

Ламповые УНЧ. Секреты схемотехники



Адаменко М. В.

УДК 621.375.2

ББК 32.846

A28

A28 Адаменко М. В.

Ламповые УНЧ. Секреты схемотехники. – М.: ДМК Пресс, 2016. – 392 с.

ISBN 978-5-97060-445-8

В предлагаемой книге рассматриваются особенности конструкции ламповых усилителей низкой частоты.

В первой главе дан краткий обзор истории изобретения и развития электровакуумных приборов, а также приводится краткая информация о принципах действия и особенностях функционирования электронных ламп, конструктивные особенности, отечественная и европейская системы обозначений. Во второй главе изложены основополагающие сведения об особенностях функционирования усилительного каскада на электронной лампе. Рассмотрению основных схемотехнических решений, применяемых при создании любительской и промышленной низкочастотной усилительной аппаратуры, посвящена третья глава. В четвертой главе рассматриваются практические конструкции ламповых усилителей низкой частоты, выполненных на отечественных и зарубежных приемно-усилительных лампах.

При выборе схем ламповых усилителей НЧ, рекомендуемых для повторения, автор особое внимание обращал на соблюдение своеобразной преемственности, т. е. принципа «от простого – к сложному». Приведенные в первых разделах четвертой главы принципиальные схемы простых ламповых УНЧ служат основой для более сложных конструкций, рассматриваемых далее. Таким образом, начинающие радиолюбители, собрав простейший ламповый усилитель, смогут с помощью рекомендованных усовершенствований и дополнений создать высококачественные многоламповые УНЧ.

Книга предназначена для радиолюбителей, интересующихся вопросами конструирования высококачественных ламповых усилителей низкой частоты.

УДК 621.375.2

ББК 32.846

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Материал, изложенный в данной книге, многократно проверен. Но, поскольку вероятность технических ошибок все равно существует, издательство не может гарантировать абсолютную точность и правильность приводимых сведений. В связи с этим издательство не несет ответственности за возможные ошибки, связанные с использованием книги.

ISBN 978-5-97060-445-8

© Адаменко М. В.

© Оформление, ДМК Пресс, 2016

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|------------|
| Содержание | 3 |
| Список сокращений | 7 |
| От автора | 8 |
| Предисловие | 9 |
| <hr/> | |
| Глава 1. Приемно-усилительные радиолампы | 11 |
| 1.1. Принцип действия электронной лампы..... | 13 |
| Движение электронов в двухэлектродной и трехэлектродной лампах | 13 |
| Принцип действия усилительной радиолампы | 19 |
| Классификация, характеристики и параметры электронных ламп | 23 |
| Особенности конструкции радиоламп..... | 25 |
| 1.2. Основные типы приемно-усилительных ламп..... | 33 |
| Диод..... | 34 |
| Триод..... | 39 |
| Тетрод..... | 53 |
| Лучевой тетрод..... | 63 |
| Пентод | 70 |
| Комбинированные лампы..... | 80 |
| 1.3. Системы обозначений ЭВП. Особенности замены приемно-усилительных ламп | 83 |
| Системы обозначений отечественных электронных ламп..... | 83 |
| Зарубежные системы обозначений ЭВП | 91 |
| Особенности замены приемно-усилительных ламп | 99 |
| <hr/> | |
| Глава 2. Электронная лампа в усилителе низкой частоты | 103 |
| 2.1. Усилительный каскад на электронной лампе | 104 |
| Принцип действия усилительного каскада на электронной лампе | 104 |
| Основные способы формирования напряжения смещения | 109 |
| Основные режимы работы ламповых усилителей НЧ | 113 |
| Виды и способы включения нагрузки в ламповых усилительных каскадах | 118 |

| | |
|--|------------|
| 2.2. Искажения в ламповом усилителе НЧ..... | 126 |
| Нелинейные искажения..... | 127 |
| Частотные искажения..... | 130 |
| Фазовые искажения..... | 131 |
| 2.3. Шумы в ламповом усилительном каскаде..... | 132 |
| Классификация и основные причины возникновения шумов в ламповом УНЧ..... | 132 |
| Электрические флуктуации в твердых телах..... | 135 |
| Внутренние шумы электронных ламп..... | 139 |
| Шумы и фон переменного тока промышленной частоты..... | 141 |
| Внешние воздействия. Взаимное влияние элементов..... | 143 |
| 2.4. Обратная связь в ламповых усилителях НЧ..... | 144 |
| Виды обратной связи..... | 144 |
| Ослабление искажений с помощью отрицательной обратной связи..... | 148 |
| Самовозбуждение усилителей с обратной связью..... | 151 |
| 2.5. Особенности усилительных каскадов на тетраде и пентоде..... | 152 |
| Усилительный каскад на пентоде..... | 152 |
| Каскад с распределенной нагрузкой..... | 155 |
| Ультралинейный каскад..... | 159 |
| Ультралинейный усилитель с катодной связью..... | 161 |
| 2.6. Катодный повторитель в ламповых усилителях НЧ... 163 | |
| Основные свойства катодного повторителя..... | 164 |
| Режимы работы катодного повторителя..... | 170 |
| Катодный повторитель во входных каскадах..... | 178 |
| Катодный повторитель в выходных и предвыходных каскадах..... | 180 |
| 2.7. Каскодный усилитель в ламповых УНЧ..... | 184 |
| Особенности каскодного усилителя..... | 184 |
| Выбор ламп для каскодного усилителя..... | 188 |
| Основные параметры каскодного усилителя..... | 190 |

Глава 3. Схемотехнические особенности ламповых усилителей низкой частоты..... 193

| | |
|--|------------|
| 3.1. Общие принципы построения усилителей низкой частоты..... | 194 |
| Назначение и основные параметры усилителей низкой частоты..... | 194 |

| | |
|---|------------|
| Особенности классификации ламповых усилителей НЧ..... | 198 |
| 3.2. Предварительные усилители | 201 |
| Особенности ламповых предварительных усилителей НЧ | 202 |
| Усилительный каскад с реостатной нагрузкой | 204 |
| Особенности усилительного каскада на пентоде | 210 |
| Катодные повторители в предварительном усилителе | 212 |
| Каскодные схемы в предварительном усилителе | 216 |
| 3.3. Усилители мощности..... | 220 |
| Особенности ламповых выходных усилителей НЧ | 221 |
| Однотактные усилители мощности | 222 |
| Двухтактные усилители мощности с трансформаторным выходом..... | 225 |
| Двухтактные усилители мощности без выходного трансформатора..... | 229 |
| Параллельное включение ламп | 235 |
| Отрицательная обратная связь..... | 239 |
| 3.4. Фазаинверсные схемы в ламповых усилителях НЧ... 242 | |
| Усилительный каскад с симметричным трансформаторным выходом..... | 243 |
| Усилительный каскад на сопротивлениях с симметричным выходом..... | 245 |
| Двухтактные самобалансирующиеся фазаинверсные каскады..... | 248 |
| Самобалансирующийся каскодный фазаинверсный каскад..... | 252 |
| Фазаинверсные каскады с упрощенной схемой поворота фазы..... | 253 |
| 3.5. Особенности схемотехники блоков питания ламповых усилителей НЧ..... | 256 |
| Источники питания цепей анода и экранных сеток..... | 256 |
| Источники питания цепей накала | 260 |
| Устранение фона переменного тока | 265 |
| 3.6. Регулировки в ламповых усилителях НЧ | 273 |
| Регуляторы коэффициента усиления | 274 |
| Регуляторы тембра..... | 286 |

Глава 4. Практические конструкции ламповых усилителей низкой частоты..... 307

| | |
|---|------------|
| 4.1. Простые ламповые усилители НЧ для начинающих .. | 308 |
| Одноламповые усилители низкой частоты..... | 308 |

| | |
|---|------------|
| Усилители НЧ на двух лампах..... | 325 |
| 4.2. Многокаскадные и многоламповые усилители НЧ | 332 |
| Простые двухтактные усилители низкой частоты | 332 |
| Многоламповые усилители НЧ на импортных лампах | 344 |
| 4.3. Ламповые усилители низкой частоты из узлов и блоков промышленной радиоаппаратуры..... | 356 |
| Ламповые УНЧ отечественной радиоаппаратуры III и IV классов..... | 357 |
| Ламповые УНЧ отечественной радиоаппаратуры II класса..... | 364 |
| Ламповые УНЧ отечественной радиоаппаратуры высшего класса | 368 |
| Ламповые УНЧ зарубежной радиоаппаратуры..... | 380 |
| Заключение | 391 |

В начале XX века специалисты многих стран начали интенсивные работы по созданию новых радиоламп для систем радиосвязи. При этом довольно четко обозначились два основополагающих направления проводимых исследований. С одной стороны, усилия разработчиков были направлены на конструирование так называемых генераторных радиоламп, на основе которых можно было бы строить мощные передающие устройства. В то же время не меньшее внимание уделялось созданию радиоламп, которые на приемной стороне должны были обеспечить усиление как высокочастотного сигнала, так и уже продетектированного низкочастотного сигнала. Впоследствии такие лампы стали называть приемно-усилительными или просто усилительными.

В настоящее время интерес к приемно-усилительным радиолампам со стороны многих представителей современного поколения радиоловителей и профессионалов вновь возрастает. Причина данного явления заключается в том, что в области разработки, создания и эксплуатации профессиональной и любительской высококачественной звуковоспроизводящей аппаратуры большой мощности число приверженцев схемотехнических решений с использованием радиоламп постоянно растет.

Однако в современной специализированной литературе довольно сложно найти какие-либо сведения о теоретических основах функционирования электронно-вакуумных приборов. К тому же публикуемой информации недостаточно для того, чтобы иметь полное представление об основополагающих принципах функционирования приемно-усилительных ламп. Поэтому, прежде чем приступить к рассмотрению схемотехнических решений, принципиальных схем и конструкций ламповых усилителей низкой частоты, автор считает необходимым хотя бы кратко напомнить о физических явлениях, лежащих в основе функционирования электровакуумных приборов вообще и электронных ламп в частности.

В данной главе кратко описываются физические процессы, происходящие при функционировании электронных ламп, а также возникающие при этом побочные эффекты, влияющие на их работу. Помимо этого в соответствующих разделах рассмотрены основные типы электронных ламп, применяемых в усилительной аппаратуре, их характеристики, параметры и конструктивные особенности. Отдельный раздел посвящен истории возникновения и развития отечественных и зарубежных систем обозначения электровакуумных приборов, а также особенностям ныне действующих российской и

зарубежных систем маркировки приемно-усилительных радиоламп. Особое внимание уделено информации о возможных взаимных заменах отечественных и зарубежных ЭВП.

1.1. Принцип действия электронной лампы

Несколько десятилетий назад найти в научно-популярной литературе описание принципа действия электровакуумных приборов не представляло особого труда. В настоящее время, к сожалению, необходимые материалы по этой теме заинтересованный читатель может найти только в специализированных изданиях, которые не всегда доступны. Поэтому в данном разделе кратко излагаются некоторые сведения о физических процессах, лежащих в основе функционирования радиоламп.

Следует признать, что приводимая информация, с учетом ограниченного объема данной книги, не претендует на академическую точность. В то же время излагаемые сведения призваны помочь в первую очередь радиолюбителям молодого поколения понять базовые принципы функционирования наиболее распространенных типов приемно-усилительных электровакуумных приборов.

Движение электронов в двухэлектродной и трехэлектродной лампах

Основополагающим физическим явлением, на котором базируется работа электронных ламп, является движение электронов в вакууме. При этом движение частиц между электродами происходит под действием электрического поля. Таким образом, электрон, открытый Дж. Дж. Томсоном в 1897 году, является той самой элементарной частицей, которая обеспечивает функционирование практически всех ламп, которые часто называют радиоэлектронными.

В природе все вещества состоят из атомов, которые, в свою очередь, представляют собой положительно заряженное ядро с вращающимися вокруг него по определенным орбитам отрицательно заряженными электронами. При этом положительный заряд ядра равен отрицательному заряду электронов. При определенных условиях скорость движения электронов вокруг ядра увеличится до такой степени, что часть ядер будет не в состоянии удерживать свои

электроны на орбитах. Такие электроны, совершающие хаотические движения, называются свободными.

В металле, как и в любом другом твердом веществе, имеется большое количество слабо связанных с атомами электронов, которые находятся в постоянном хаотическом движении. При обычных внешних условиях скорость электронов недостаточна для того, чтобы преодолеть силы, препятствующие их вылету из металла в окружающее пространство. Однако при определенных изменениях внешних условий, вызванных соответствующими физическими процессами, электрон получает дополнительную энергию, и скорость его хаотического движения увеличивается. Более того, при некоторых воздействиях скорость электрона может оказаться достаточной для преодоления силы притяжения положительно заряженного ядра, в результате чего электрон может покинуть поверхность металла.

Процесс испускания электронов металлом или иным веществом в окружающее пространство называется электронной эмиссией.

В зависимости от природы внешнего воздействия, в результате которого освобождаемые из вещества электроны получают дополнительную энергию, различают несколько видов электронной эмиссии. Среди них необходимо отметить термоэлектронную, вторичную электронную и фотоэлектронную эмиссии.

Термоэлектронной эмиссией обычно называется процесс излучения электронов в окружающее пространство металлом, нагретым до высокой температуры, вполне определенной для каждого металла, поскольку с повышением температуры скорость электронов в атомах возрастает. Конечно же, не все электроны имеют одинаковые скорости, поэтому при определенной температуре только некоторая часть электронов разгоняется до скорости, достаточной для вылета. В то же время, чем выше температура металла, тем большее количество электронов способно покинуть его поверхность. При этом поверхность металла может быть покрыта тонким слоем другого металла, например, тория, бария, цезия или окислов щелочноземельных металлов. В этом случае атомы этих металлов легко отдают свои электроны основному металлу, в результате чего на его поверхности образуется положительно заряженный слой. Этот слой, притягивая электроны из основного металла, обеспечивает повышение их скорости и, соответственно, эмиссию. На этом принципе основана работа катодов большинства приемно-усилительных ламп.

Вторичной электронной эмиссией называется процесс освобождения электронов из металла в результате их выбивания другими

электронами, падающими на его поверхность. При этом электроны, падающие на поверхность металла, называются первичными, а электроны, выбиваемые из металла, – вторичными. Необходимо отметить, что при достаточно большой скорости первичного электрона он может выбить не один, а несколько вторичных электронов. В результате интенсивность потока электронов возрастает. На этом принципе основана работа, например, фотоэлектронных усилителей.

Явление фотоэлектронной эмиссии представляет собой процесс поглощения атомами вещества лучистой энергии, вследствие чего до необходимого значения возрастает и скорость электронов. При этом источником лучистой энергии является световой поток, а эмиссия электронов с поверхности металла начинается лишь с определенной частоты световых волн, являющейся порогом фотоэффекта. В то же время порог фотоэффекта зависит от вещества освещаемого тела. В видимой части спектра этот порог имеют щелочные металлы, например, натрий, калий, цезий или рубидий. Поэтому светочувствительные элементы фотоэлементов изготавливают из таких металлов.

Основным принципом, лежащим в основе работы электронных ламп, является взаимодействие электронов с электрическими полями. Такие электрические поля в электронной лампе при определенных условиях формируются между двумя электродами, а именно между катодом и анодом. При этом напряженность электрического поля и его форма могут изменяться не только при изменении потенциалов, формы или взаимного положения указанных электродов, но и под воздействием других электродов, называемых сетками.

В идеальном случае электрон может находиться в равномерном электрическом поле, которое можно сформировать, если на две размещенные параллельно металлические пластины подать разные потенциалы, то есть приложить разность потенциалов. В таком равномерном электрическом поле свободный электрон совершает равноускоренное движение вдоль направления силовых линий этого поля. Похожая ситуация возникает и в электронной лампе, если на анод подать положительный потенциал по отношению к потенциалу катода. Движение электронов под воздействием электрического поля, формируемого в двухэлектродной лампе, показано на рис. 1.1.

Чем больше будет напряжение анодной батареи, тем больший положительный потенциал будет на аноде лампы по отношению к катоду. При этом возрастет напряженность электрического тока между этими электродами, и, как следствие, увеличится скорость

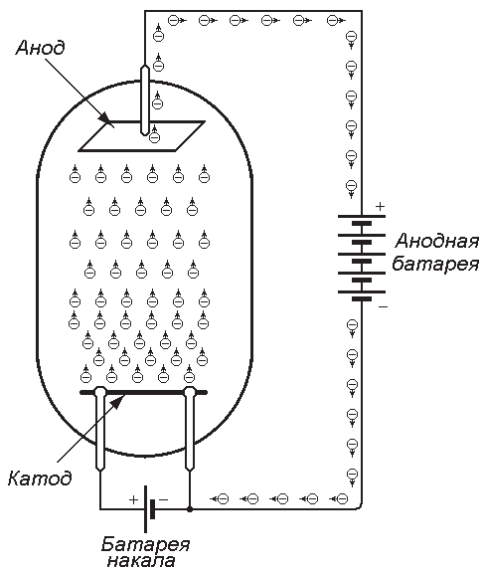


Рис. 1.1. Движение электронов в двухэлектродной лампе

потока электронов в этом поле, что приведет к соответствующему увеличению тока в анодной цепи.

Двухэлектродная лампа, принцип действия которой был рассмотрен в этом разделе, называется диодом. Она обладает свойством пропускать электрический ток только в одном направлении, поскольку назад от анода к катоду электроны лететь не могут. Это самая простая электронная лампа, однако сфера ее практического применения еще до недавнего времени была весьма обширной. Ламповые диоды использовались в радиотехнике для выпрямления переменного тока, то есть для его преобразования в ток, который течет в одном направлении.

Увеличения тока в анодной цепи можно достичь не только за счет большего напряжения на аноде. Между катодом и анодом можно установить дополнительный электрод, который из-за своей формы был назван сеткой. Если сетку с нулевым потенциалом расположить между катодом и анодом, то ни форма электрического поля в лампе, ни его параметры не изменятся. Электроны по-прежнему будут двигаться вдоль силовых линий поля, пролетая через отверстия в сетке. Движение электронов в трехэлектродной лампе при нулевом потенциале сетки показано на рис. 1.2.

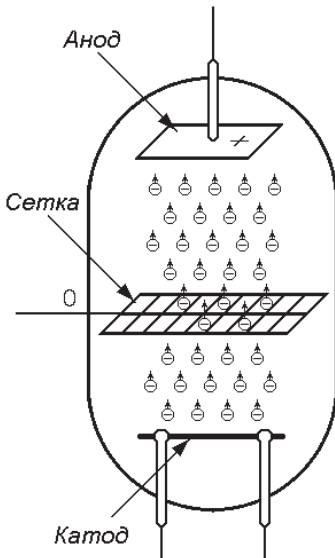


Рис. 1.2. Движение электронов в трехэлектродной лампе при нулевом потенциале сетки

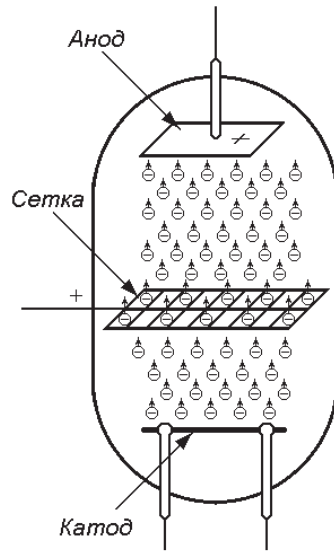


Рис. 1.3. Движение электронов в трехэлектродной лампе при положительном потенциале сетки

Если же на сетку подать даже незначительный положительный потенциал, то напряженность электрического поля в лампе на участке «катод – сетка» значительно изменится. В результате электроны, вылетающие из катода, получают дополнительное ускорение. При этом большинство электронов, испытывая притяжение анода, который имеет несравненно больший положительный заряд, чем сетка, проскочит сквозь сетку и устремится к аноду. Таким образом, количество электронов, достигающих анода в единицу времени, резко возрастет, обеспечивая и увеличение анодного тока. Движение электронов в трехэлектродной лампе при положительном потенциале сетки показано на рис. 1.3.

При подаче на сетку отрицательного потенциала относительно катода параметры электрического поля в лампе изменятся. При этом напряженность поля на участке «катод – сетка» значительно уменьшится. В результате электроны, вылетающие с поверхности катода, попадут в электрическое поле, которое не только не будет способствовать их ускоренному движению, а будет замедлять их скорость. Лишь незначительная часть электронов, благодаря высо-

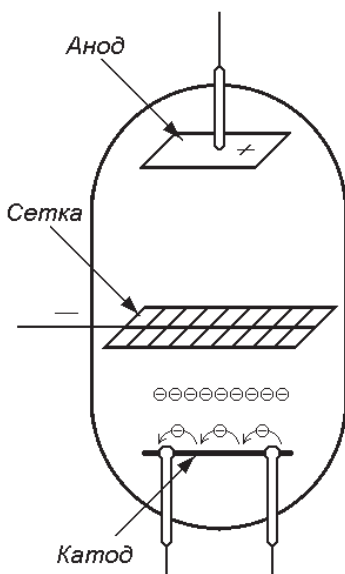


Рис. 1.4. Движение электронов в трехэлектродной лампе при отрицательном потенциале сетки

кой начальной скорости, сможет пройти через сетку и достичь анода. Остальные же электроны будут тормозиться и отталкиваться сеткой. Таким образом, поток электронов на участке «сетка – анод» значительно уменьшится, что приведет и к уменьшению анодного тока. Более того, при подаче на сетку сравнительно большого отрицательного потенциала лампу можно вообще «запереть», то есть не дать возможности электронам достигать анода. Движение электронов в трехэлектродной лампе при отрицательном потенциале сетки показано на рис. 1.4.

Таким образом, электрон, вылетевший в результате термоэлектронной эмиссии с поверхности катода электронной лампы, оказывается в электрическом поле, под действием которого он равноускоренно движется к аноду. Подачей определенного потенциала на сетку параметры электрического поля в лампе могут изменяться. При этом при подаче положительного потенциала электрон окажется в ускоряющем поле, что приведет к увеличению его скорости и возрастанию анодного тока. В результате подачи отрицательного потенциала на сетку лампы электрон окажется в тормозящем поле, его скорость уменьшится, и, как следствие, уменьшится анодный ток.

Принцип действия усилительной радиолампы

Трехэлектродная лампа, принцип действия которой был рассмотрен в этом разделе, называется триодом. Главной ее особенностью является возможность усиления подаваемого на сетку переменного напряжения. Как уже отмечалось ранее, последовательно изменяя знак потенциала, подаваемого на сетку трехэлектродной лампы, а также даже в небольших пределах его величину, можно добиться значительных изменений анодного тока. Так, например, если между сеткой и катодом подключить источник переменного напряжения, то потенциал сетки будет изменяться в соответствии с изменением подаваемого напряжения.

При отсутствии потенциала на сетке лампы количество электронов, достигающих анода, будет иметь определенную постоянную величину, которую можно принять за промежуточную или среднюю (рис. 1.5а). Анодный ток, соответственно, также будет постоянным, что иллюстрируется графиком на рис. 1.5б.

Во время подачи на сетку положительного полупериода переменного напряжения на сетке появится положительный заряд. Величи-

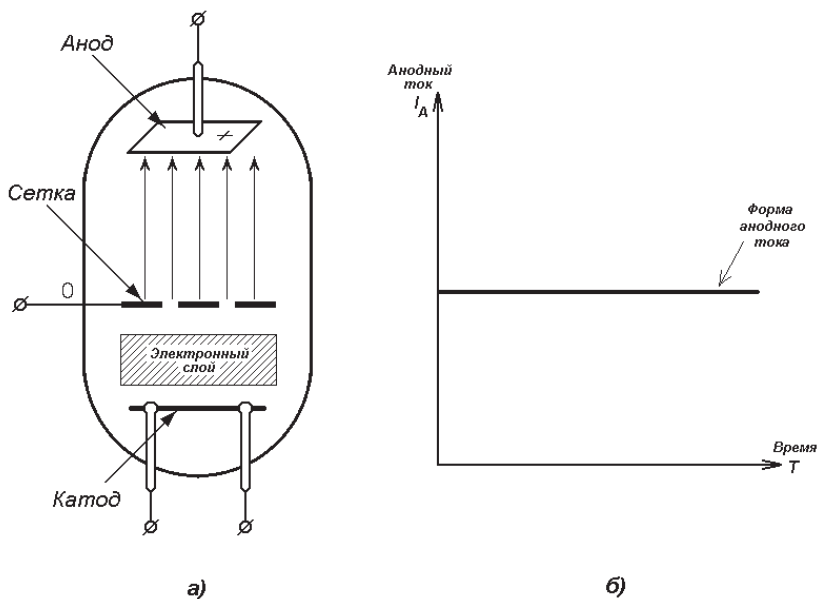


Рис. 1.5. Анодный ток при нулевом заряде на сетке триода

на этого заряда в первую половину полупериода будет возрастать от нуля до максимального значения. В результате этого процесса количество электронов, достигающих анода, также будет возрастать от среднего значения до максимума, что приведет к возрастанию анодного тока. Во вторую половину положительного полупериода величина заряда сетки будет уменьшаться от максимума до нуля, при этом количество электронов, достигающих анода, будет уменьшаться от максимума до среднего значения (рис. 1.6а). Это приведет к уменьшению анодного тока от максимального до среднего значения, как показано на рис. 1.6б.

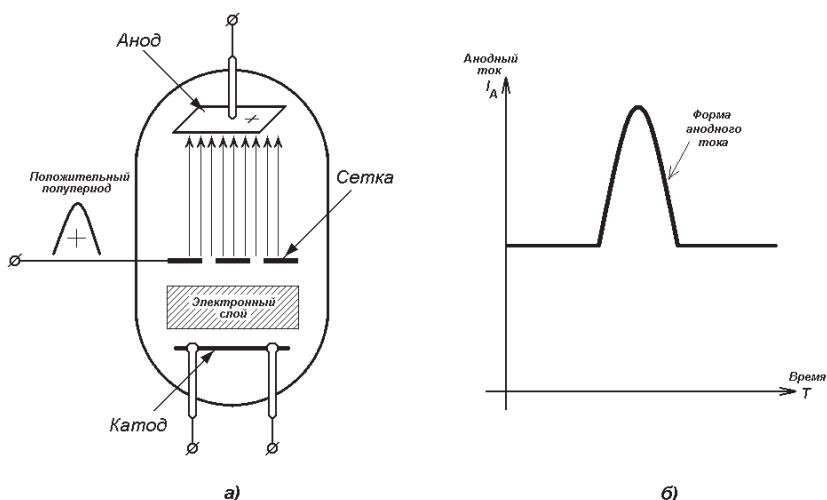


Рис. 1.6. Анодный ток при положительном полупериоде переменного напряжения на сетке триода

Во время подачи на сетку отрицательного полупериода переменного напряжения на сетке появится отрицательный заряд. При этом величина этого заряда в первую половину полупериода будет возрастать от нуля до максимального отрицательного значения. В результате этого процесса количество электронов, достигающих анода, будет уменьшаться от среднего значения до минимума, что приведет к соответствующему уменьшению анодного тока от среднего до минимального значения. Во вторую половину отрицательного полупериода количество электронов, достигающих анода, будет постепенно возрастать от минимума до среднего значения (рис. 1.7а). Это

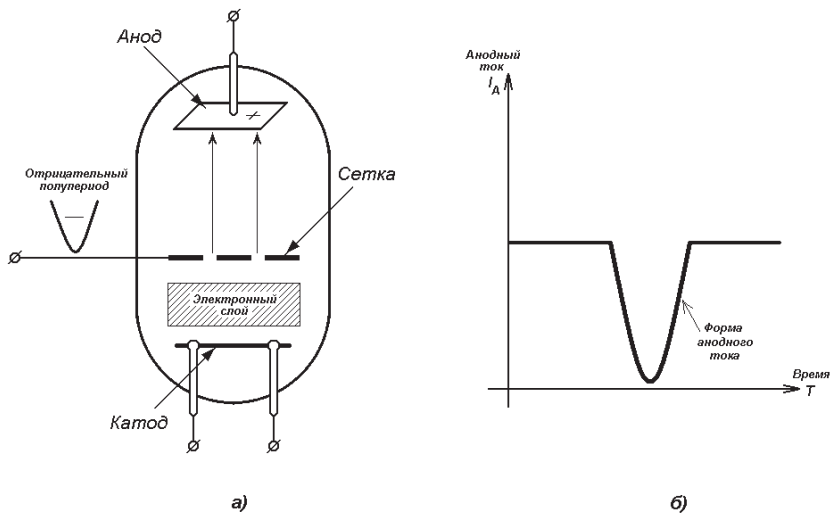


Рис. 1.7. Анодный ток при отрицательном полупериоде переменного напряжения на сетке триода

приведет к увеличению анодного тока от минимального до среднего значения, как показано на рис. 1.7б.

Таким образом, поток электронов в трехэлектродной лампе будет изменяться, уменьшаться или увеличиваться, в соответствии с законом, по которому изменяется переменное напряжение, подаваемое на сетку. В результате, по такому же закону, также последовательно возрастающая и убывающая, будет изменяться и ток в анодной цепи. Как известно, для того, чтобы вызвать в анодной цепи существенное изменение анодного тока, к сетке достаточно подвести весьма незначительный заряд. Поэтому, если на сетку подать электрические колебания, максимальная величина которых или амплитуда очень мала, то в анодной цепи будут формироваться колебания, амплитуда которых будет значительной. Зависимость колебаний тока в анодной цепи от колебаний напряжения на сетке электронной лампы иллюстрируется рис. 1.8.

В результате рассмотренного процесса происходит усиление колебаний, поскольку сравнительно небольшое переменное напряжение, подаваемое на сетку лампы, управляет движением потока электронов и, следовательно, значительным током, протекающим в анодной цепи. Ведущую роль в этом процессе выполняет сетка, которая в

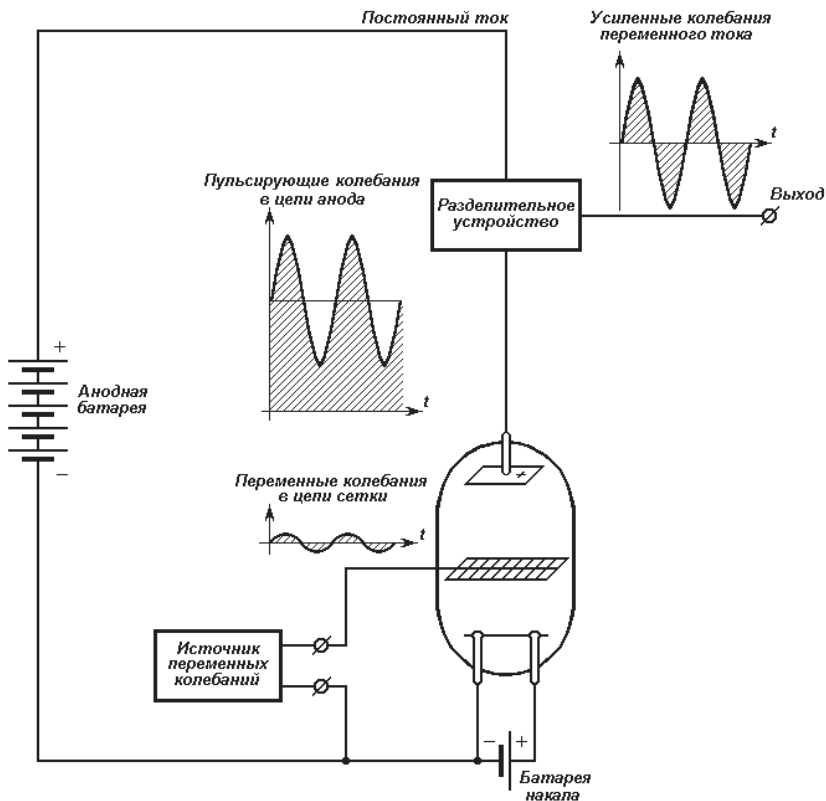


Рис. 1.8. Зависимость колебаний тока в анодной цепи от колебаний напряжения на сетке электронной лампы

соответствии с выполняемой ею функцией получила название управляющей.

Таким образом, трехэлектродная лампа или триод является простейшим усилителем электрических колебаний. Напомним, что первые усилительные триоды появились в начале XX столетия. В результате дальнейшего развития и усовершенствования триодов были разработаны многоэлектродные и так называемые комбинированные приемно-усилительные лампы. Необходимо отметить, что в настоящее время трехэлектродные лампы в усилителях низкой частоты применяются лишь в составе комбинированных ламп. Некоторые дополнительные сведения о триодах и других усилительных лампах будут приведены далее.

Классификация, характеристики и параметры электронных ламп

Прежде чем познакомиться с функционированием электронных ламп в радиотехнических устройствах и в первую очередь в звуковоспроизводящей аппаратуре, некоторым читателям молодого поколения, возможно, будет интересно узнать, какие типы электронных ламп вообще существуют. Не менее интересной является информация о том, чем отдельные типы ламп отличаются друг от друга, а также какие характеристики и параметры являются определяющими при их сравнении и выборе для применения в высококачественной аудиоаппаратуре.

В настоящее время существует большое количество различных типов и конструкций электровакуумных приборов. Все они, в том числе и электронные лампы, классифицируются с учетом различных признаков и особенностей.

Так, например, одним из определяющих признаков ЭВП является количество электродов. При этом электронные лампы делятся на двухэлектродные (диоды), трехэлектродные (триоды), четырехэлектродные (тетроды), пятиэлектродные (пентоды) и даже семиэлектродные (гептоды или пентагриды). Название «пентагрид» семиэлектродная лампа получила из-за того, что она имеет пять (пента) сеток (грид). В приемно-усилительной аппаратуре широкое распространение получили так называемые комбинированные электронные лампы, у которых в одном баллоне смонтированы две лампы. Среди них необходимо отметить, например, двойные триоды и триод-пентоды.

Помимо этого по назначению лампы подразделяются, например, на выпрямительные, приемно-усилительные, частотно-преобразовательные, генераторные и модуляторные. В зависимости от мощности лампы делятся на маломощные, в основном применяемые в приемно-усилительной аппаратуре, и мощные, применяемые в радиопередающих устройствах. Диапазон рабочих частот определяет деление электронных ламп на низкочастотные, высокочастотные и так называемые лампы СВЧ, то есть сверхвысокочастотные.

С учетом того, что предлагаемая книга посвящена использованию электронных ламп в звуковоспроизводящей аппаратуре, в последующих главах и разделах основное внимание уделяется многоэлектродным низкочастотным приемно-усилительным лампам малой мощности.

Под характеристиками электронных ламп понимаются зависимости напряжений на одних электродах и токов в соответствующих цепях от изменений напряжений на других электродах лампы и токов в соответствующих цепях. Эти зависимости обычно изображаются в виде графиков. Поскольку каждой точке характеристик, определяющих режимы работы электронной лампы, соответствуют определенные постоянные значения анодного тока и напряжений на электродах, то такие характеристики называют статическими.

Статические характеристики получают экспериментально, подключая исследуемую электронную лампу к специальной схеме, содержащей необходимые источники питания, измерительные приборы и регулировочные элементы.

Необходимо отметить, что при снятии характеристик потенциалы электродов электронных ламп обычно измеряются относительно катода, потенциал которого считается равным нулю. Поэтому под выражениями «напряжение на аноде» или, например, «напряжение на сетке» всегда понимается разность потенциалов между данным электродом и катодом. В то же время понятие «положительное» или «отрицательное» напряжение на электроде означает соответственно, что потенциал этого электрода выше или ниже, чем у катода.

Основными характеристиками многоэлектродных приемно-усилительных электронных ламп, используемых в звуковоспроизводящей аппаратуре, являются анодно-сеточные, анодные и сеточные характеристики. В связи с тем, что подавляющее число характеристик ламп представляет собой зависимости соответствующих напряжений и токов, такие характеристики часто называют вольтамперными.

Помимо указанных выше специалистами при расчете усилительных каскадов используются так называемые динамические характеристики. При этом применяются специальные графические приемы, позволяющие сравнительно быстро и точно определить необходимое постоянное смещение на сетке лампы, выходную мощность каскада, оптимальную величину анодной нагрузки, обеспечивающую получение максимальной выходной мощности, а также другие параметры, характеризующие схему. Для выполнения этих расчетов на семействе анодных характеристик электронной лампы строится упомянутая динамическая характеристика, представляющая собой линию, по которой с течением времени перемещается рабочая точка при изменении напряжения на управляющей сетке.

Параметрами электронной лампы называются некоторые постоянные величины, характеризующие ее свойства и определяющие

возможность ее применения в различных устройствах. При этом параметры определяют соотношения между токами и напряжениями в соответствующих цепях лампы.

Основными параметрами многоэлектродных приемно-усилительных электронных ламп, используемых в звуковоспроизводящей аппаратуре, являются крутизна характеристики S , внутреннее сопротивление R_p , а также коэффициент усиления μ и проницаемость D . Данные параметры рассчитываются по характеристикам электронной лампы и являются так называемыми статическими параметрами, если они определяются в статическом режиме, то есть при отсутствии нагрузки в цепи анода.

Помимо указанных выше основных параметров любая электронная лампа обладает и другими параметрами, к которым относятся, например, входная, проходная и выходная емкости, а также сопротивление шума. Однако рассмотрение этих параметров выходит за рамки настоящего издания.

Особенности конструкции радиоламп

По конструкции электронная лампа представляет собой стеклянный, металлический, металлокерамический или керамический баллон, в котором создан глубокий вакуум. В этот баллон впаиваются электроды, которые, в зависимости от выполняемой задачи, имеют специальную форму и изготавливаются из различных материалов.

В любой электронной лампе, начиная от диода и заканчивая многосеточными лампами, всегда имеются два электрода, без которых она не может функционировать. Такими базовыми электродами являются катод и анод. Помимо указанных электродов в сложных электронных лампах, например, в триодах, пентодах и других между катодом и анодом помещаются дополнительные электроды, называемые сетками. Сетки используются для создания изменяющихся во времени тормозящих или ускоряющих электрических полей, с помощью которых можно управлять потоком электронов между катодом и анодом.

Источником свободных электронов в электронной лампе является один из ее электродов, который называется катодом. В простейшем случае катод представляет собой тонкую металлическую проволоку, накаливаемую протекающим по ней электрическим током, который получил название тока накала. Катоды электронных ламп различаются по конструкции и виду эмитирующей поверхности.