

Э.В. Эплльтон

**Электронные лампы и их
применение**

Москва
«Книга по Требованию»

УДК 621.39
ББК 32
Э1

Э1 **Э.В. Эплльтон**
Электронные лампы и их применение / Э.В. Эплльтон – М.: Книга по Требованию, 2017. – 93 с.

ISBN 978-5-458-32745-9

Автор этой книги — очень авторитетный английский радиоспециалист, особенно много и успешно занимающийся вопросами применения электронных ламп. Несмотря на наличие целого ряда книг, посвященных вопросам устройства и применения электронных ламп, появление еще одной подобной книги нужно признать целесообразным уже по одному тому, что она написана большим знатоком этих вопросов. Автор этой книги — очень авторитетный английский радиоспециалист, особенно много и успешно занимающийся вопросами применения электронных ламп. Несмотря на наличие целого ряда книг, посвященных вопросам устройства и применения электронных ламп, появление еще одной подобной книги нужно признать целесообразным уже по одному тому, что она написана большим знатоком этих вопросов. Кроме того, книга Эплльтона отличается от других подобных книг малым объемом, что во многих случаях также является большим преимуществом. Однако, несмотря на малый объем, благодаря большой содержательности изложения, книга освещает все основные вопросы устройства и применения электронных ламп. Кроме того, книга Эплльтона отличается от других подобных книг малым объемом, что во многих случаях также является большим преимуществом. Однако, несмотря на малый объем, благодаря большой содержательности изложения, книга освещает все основные вопросы устройства и применения электронных ламп...

ISBN 978-5-458-32745-9

© Издание на русском языке, оформление

«YOYO Media», 2017

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2017

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, кляксы, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.

ВВЕДЕНИЕ

Термин **электронная лампа** применяется, вообще говоря, к электрической разрядной трубке любого типа, в которой один или несколько накаленных электродов испускают электрические заряды вследствие термационной эмиссии. Однако, чаще всего под этим термином подразумевают высоковакуумную лампу, в которой электрический ток создается электронами, испускаемыми нагретой поверхностью, так называемым, катодом и собираемыми одним или несколькими холодными металлическими электродами, находящимися под положительным, по отношению к катоду, напряжением.

В зависимости от типа лампы для нагревания катода (обычно устроенного в виде тонкой нити) до соответствующей температуры требуется источник напряжения от 1 до 20 в, а иногда и больше. Но практически, во всех случаях эта разность потенциалов между концами катода (нити) всегда мала по сравнению с напряжением между катодом и собирающим электродом, так что для простоты можно считать, что вся нить находится под одинаковым потенциалом. В некоторых приемных лампах катод нагревается теплом, излучаемым специальным подогревателем, который в свою очередь накаливается электрическим током. В этом случае весь излучающий электроны катод действитель но находится под одним и тем же потенциалом. Электронная лампа со своим катодом, излучающим электроны, и собирающими электродами образует электрическую цепь или ряд цепей и именно особенности и замечательные свойства ее, как электрической цепи, обусловливают важные применения электронной лампы.

Прежде всего электронная лампа ведет себя отлично от обычных электрических проводников в том смысле, что электронный ток, протекающий от нити к любому собирающему электроду, вообще говоря, не пропорционален напряжению между нитью и этим электродом.

В двухэлектродной лампе или диоде накаленная нить служит одним электродом, а другим является сплошной анод, обычно окружающий нить. Так как для нагрева нити требуются два вывода, то такая лампа имеет всего три вывода. При данной температуре нити электронный ток в цепи анода определяется напряжением между анодом и нитью. Увеличивая это напряжение до определенной величины, мы достигаем максимального значения электронного тока, так называемого тока насыщения. При этих условиях все электроны, излучаемые нитью, попадают на анод, так что дальнейшее увеличение напряжения между анодом и нитью не вызывает дальнейшего увеличения силы анодного тока. В тех случаях, когда электронный ток, попадающий на собирающий электрод, меньше тока насыщения (что обычно имеет место во время работы лампы), это происходит вследствие того, что остальная часть электронов возвращается обратно к нити.

В трехэлектродных лампах или триодах, кроме нити, имеется еще два электрода, так что в них необходимо иметь четыре вывода наружу. Триод отличается от диода наличием электрода с отверстиями или сетки, расположенной обычно между нитью и анодом. Изменяя напряжение на сетке, мы можем регулировать электронный ток, проходящий от нити через отверстия в сетке к аноду. Эта возможность составляет одно из наиболее важных свойств триода. До недавнего времени для целей радиоприема, обычно, пользовались трехэлектродными лампами, однако, в последнее время широкое применение получили многоэлектродные лампы (напр. тетроды и пентоды). Так как принцип действия этих ламп тот же, что и трехэлектродных и во всех случаях существенное преимущество каждого отдельного типа заключается в возможности лучше управлять электронным током при помощи напряжения на «управляющей» сетке, то эти лампы можно рассматривать как видоизменение трехэлектродных ламп.

Во всех случаях поведение электронной лампы описывается статическими характеристиками, выражающими зависимость токов через собирающие электроды от напряжений этих электродов по отношению к нити. Так, например, в случае диода статическая характеристика выражает соотношение между напряжением, приложенным между нитью и анодом, и электронным током через анод. Такая характеристика дает нам необходимые для практических целей сведения о лампе. В случае трехэлектродной лампы мы имеем два типа статических характеристик: а) первый тип — дает зависимость токов через оба собираю-

щих электрода от напряжения на сетке при постоянном анодном напряжении и б) второй — зависимость обоих фоток от анодного напряжения при постоянном напряжении на сетке.

Другим очень важным свойством высоковакуумной электронной лампы, как электрического проводника, является практически мгновенное изменение силы тока при изменении приложенных напряжений, так что статическая характеристика достаточно точно описывает поведение лампы при быстро меняющихся напряжениях на ее электродах. Однако, если подавать на лампу переменные напряжения очень высокой частоты, то время, потребное для пробега электронов от нити к аноду, уже нельзя считать малым по отношению к периоду внешнего воздействия и изменение анодного тока под действием приложенного напряжения не может рассматриваться как мгновенное.* В то же время необходимо помнить, что электронная лампа не является чисто омическим проводником, так как электроды образуют конденсаторы, хотя и очень малой емкости, но которая при радиочастоте все же играет существенную роль. Наибольшие трудности на пути возможно более полного использования свойств электронной лампы возникают именно вследствие существования этих емкостей.

Из всего сказанного выше следует, что изучение электронных ламп и их применения удобнее всего вести в следующих двух направлениях. В каждом отдельном случае при рассмотрении того или иного типа лампы мы можем начать с описания принципа действия ее, и затем попытаться объяснить природу ее статических характеристик, исходя из известных физических законов. Во-вторых, при рассмотрении применений данной лампы мы можем попытаться объяснить поведение ее в каждом отдельном случае свойствами ее, вытекающими из ее статических характеристик. В следующих главах автор будет по возможности придерживаться такого расположения материала.

* Однако, это обстоятельство начинает играть роль лишь при частотах выше 10^2 Гц.

Глава I

УСТРОЙСТВО ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАМП

Термионная эмиссия. Испускание электрических зарядов накаленным телом (напр. нитью электронной лампы) было впервые тщательно исследовано Ричардсоном, который на основании принципов кинетической теории показал, что электронный поток на квадратный сантиметр накаленной поверхности, (i) т. е. плотность тока эмиссии в зависимости от температуры поверхности (T), может быть выражена так:

$$i = aT^{\frac{3}{2}} e^{-\frac{b}{T}}, \quad (1.1)$$

где a и b суть константы, зависящие от материала катода. Позднее, на основании термодинамических рассуждений, Ричардсон получил уравнение несколько иного вида, а именно:

$$i = AT^2 e^{-\frac{b_0}{T}}, \quad (1.2)$$

где A и b_0 константы. Это последнее уравнение получило в общем большее признание и в связи с ним Дэшмэн привел некоторые доводы, заставляющие предполагать, что величина A должна быть универсальной постоянной равной

60,2 $\frac{\text{амп}}{\text{см}^2 \times \text{град}^2}$, в то время как b_0 должна зависеть от структуры излучающего материала (т. е. от структуры либо металла самой нити, либо специального активного слоя, покрывающего нить).

Как показал Ричардсон, величина b_0 в (1.2) или b в (1.1) выражает работу, необходимую для того, чтобы электроны вышли через поверхность катода. Так как b_0 выражено в градусах абсолютной температуры*, то удобно опреде-

* Для перевода абсолютной температуры (градусов Кельвина) в градусы Цельсия необходимо из температур Кельвина вычесть 273°.

лить энергию, требуемую для освобождения электронов через «работу вылета» Φ_0 , выражаемую в вольтах. Работа вылета связана с константой b_0 следующим образом:

$$\Phi_0 = \frac{b_0 k}{e}, \quad (1 \cdot 3)$$

где k есть константа Больцмана, e — заряд электрона. Константа k равна $1,37 \times 10^{-16}$ эрг/град., а $e = 1,59 \times 10^{-20}$ э.м. ед., так что

$$\Phi_0 = 8,62 \times 10^{-5} b_0 \text{ (вольт).} \quad (1 \cdot 4)$$

Желая рассчитать нить, которая, будучи накалена до известной заданной температуры, давала бы определенную эмиссию, мы, очевидно, должны знать значения A и b_0 для данного материала. Только в некоторых случаях (напр. для чистых металлов) эти величины известны более или менее точно и еще в меньшем числе случаев значение A приближается к данной Дэшмэном величине — $60,2 \frac{\text{амп}}{\text{см}^2 \times \text{град}^2}$. Точное экспериментальное определение зависимости i от T , из которой и вычисляются значения A и b_0 , затрудняется, главным образом, тем, что трудно осуществить условия насыщения. Оказывается, что с повышением анодного напряжения электронная эмиссия продолжает непрерывно, хотя и медленно, расти. Произведенное Шоттки теоретическое исследование этой проблемы показывает, что если электрическое поле на излучающей поверхности, которая сохраняет постоянную температуру T , равно E (в в/см), то ток эмиссии i_E определяется соотношением:

$$i_E = i_0 e^{\frac{1}{4,39 E^{\frac{1}{2}} T}}, \quad (1 \cdot 5)$$

где i_0 есть ток эмиссии при поле, равном нулю*.

Теория Шоттки оказалась справедливой для эмиссии нитей из вольфрама, молибдена и тантала, но для широко применяемых на практике ториевых и оксидных нитей выражение (1. 5) оказалось неприменимым и им нельзя пользоваться для вычисления эмиссии, соответствующей полю, равному нулю, которая единственно и может служить для точного определения значений A и b_0 , входящих в (1. 2). Поэтому, приводимые значения A и b_0 для таких нитей следует считать приближенными.

* Не следует смешивать это повышение термической эмиссии с увеличением силы поля от явления «холодной» эмиссии, наступающей при силе поля порядка 10^6 в/см; эта последняя эмиссия практически не зависит от температуры.

Нити электронных ламп. Нить электронной лампы, обычно, представляет собой проволоку, сделанную из: а) чистого вольфрама, б) торированного вольфрама или с) из какого-нибудь металла, покрытого слоем активного материала, вроде щелочно-земельных металлов и их оксидов. Эта проволока натягивается между двумя стойками, которые одновременно служат для подводки тока накала и присоединены к выводам лампы.

Нити из чистого вольфрама. Рабочая температура нитей из чистого вольфрама обычно равна около 2400° К и так как при этой температуре проволока накаливается до бела, то лампы с такими нитями называются светлыми лампами. Ввиду того, что на накал торированных нитей и других нитей, покрываемых активным слоем, тратится значительно меньше мощности, вольфрамовые нити в настоящее время почти не употребляются в приемных лампах. Однако, в мощных генераторных лампах, работающих при высоких анодных напряжениях, нитям из чистого вольфрама и сейчас отдают предпочтение, ввиду их большей устойчивости и способности переносить большие случайные перегрузки. Для чистого вольфрама значения A и b_0 равны соответственно $60,2 \frac{\text{amp}}{\text{см}^2 \times \text{град.}}$ и 52400° К. Вычисленная из b_0

работа вылета Φ_0 оказалась равной $4,52 \text{ в.}$ Здесь полезно вспомнить, что от рабочей температуры нити зависит не только эмиссия на см^2 , но и полная эмиссия на ватт мощности накала. При температуре в 2400° К электронная эмиссия вольфрама равна $0,12 \text{ a/cm}^2$. «Электронная отдача» нити, т. е. сила тока эмиссии на один ватт мощности накала, при обычных рабочих температурах составляет 2 ma/vt.

Торированные вольфрамовые нити. Лэнгмюр и Роджерс показали, что прибавлением к вольфраму 1 или 2 процентов окиси тория (ThO_2) и особой термической обработкой нити можно значительно повысить эмиссию катода при данной температуре. Для того, чтобы добиться высокой эмиссии, необходимо проделать следующие две операции: а) накалить нить на одну-две минуты до температуры 2700° К и тогда часть окиси тория перейдет в металлический торий; при такой высокой температуре атомы тория диффундируют через поверхность и быстро испаряются; б) затем температуру понижают до $2100-2200^{\circ}$ К, так что хотя диффузия все еще будет продолжаться, испарение атомов тория значительно замедлится и торий соберется на поверхности нити в виде поверхностного слоя, толщиной в один атом. Когда образуется такой сплошной

одноатомный слой, нить оказывается «активированной»— она дает максимальную эмиссию. Рабочая температура токорированной нити составляет около 1900° К, когда скорость испарения и диффузии настолько малы, что практически слой, покрывающий поверхность нити, остается неизменным.

Действие слоя тория заключается, главным образом, в понижении величины b_0 , а, следовательно, и Φ_0 в (1.2), в то время как A мало отличается от значения для чистого вольфрама. Ноттингэм нашел, что при электрическом поле, равном нулю, $A = 59 \frac{\text{амп}}{\text{см}^2 \times \text{град}^2}$, $b_0 = 36500^\circ \text{ К}$ и $\Phi_0 = 3,15 \text{ в}$. При рабочей температуре в 1900° К эмиссия хорошо активированной нити составляет около 1,2 а/см^2 , а электронная отдача составляет около 40 ма/вт .

Нити, покрытые активным слоем. Впервые применение нитей с химически нанесенным активным слоем для промышленного типа ламп было описано Арнольдом, который описал также и применяемый Western Electric Company метод покрытия платиновых нитей окислами бария и стронция. При описанном Арнольдом методе, нить погружалась попеременно в смесь углекислой соли бария и стронция и в резиновый клей (смолу) и затем нагревалась на мгновение до температуры 1000° К, при которой органическая примесь сгорала. Когда слой полностью покрывал нить, последняя прогревалась в течение двух часов при температуре 1200° К. После этих операций на поверхности платиновой нити оставался довольно толстый слой окислов бария и стронция, а глубже получался слой с примесью платины, причем главной составляющей этого слоя была платиново-кислая соль бария (BaPtO_3).

Электронная отдача оксидных нитей еще выше, чем токорированных и работают они, обычно, при температуре около 1100° К. Такие нити сейчас широко применяются, причем они, обычно, состоят из металлической проволоки (95% платины и 5% никеля), покрытой слоем из окислов стронция и бария с небольшой примесью платины и никеля, которые переносятся в этот слой во время изготовления и активизации нити. Для таких нитей, изготавляемых Western Electric Company, в самое последнее время удалось получить следующие константы эмиссии $A = 1,0 \times 10^{-2} \frac{\text{амп}}{\text{см}^2 \times \text{град}^2}$, $b_0 = 11600^\circ \text{ К}$ и $\Phi_0 = 1,0 \text{ в}$. При нормальной рабочей температуре эмиссия равна около 0,2 а/см^2 , а электронная отдача имеет величину порядка 50 ма/вт .

Другой способ изготовления нитей с высокой электронной отдачей заключается в том, что на металлическую проволоку непосредственно наносится металлический барий. Для этой цели на внутреннюю поверхность анода наносят жидкий раствор азida бария (BaN_6). Во время откачки анод нагревается токами Фуко высокой частоты и азид, разлагаясь при $152^\circ C$, дает барий, оседающий на нити. Сама нить, обычно, делается из вольфрамовой проволоки гальванически покрытой чрезвычайно тонким слоем меди. Слой бария затем оксириуется, будучи нагрет в присутствии кислорода воздуха*.

При другом способе проволока оксириуется до нанесения слоя бария (как и в случае осаждения паров цезия на оксирированный вольфрам, исследованном раньше Кингдомом). Этим значительно увеличивается прочность, с которой держится поверхностный слой на проволоке.

Следует отметить два существенных преимущества азидного метода: во-первых, оказалось, что в этом случае можно брать чрезвычайно тонкие нити, и, во-вторых, испаряющийся внутри баллона металлический барий соединяется с оставшимися газами и, таким образом, улучшает вакуум в лампе.

Электронная отдача нитей, покрытых слоем бария, составляет величину порядка $80-140 \text{ ма/вт}$.

Все оксидные нити должны предварительно «формироваться». Это формирование заключается в том, что нить нагревают и заставляют ее отдавать электроны, для чего на анод подают положительное напряжение. Изменения, происходящие во время этого процесса активизации, подтверждают теорию, принятую многими исследователями, что повышенная электронная эмиссия вызывается металлическим барием, а не оксидом. Однако, пока еще не установлено, расположен ли одноатомный слой бария на поверхности оксида или на поверхности металлической проволоки.

В лампах с «подогревным катодом», широко применяемых в настоящее время в радиоприемниках, работающих от сети, катодом служит металлический цилиндр, покрытый снаружи слоем оксида. Электрод подогревается до необходимой температуры специальным подогревателем—накаленной проволокой, помещаемой внутри цилиндра. Эта проволока укреплена на стойке, изготовленной из материала, вроде

* Процесс получения оксидной нити нанесением металла на проволоку с последующим окислением был впервые использован Хортоном, который исследовал эмиссию слоя оксида кальция, нанесенного на платиновую проволоку.

огнеупорной глины и имеющей такую форму, что она одновременно служит изолятором между подогревателем и катодом. Достаточная для приемных ламп эмиссия получается при 4 вт накала (напр. 1 а при 4 в) от источника постоянного или переменного тока.

Одной из существенных особенностей торированных и всех вообще активированных нитей является отсутствие явления полного насыщения. Ток эмиссии таких нитей, хотя и медленно, но все же неизменно возрастает с повышением анодного напряжения (а следовательно и электрического поля у нити).

Собирающие электроды. Остальные электроды электронной лампы изготавливаются из никеля, молибдена или других металлов с достаточно высокой точкой плавления. Анод, обычно, представляет собой круговой или сплющенный цилиндр, окружающий нить; иногда он состоит из двух параллельных плоских пластин, расположенных по обе стороны нити. Сетка, обычно, имеет вид проволочной спирали или сетки, намотанной на цилиндр, осью которого служит нить. Вся система электродов, обычно, укрепляется в центре стеклянного (кварцевого) или металлического баллона на «ножке», через которую проходят все провода, соединяющие электроды с внешними выводами ламп.

Большинство электронных ламп — высоковакуумные, и во время их изготовления как перед откачкой, так и во время откачки применяются различные способы для освобождения электродов и стеклянного баллона от окклюдированных газов. Эти способы применяются даже и в тех лампах, которые потом делаются «мягкими», т. е. содержат в баллоне некоторое количество газа, например гелия.

До сборки лампы все металлические электроды (за исключением нити) нагреваются в вакуумной печи до температуры 1300° К . При этом из металла освобождается значительная часть окклюдированных газов, которые уже не так легко поглощаются снова. После этого все электроды, включая и нить, укрепляются на подводящих проводах, которые уже укреплены в ножке лампы. Затем баллон припаивается к основанию ножки и соединительная трубка, через которую производится откачка лампы, припаивается к насосу. Характер откачивающей установки зависит от типа лампы, но, обычно, если применяется «геттер», то пользуются масляными вращающимися насосами, доводящими давление до $0,001 \text{ мм}$. С другой стороны, если «геттер» не применяется, то откачка производится при помощи диффузионных насосов, которые дают очень высокий вакуум. Во время откачки лампа прогревается

в течение получаса в газовой печи при температуре несколько ниже точки плавления стекла. В лампах без «геттера» анод и сетку нагревают электронной бомбардировкой до высокой температуры. Для этой цели во время откачки лампы нить накаливают до температуры излучения электронов, а на анод и сетку подают высокое положительное напряжение по отношению к нити. Нагрев электродов во время откачки можно произвести и при помощи токов Фуко, для чего лампу помещают в поле катушки, через которую проходит сильный ток высокой частоты. Когда откачка закончена, баллон отпаивают, на лампу надевают цоколь и приделывают внешние зажимы. В случае откачки без «геттера» процесс этим заканчивается, остается лишь операция формирования и искусственного старения нити.

Применение «геттера» заключается в том, что внутри лампы распыляется какое-либо вещество (напр. магний, барий или фосфор), которое либо соединяется с остаточными газами, либо закрепляет их механически на стенках баллона. Если используется магниевый геттер, то магний (в виде 2-х миллиметровой ленты) приваривается точечной сваркой к аноду. Для того, чтобы вызвать испарение магния, лампу помещают в электрическое поле высокой частоты; токами высокой частоты анод накаляется докрасна, в результате чего магний испаряется и поглощает остаточные газы. Этот процесс может происходить либо во время откачки лампы, либо после отпайки ее. Магний оседает на стенках лампы, придает им вид зеркала. Процесс, при котором в качестве «геттера» используется барий, уже упоминался выше.

Искусственное старение нити из чистого вольфрама заключается в том, что лампу заставляют работать в течение 20 минут при нормальных рабочих напряжениях, после чего лампа готова к испытанию. Однако, в случае ториевых нитей, на поверхности нити должен быть создан тонкий слой атомов тория, обусловливающий большую эмиссию, для чего нить подвергается специальной обработке, которая уже была описана выше. С течением времени этот слой исчезает, вследствие чего происходит падение эмиссии; но так как в нити всегда остается достаточное количество тория, то процесс активизации можно повторить. Формирование нитей с нанесенным активным слоем во многих отношениях аналогично активизации ториевой нити, с той только разницей, что здесь не требуется начального мгновенного прогрева до высокой температуры. Процесс искусственного старения для обоих