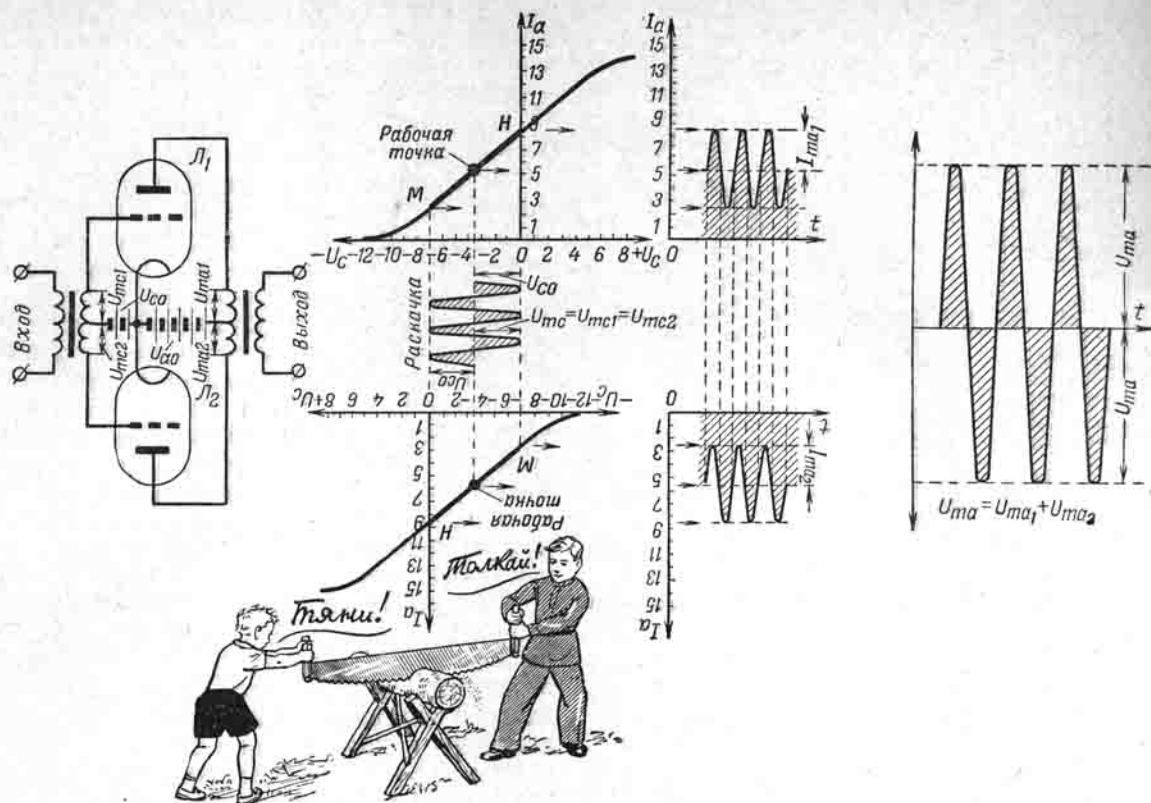


Рис. 13. Как работает двухтактная схема.

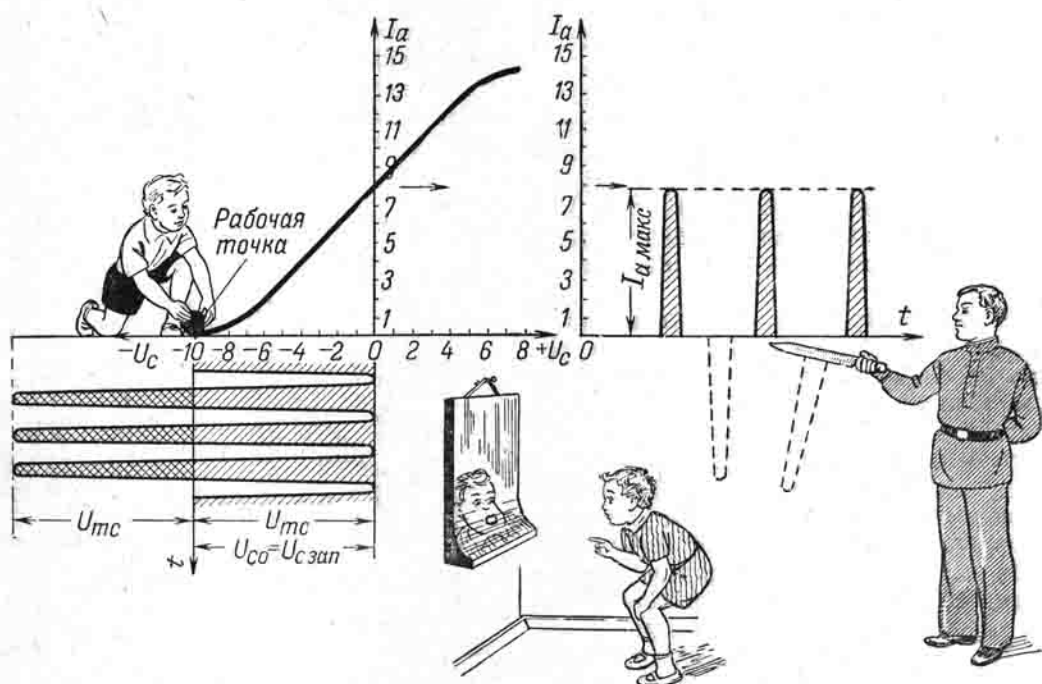


Рис. 14. Работа лампы, когда рабочая точка сдвинута к началу характеристики.

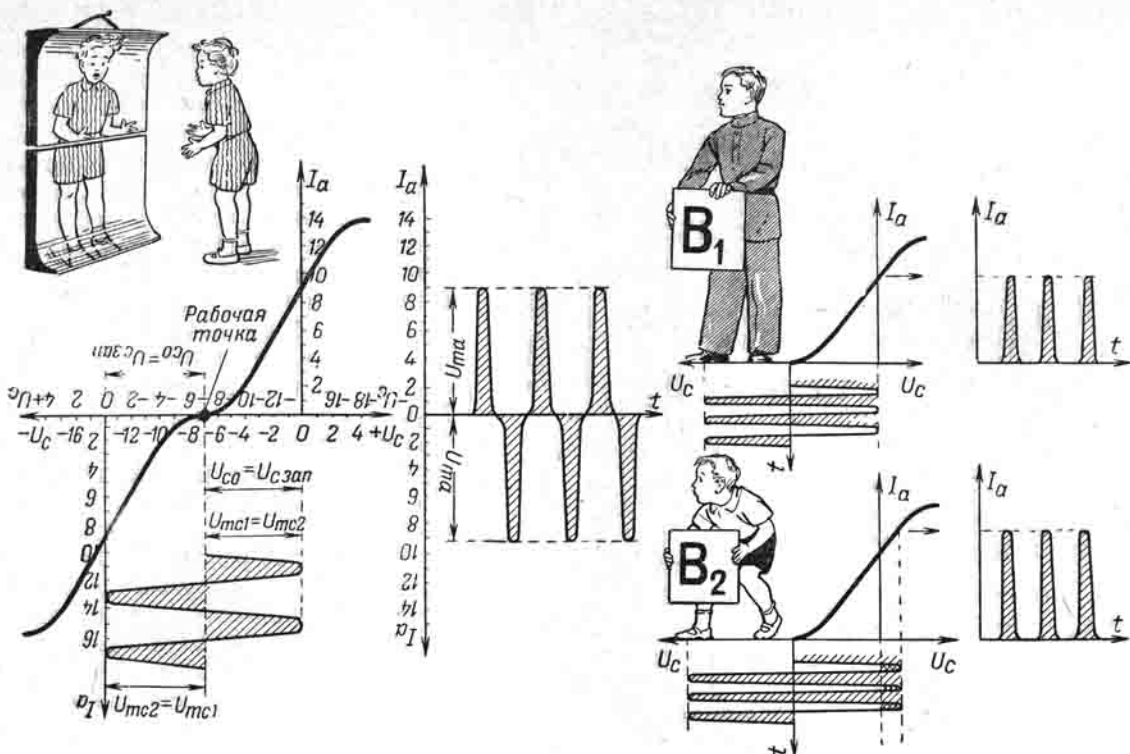


Рис. 15. Работа двухтактной схемы в режимах B_1 и B_2 .

Такой режим усиления, применяемый только для двухтактных схем, получил название режима B .

Если характеристики ламп совершенно прямолинейны, лампы в точности одинаковы и отсечки у каждой из них выбраны правильно, то искажений не будет.

Но в реальном режиме B неизбежны нелинейные искажения из-за нижних изгибов характеристик. Это заставляет во многих случаях отказываться от использования режима B , вообще наиболее экономичного из всех режимов низкочастотного усиления.

Какой же режим может быть рекомендован для усилителей низкой частоты?

Режим A , как мы теперь знаем, мало экономичен и его применение в мощных усилителях не всегда оправдывается. Он хорош только для мало-

мощных каскадов. Случаи использования режима B также ограничены.

Но есть режим, занимающий промежуточное положение между режимами A и B ; это режим AB .

Если в процессе усиления получается заход в область сеточных токов, то к обозначению режима прибавляется индекс 2, если же работа производится без токов

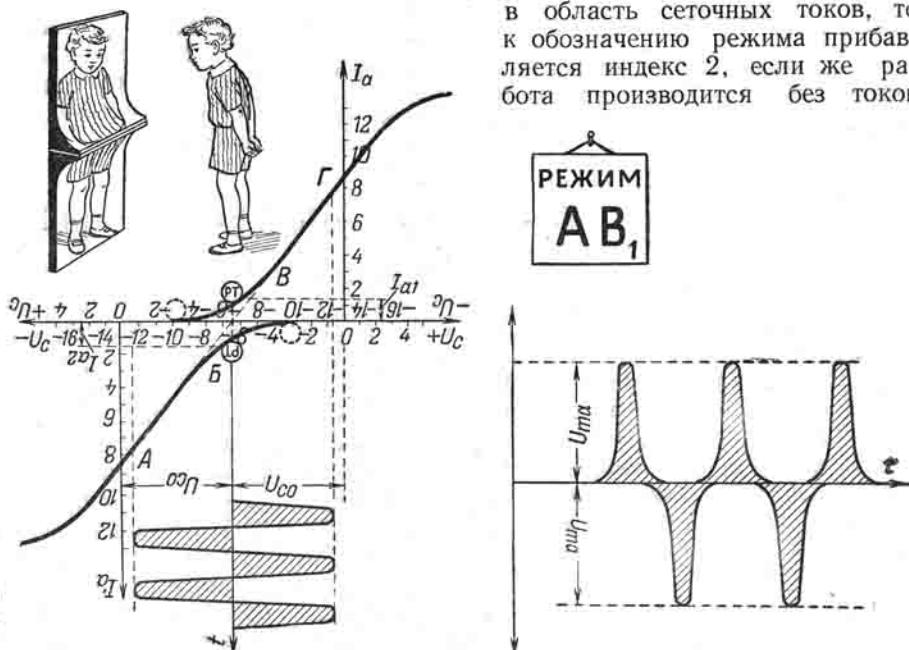


Рис. 16. Работа двухтактной схемы в режиме AB_1 .

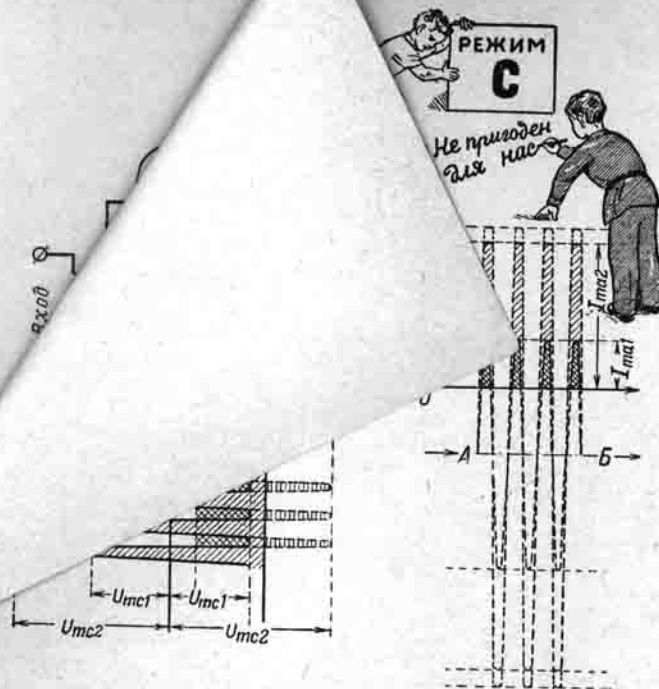


Рис. 17. Работа лампы в режиме С.

сетки — индекс 1. Так различают режимы B_1 , B_2 , AB_1 и AB_2 . В этих режимах AB_1 и AB_2 , как и в режимах B_1 и B_2 , лампы работают с отсечкой анодного тока, но рабочая точка на характеристике находится правее и выше, чем в режимах B_1 . В моменты пауз токи через лампы не прекращаются, хотя они и невелики (I_{a1} и I_{a2}). Поло-

¹ В режимах АВ отсечка имеет место при больших амплитудах напряжения возбуждения; при слабых сигналах, когда амплитуды напряжения возбуждения малы, лампы работают без отсечки тока. (Прим. ред.)

ЛАМПЫ С ХОЛОДНЫМ КАТОДОМ ¹

Все рассмотренные выше электронные лампы имеют катоды, разогреваемые током от внешнего источника. Однако существует большая группа ламп, наполненных газом, в которых ни один электрод не разогревается, а свободные электроны существуют и «работают». Такие лампы называют *лампами с холодным катодом* (или, иначе, лампами с холодным или тлеющим разрядом). Они обладают большой экономичностью.

Какие же физические процессы происходят в газонаполненных приборах?

¹ Левитин Е. А. и Левитин Л. Е., Электронные лампы, изд-во «Энергия», 1964 (Массовая радиобиблиотека).

жение рабочей точки PT (рис. 16) определяется таким условием: результирующая характеристика $ABBG$ ламп, работающих в двухтактной схеме (для однотактных схем режим AB вообще непригоден), должна быть как можно прямолинейнее. В то же время токи I_{a1} и I_{a2} желательно иметь малыми, поскольку их величина в значительной степени определяет к. п. д. Этим условиям удовлетворяет положение рабочей точки PT , указанное на рис. 16. Режим AB_2 более экономичен, чем режим AB_1 (к. п. д. в режиме AB_2 достигает 65%, тогда как в режиме AB_1 — лишь 50%); он применяется в каскадах большой мощности (более 100 вт). В каскадах мощностью до 100 вт рекомендуется применять режим AB_1 . Искажения в режиме AB_2 заметно больше, чем в режиме AB_1 .

Известен еще режим С. Он характерен тем, что на сетку лампы подается отрицательное напряжение смещения $U_{c0} > U_{c, зап.}$. В моменты пауз лампа «заперта»; она «отпирается» только для того, чтобы пропустить кратковременный импульс тока, длящийся менее половины периода. Обычно U_{mc} по абсолютному значению больше U_{c0} , вследствие чего осуществляется заход в область сеточных токов и даже имеет место верхняя отсечка (как показано на рис. 17 для U_{mc2}). Искажения в режиме С настолько велики, что этот режим непригоден для низкочастотного усиления. Но он наиболее экономичный из всех режимов вообще (к. п. д. доходит до 75—80%) и поэтому применяется для усиления высокочастотных колебаний в радиопередающих устройствах, где нелинейные искажения не имеют такого значения, как при низкочастотном усилении.

Представим себе стеклянный баллон с двумя электродами, в котором создан обычный для радиоламп вакуум, а затем в него введено небольшое количество газа (аргон, неон, водород). Если к электродам присоединить источник тока, то при некоторой разности потенциалов между ними непроводящий газовый промежуток может резко изменить свои свойства и стать хорошим проводником: произойдет так называемый холодный электрический разряд. При этом газовый промежуток освещается характерным цветом (например, аргон — мертвенно-синим, неон — оранжево-красным и т. п.). Из-за этого светового эффекта, сопутствующего разряду, напряжение, при котором он начинается, называют *потенци-*

Мостовая схема имеет перед другими схемами выпрямления ряд преимуществ, главными из которых являются возможность применения трансформатора меньших размеров без вывода средней точки вторичной обмотки. К выпрями-

телю по схеме на рис. 5 или 6 при его практическом использовании для питания радиоаппаратуры подключают такой же сглаживающий фильтр, как и в схеме на рис. 4.

СКОЛЬКО ВОЛЬТ В ЭЛЕКТРОСЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ¹

Странный вопрос! — может сказать читатель. Всем известно, сколько: 127 или 220 в.

Так ли это?

Мы с вами собрали выпрямитель по самой простой схеме; она показана на рис. 1. В схеме нет трансформатора, нет никакого повышения напряжения. Поэтому, казалось бы, можно ожидать, что при включении выпрямителя в 127-вольтовую сеть напряжение на выходе выпрямителя, работающего без нагрузки, будет 127 в.

Берем высокоомный вольтметр постоянного тока и присоединяем его к конденсатору. Вольтметр показывает 179 в!

Откуда взялись эти 179 в? Может быть, в сети случайное перенапряжение? Ведь бывает иногда, что осветительные лампочки горят чрезмерно ярко, с явным перекалом. Попробуем для проверки осторожно включить в сеть 127-вольтовую электроплитку (рис. 2).

Спираль плитки светится нормально оранжево-красным накалом. Судя по этому, в сети нормальное напряжение. Откуда же взялось повышенное напряжение на выходе выпрямителя?

Соберем теперь схему мостика из четырех полупроводниковых диодов и присоединим к ней высокоомный вольтметр, как показано на рис. 3. Тщательно проверив схему, включаем ее в сеть. Получаем новую цифру 114 в!

Это становится занимательным. Что ни замер, то новая величина. Испытаем еще одну схему. Мы только что производили измерение, поль-

зуясь двухполупериодной схемой (рис. 3); соберем теперь схему выпрямителя с одним полупроводниковым диодом, но без конденсатора (рис. 4).

Собрали, проверили, включили ... 57 в! Стрелка вольтметра не желает двигаться дальше, но наша плитка продолжает накаливаться нормально; включенная для проверки лампа тоже горит с обычной яркостью.

Что же нам делать? Попробовать разве включить наш вольтметр прямо в сеть? Его шкала рассчитана на напряжение до 500 в, поэтому ему не страшны ни 127 в, ни даже те подозрительные 179 в, которые получились у нас при первом измерении.

Но вольтметр, включенный в сеть, ... ничего не показывает. Его стрелка стоит на нуле, вернее, «дрожит» около нуля (рис. 5).

Итак, мы получили пять разных результатов: 179 в, 127 в, 114 в, 57 в и ... нуль — дрожащий нуль. И мы с полным правом можем задать себе снова тот же вопрос, с которого мы начали, который казался таким простым и который так неожиданно и странно осложнился.

Сколько же в конце концов вольт в сети?!

Переменный ток. В электросети течет переменный ток. Что же представляет собой этот ток и почему он так называется?

В сети постоянного тока действует все время одно и то же постоянное напряжение. В сети переменного тока, как показывает само название, напряжение непостоянно. Оно непрерывно изменяется. В какие-то моменты времени в сети нет напряжения, оно равно нулю.

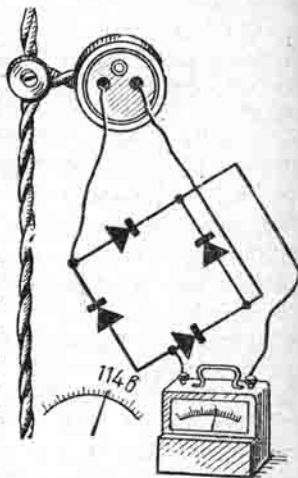


Рис. 3.

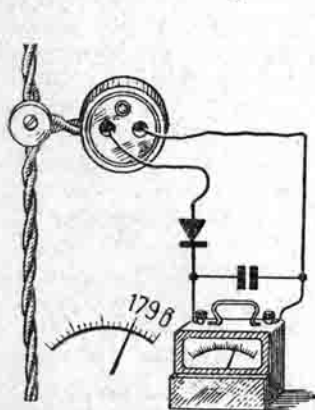


Рис. 1.

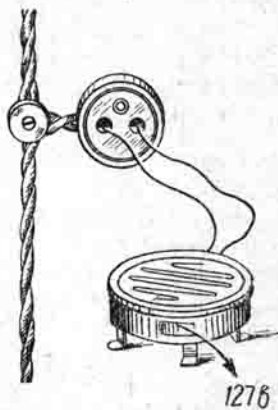


Рис. 2.

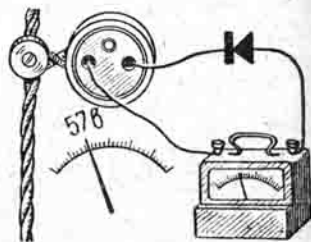


Рис. 4.

¹ Журнал «Радио», 1947, № 1.

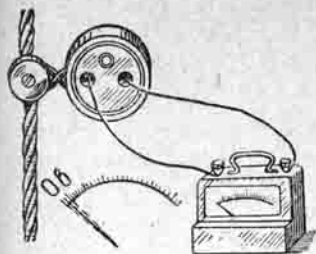


Рис. 5.

В следующий момент напряжение появляется, возрастает, достигает какой-то наибольшей величины, затем, уменьшаясь, падает до нуля, снова возникает, но уже с противоположным знаком, опять доходит до максимума и т. д.

В соответствии с этим изменяется и величина тока в сети. В отдельные моменты в сети нет тока, потом он возникает, достигает максимума, уменьшается, доходит до нуля. После этого снова появляется, но вследствие изменения полярности напряжения сети он течет уже в обратном направлении. Эти изменения величин напряжения и тока происходят по строго определенному закону. Характер изменений тока и напряжения можно изобразить графически кривой, называемой *синусоидой* (рис. 6). Такая именно кривая появляется на экране электронно-лучевой трубки осциллографа при исследовании переменного тока.

Строятся эта кривая так.

По вертикальной оси откладывается величина напряжения u или тока i , а по горизонтали — время t (рис. 6). Каждая точка кривой будет соответствовать определенному значению напряжений или тока в данный момент времени, например t_1 или t_2 . Эти отдельные значения переменного напряжения или тока называются *мгновенными* и обозначаются соответственно u_1 , u_2 (или i_1 , i_2). Наибольшие (максимальные) значения напряжения и тока, которых они достигают дважды в течение полного периода T своего изменения, называются *амплитудными* значениями. Они обозначаются U_m и I_m .

Мы видим, что напряжение и ток в сети все время меняются по величине. Почему же мы все-таки выражаем напряжение сети переменного тока определенной цифрой, говорим, что напряжение сети равно 127 или 220 в?

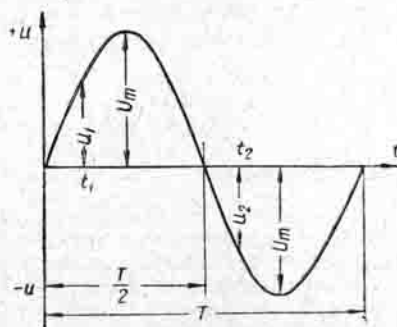


Рис. 6.

И постоянный и переменный токи производят работу, например могут накалывать нить осветительной лампы, спираль электроплитки и т. п. Легко определить работу, которую производит постоянный ток с напряжением, скажем, 127 в. Очевидно, удобно сравнивать работу переменного тока с работой постоянного тока. Значения постоянного напряжения и тока, которые производят такую же работу, действие, как и определенные переменные напряжения и токи, называются *действующими* значениями данного переменного тока.

Величина действующего значения напряжения U переменного тока, конечно, меньше амплитудного значения; она определяется следующим соотношением:

$$U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} = 0,71 U_m.$$

Соответственно с этим действующее значение переменного тока

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,71 I_m.$$

Из этих соотношений мы можем узнать, чему равны амплитудные значения напряжения или тока, если нам известны их действующие значения. Например, амплитудное значение напряжения.

$$U_m = \sqrt{2} U = 1,41 U.$$

Если действующее значение напряжения переменного тока равно 127 в, его амплитудное значение будет равно:

$$U_m = 1,41 \cdot 127 = 179 \text{ в.}$$

Это та самая величина, которую мы получили, измеряя напряжение на выходе выпрямителя в первом случае. Теперь она нам понятна. В моменты амплитудного значения напряжения сети конденсатор, естественно, заряжается до этого напряжения, разрядиться же он не может, так как нагрузки и выпрямителя нет, а диод¹ обладает односторонней проводимостью. Именно это амплитудное значение показывает высокоомный вольтметр, который, потребляя крайне малый ток, не успевает разрядить конденсатор до наступления следующего максимума напряжения.

Обычно мы имеем представление только о действующем напряжении сети. И если бы мы параллельно плитке включили вольтметр переменного тока, то он показал бы именно это значение 127 в.

Но во многих случаях нельзя забывать и об амплитудном его значении. Например, конденсатор, включенный в сеть переменного тока, периодически заряжается до напряжения, рав-

¹ О полупроводниковых диодах см. стр. 115.

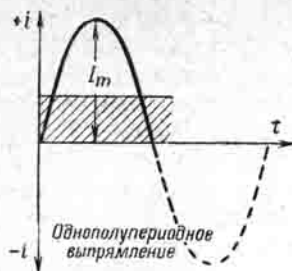


Рис. 7.

Это значение напряжения переменного тока называется *средним*. Оно равноценно постоянному току не по производимой работе, а по количеству электричества, проходящего через поперечное сечение провода за такой же отрезок времени. Для нахождения среднего значения тока нужно построить прямоугольник, равновеликий площади, очерченной синусоидой. Основание его равно полупериоду, а высота представляет собой величину среднего значения тока. Это иллюстрирует рис. 7.

Среднее значение тока или напряжения можно вычислить, исходя из амплитудного или действующего значения.

Среднее значение напряжения (обозначим его U_{cp}) для одного полупериода синусоидального переменного тока равно:

$$U_{cp} = 0,64 U_m \text{ или } U_{cp} = 0,9 U.$$

Отсюда следует, что

$$U_m = 1,57 U_{cp} \text{ и } U = 1,1 U_{cp}.$$

В показанной на рис. 3 схеме выпрямляются оба полупериода переменного тока. Отклонение стрелки магнитоэлектрического прибора пропорционально среднему значению тока или напряжения. По только что приведенным формулам нетрудно подсчитать, что среднее значение напряжения в 127-вольтной сети и будет равно 114 в.

Можно спросить: почему же в нашем первом случае вольтметр показал большее напряжение — 179 в? Это объясняется только тем, что у выпрямителя, изображенного на рис. 1, на выходе имеется конденсатор, который заря-

жается до амплитудного значения, а в схеме на рис. 3 конденсатора нет.

Схема на рис. 4 отличается от схемы на рис. 3 тем, что в ней выпрямляется один полупериод (рис. 7), а не два. Поэтому через прибор проходит вдвое меньший ток, чем при двухполупериодном выпрямлении, (рис. 8) и показание прибора получается вдвое меньшим, равным 57 в.

Если, наконец, прибор постоянного тока включить в сеть переменного тока (рис. 5), то он ничего не покажет. В этом случае его стрелка должна бы в такт с изменениями направления переменного тока отклоняться то в одну, то в другую сторону, но она не успевает этого делать, так как изменения происходят 100 раз в секунду (50 μ с), и фактически стрелка только дрожит, колеблясь около нуля.

Как же нужно ответить на тот вопрос, который стоит в заголовке статьи: сколько вольт в сети?

Напряжение в сети переменного тока все время изменяется. В отдельные моменты в этой сети вообще нет никакого напряжения. Паяльник будет нагреваться так же, как он нагревается при включении в сеть постоянного тока с напряжением 127 в (действующее значение) и т. д. Поэтому нельзя оценить напряжение только одной цифрой без определения.

Мы должны сказать: действующее напряжение сети 127 в. Можем сказать иначе: амплитудное значение ее напряжения 179 в. Это будет одно и то же. Но так как работа тока определяется его действующим значением, то приборы надо рассчитывать на 127 в и трансформатор приемника, питающегося от этой сети, тоже должен быть включен на 127 в.

Все указанные соотношения различных значений напряжения будут действительны и для сети переменного тока с любым другим напряжением. Например, амплитудное значение напряжения в 220-вольтной сети равно 310 в.

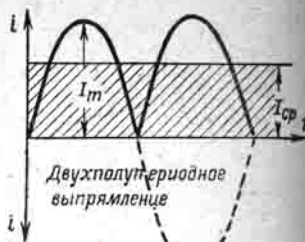


Рис. 8.

ЛИТЕРАТУРА

Глиберман А. Я. и Зайцева А. К., Кремниевые солнечные батареи, Госэнергоиздат, 1961. (Масовая радиобиблиотека).

В брошюре изложены физические принципы работы кремниевых фотопреобразователей солнечной энергии в электрическую, описан ряд конструкций батарей и приведены примеры их применения в различных областях науки и техники.

Книга сельского радиолюбите-

ля, Под общей редакцией В. А. Бурлянда, изд-во ДОСААФ, 1961.

В гл. 15 «Источники питания сельских радиостановок» даны следующие материалы: принципы работы гальванических элементов, типы элементов, соединение элементов в батареи, продление срока службы сухих элементов и батарей, самодельные элементы и батареи, кислотные аккумуляторы, щелочные аккумуляторы, ветрозлектрические и гидроэлектростанции, питание