

## ГЛАВА 1

# ЭЛЕКТРОВАКУУМНЫЕ И ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ ПРИБОРЫ

*Электронной лампой* называется прибор, в котором используется движение электронов между электродами, помещенными в вакууме.

Электронные лампы применяются для усиления, преобразования и генерирования электрических сигналов, для стабилизации напряжения и тока, а также для формирования импульсов. Электронные лампы по сравнению с полупроводниковыми приборами имеют большие габариты и массу, меньшую надежность и потребляют большую мощность.

В настоящее время некоторые типы ламп в отличие от транзисторов обладают большой единичной мощностью (200 и более кВт); по этой причине такие лампы удобно применять в промышленных генераторах (для нагревания металлов и других материалов), в мощных передатчиках радиостанций, в медицинской аппаратуре и т. д.

Следует отметить, что в последние годы достигнуты успехи в создании электронных ламп с безнакальными катодами, которые будут успешно конкурировать с транзисторами, а по ряду показателей и превосходить их.

В радиоэлектронных устройствах наряду с электронными лампами широкое применение находят приборы, принцип работы которых основан на использовании явлений электрического разряда в газах или парах ртути. Такие приборы называются *газоразрядными*.

Электронная лампа состоит из герметического баллона, в котором создан вакуум. В баллоне смонтированы два и более электрода с выводами на внешнюю часть.

Газоразрядный прибор имеет устройство аналогичное лампе. Баллон газоразрядного прибора, после

того как в нем создан вакуум, заполняется инертным газом (аргон, неон, ксенон, криптон), водородом или парами ртути, под небольшим давлением. Давление газа определяется типом и назначением прибора и может быть  $10^{-1}$ — $10^{-3}$  мм рт. ст.

В межэлектродном пространстве прибора перемещаются не только электроны, но и положительные ионы, получаемые в процессе ионизации атомов газа. Поэтому газоразрядные приборы называют еще и *ионными*. Необходимо отметить, что положительные ионы не играют существенной роли в создании анодного тока как непосредственные переносчики электрических зарядов, так как обладают значительно большей массой, чем электроны, следовательно, их подвижность значительно меньше подвижности электронов. Однако положительные ионы компенсируют отрицательный пространственный заряд, облегчая прохождение носителей заряда в газовой среде. Токи в газоразрядных приборах могут превышать на несколько порядков токи в электронных приборах, а внутреннее падение напряжения на них значительно меньше, чем падение напряжения на электронных приборах. Это позволяет получать высокий коэффициент полезного действия газоразрядных приборов.

В зависимости от целевого назначения газоразрядные приборы отличаются между собой по виду электрического разряда, уровню мощности и по конструкции.

## § 1.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ЭЛЕКТРОННЫХ ПРОЦЕССАХ

**Движение электрона в однородном электрическом поле.** В электронных приборах движение свободных электронов происходит под действием электрических или магнитных полей. В зависимости от направления начальной скорости электрона электрическое поле может его движение ускорять, тормозить или изменять направление.

Для выяснения физических процессов рассмотрим движение электрона в однородном электрическом поле. Представим себе, что в баллоне, в котором создан вакуум, расположены два взаимно параллельных электрода—катод  $K$  и анод  $A$  (рис. 1.1, *a*). Если к этим электродам присоединить

Таким образом, магнитное поле не изменяет энергии движущегося электрона, а изменяет только траекторию его движения. Это свойство магнитного поля используется в электронно-лучевых трубках и других электронных приборах.

**Работа выхода электронов.** Принцип действия электронных приборов основан на явлении электронной эмиссии — процессе выхода электронов с поверхности твердого тела в вакуум.

Как известно, свободные электроны в проводящих материалах находятся в непрерывном хаотическом движении. При обычных условиях электроны не могут выйти за пределы поверхности тел, так как этому препятствуют электрические силы взаимодействия электрона с телом. Чтобы электрон вылетел за пределы металла, он должен обладать энергией, достаточной для преодоления сил, удерживающих его в металле. Внутренней энергии электрона для этого недостаточно. Поэтому ему нужно сообщить дополнительную энергию извне. Наименьшая дополнительная энергия, которую необходимо сообщить электрону извне для преодоления сил, удерживающих его в металле, называется работой выхода и обозначается  $W_0$ . Она измеряется в электронвольтах. Работа выхода является одной из основных характеристик электронной эмиссии. Чем меньше  $W_0$ , тем лучше эмиссионные свойства материала. Значение работы выхода для различных металлов, используемых в электронных приборах, колеблется в пределах от 1,8 эВ для цезия до 4,5 эВ для вольфрама.

В зависимости от вида дополнительной энергии, используемой для того, чтобы электроны могли совершить работу выхода, различают несколько видов электронной эмиссии: термоэлектронную, фотоэлектронную, вторичную и электростатическую.

**Виды электронной эмиссии.** Термоэлектронной эмиссией называется процесс излучения электронов с поверхности нагретого металла. Этот вид электронной эмиссии широко используется в электровакуумных и некоторых ионных приборах. При нагревании металла электроны получают дополнительную энергию, скорость электронов, а следовательно, их кинетическая энергия возрастает, и некоторое число электронов преодолевает силы, препятствующие их выходу из металла во внешнее пространство. Чем

выше температура и меньше работа выхода металла, тем большее число электронов будет обладать энергией, достаточной для преодоления сил, препятствующих выходу электронов из металла.

*Фотоэлектронной эмиссией* называется процесс выхода электронов с поверхности металла, облучаемого лучистой энергией. Явление фотоэлектронной эмиссии носит название внешнего фотоэффекта. За счет поглощенной энергии светового потока увеличивается энергия электронов в металле. При этом электроны, получившие энергию, достаточную для совершения работы выхода, вылетают за пределы металла, создавая поток свободных электронов.

Фотоэлектронная эмиссия может возникать при облучении металла лучами видимого спектра, инфракрасными, ультрафиолетовыми и рентгеновскими. Этот вид эмиссии используется в фотоэлементах, фотоумножителях и в передающих телевизионных трубках.

*Вторичная электронная эмиссия*—это эмиссия электронов с поверхности металла при облучении его потоком электронов. Если электроны, движущиеся с большой скоростью, ударяются о поверхность металла, то их кинетическая энергия движения передается электронам металла. Электроны, получившие необходимую дополнительную энергию, вылетают с поверхности металла. При этом электроны, падающие на поверхность металла, называются первичными, а вылетающие из металла—вторичными.

Ток вторичной эмиссии зависит от свойств металла, состояния его поверхности, скорости и угла падения первичных электронов. Количественно вторичная эмиссия оценивается коэффициентом вторичной эмиссии  $\sigma$ , равным отношению количества вторичных электронов  $n_2$  к количеству первичных электронов  $n_1$ . Этот вид эмиссии используется в электронных умножителях и некоторых специальных радиолампах. В некоторых лампах вторичная эмиссия нарушает нормальную их работу.

*Электростатическая (автоэлектронная) эмиссия*—это эмиссия электронов с поверхности металла (холодного) под действием сильного ускоряющего электрического поля ( $10^6$ — $10^8$  В/см). Воздействие внешнего электрического поля эквивалентно уменьшению работы выхода электрона. Под действием этого

поля происходит как бы вырывание электронов из металла. Этот вид эмиссии используется в рентгеновских трубках, а также в некоторых газоразрядных и полупроводниковых приборах.

## § 1.2. ДВУХЭЛЕКТРОДНЫЕ ЛАМПЫ

**Устройство и принцип действия.** Электронные лампы, содержащие в своем баллоне два электрода — катод и анод, называют *двухэлектродными* или *диодами* (рис. 1.4, а).

Катод диода может быть как прямого, так и косвенного накала. Катод разогревают до рабочей температуры током источника накала. Под действием высокой температуры катод испускает поток свободных электронов.

Аноды диодов выполняются из тугоплавких металлов — никеля, молибдена или тантала и имеют плоскую или цилиндрическую форму.

В баллоне диода создают высокий вакуум ( $10^{-5}$ — $10^{-7}$  мм рт. ст.), необходимый для нормальной работы диода. Электроды внутри баллона крепятся на держателях. Для соединения электродов с элементами схемы предусмотрены специальные выводы — металлические штырьки. Условное графическое обозначение диодов приведено на рис. 1.4, б.

При работе диода на анод относительно катода подается напряжение, под действием которого в междуэлектродном пространстве создается электрическое поле. Если на

анод относительно катода подано напряжение положительной полярности, то электроны, испускаемые нагретым катодом, под действием электрического поля будут устремляться к аноду, создавая в анодной цепи ток  $I_a$ , называемый *анодным током*. Анодный ток направлен от анода к катоду, т. е. в противоположном на-

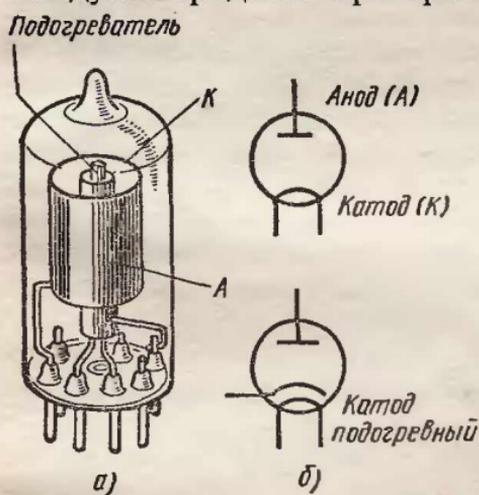


Рис. 1.4

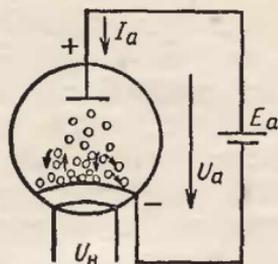


Рис. 1.5

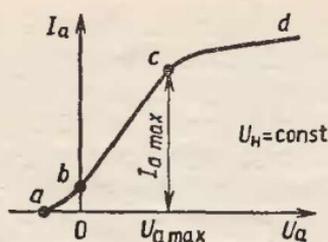


Рис. 1.6

правлении относительно движения электронного потока (рис. 1.5).

Когда на анод относительно катода подано напряжение отрицательной полярности, в пространстве между анодом и катодом создается тормозящее электрическое поле, при этом анодный ток прекращается, поскольку электроны под действием электрического поля возвращаются на катод. Таким образом, ток в диоде может протекать лишь в одном направлении — от анода к катоду. Следовательно, диод обладает вентильным свойством. Это свойство определяет основное назначение диода — выпрямление переменного тока.

Двухэлектродные лампы, применяемые для выпрямления переменного тока, называют *кеноotronами*.

**Характеристики и параметры диода.** При выборе электронных ламп для работы их в различных схемах руководствуются их характеристиками и параметрами.

Свойства двухэлектродной лампы определяются двумя характеристиками — эмиссионной  $I_a = f(U_H)$  при  $U_a = \text{const}$  и анодной  $I_a = f(U_a)$  при  $U_H = \text{const}$ .

Для практического применения диода основной интерес представляют анодные характеристики (рис. 1.6). Как видно из рис. 1.6, напряжение на аноде равно нулю, а анодный ток не равен нулю; через диод протекает небольшой, порядка нескольких микроампер, анодный ток, называемый начальным током (участок *ab*). Это объясняется тем, что некоторые электроны, испускаемые катодом, способны долететь до анода. Отрицательное напряжение на аноде, при котором анодный ток равен нулю, имеет значение порядка 0,5—0,7 В.

При повышении анодного напряжения ток возрастает, но не сразу достигает своего наибольшего значения — тока насыщения. В области малых анод-

отношение постоянного напряжения на аноде к величине получающегося анодного тока:

$$R_0 = U_a / I_a.$$

Для определения  $S$  и  $R_i$  на рабочем участке анодной характеристики строят характеристический треугольник  $ABC$  (рис. 1.7) и определяют два значения анодного тока при разных анодных напряжениях. Разность этих токов дает изменение тока  $\Delta I_a = I_{a2} - I_{a1}$ , а разность анодных напряжений дает напряжение  $\Delta U_a = U_{a2} - U_{a1}$ . Подставляя  $\Delta I_a$  и  $\Delta U_a$  в (1.9) и (1.10), вычислим  $S$  и  $R_i$ .

Рабочий режим диода определяется эксплуатационными параметрами. К таким параметрам относятся: номинальное напряжение накала  $U_{ном}$ , номинальный ток накала  $I_{ном}$ , допустимое обратное напряжение на аноде  $U_{обр\max}$ , допустимая мощность, рассеиваемая анодом  $P_{a\max}$ .

Допустимым обратным напряжением на аноде называют то максимальное напряжение отрицательной полярности на аноде диода, при котором не происходит электрического пробоя между анодом и катодом:

$$U_{a\text{обр}} \leq U_{\text{обр}\max}.$$

Допустимой мощностью рассеяния на аноде называют максимальную мощность на аноде, при которой происходит допустимый разогрев анода при продолжительной работе диода:

$$P_a \leq P_{a\max}.$$

**Применение двухэлектродных ламп.** Двухэлектродные лампы обладают свойством односторонней проводимости. Это свойство позволяет применять их для выпрямления переменного тока, детектирования высокочастотных модулированных напряжений, а также в схемах амплитудного ограничения и др.

Конструкция двухэлектродных ламп определяется их назначением и требуемым режимом работы. Для выпрямления переменного тока используют кенотроны, которые обладают повышенным током эмис-

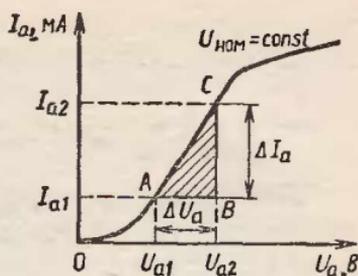


Рис. 1.7

сии, большой допустимой мощностью рассеяния и большими допустимыми обратными напряжениями.

### § 1.3. ТРЕХЭЛЕКТРОДНЫЕ ЛАМПЫ

**Устройство и принцип действия.** Трехэлектродная лампа, у которой между катодом и анодом расположен третий электрод—сетка, называется *триодом* (рис. 1.8). Этот электрод может быть выполнен в виде металлической сетки либо в виде спирали, окружающей катод, либо в виде ряда металлических стержней, расположенных возле катода. На рис. 1.9 показана конструкция триода (а) и его условные обозначения (б).

Сетка предназначена для управления анодным током, поэтому ее называют *управляющей сеткой*. Если к сетке относительно катода подвести отрицательный потенциал (рис. 1.10), то в пространстве сетка—катод образуется тормозящее электрическое поле, при этом не все электроны, эмиттируемые катодом, достигнут анода. Электроны, обладающие малыми начальными скоростями, возвращаются обратно на катод. Изменяя отрицательный потенциал, можно изменять значение анодного тока вплоть до его исчезновения. Отрицательное напряжение на управляющей сетке, при котором анодный ток равен нулю, называется *напряжением запирания лампы*. При положительном потенциале управляющей сетки

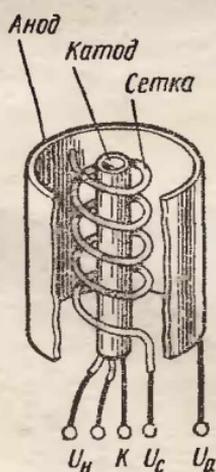


Рис. 1.8

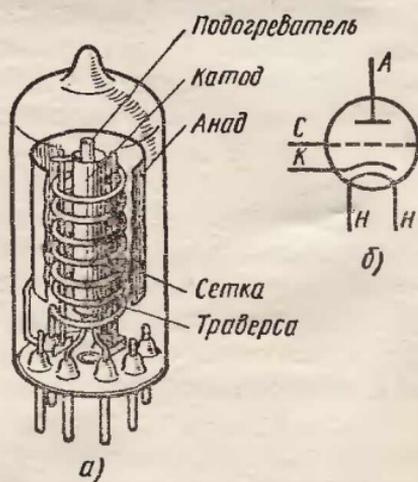


Рис. 1.9

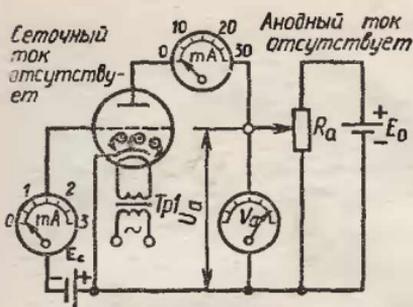


Рис. 1.10

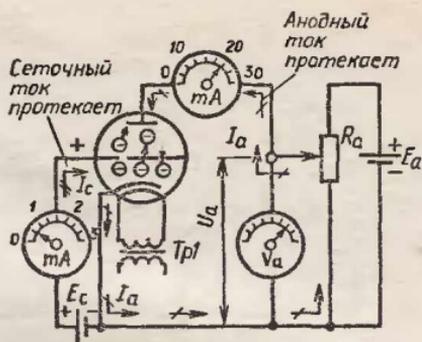


Рис. 1.11

(рис. 1.11) в пространстве сетка—катод создается ускоряющее электрическое поле. Основная масса электронов под действием ускоряющего поля сетки и анода попадают на анод, создавая анодный ток. Часть электронов устремляется к сетке, образуя сеточный ток.

При увеличении положительного потенциала сетки анодный и сеточный токи будут возрастать. При некотором напряжении на аноде — напряжении насыщения анодный ток достигает максимального значения — ток насыщения. С дальнейшим ростом положительного потенциала управляющей сетки в триоде произойдет перераспределение электронного потока, которое приведет к уменьшению анодного и к росту сеточного токов.

Поскольку управляющая сетка расположена ближе к катоду, чем анод, то ее влияние на изменение анодного тока значительно больше. Следовательно, для получения одинакового изменения анодного тока сеточное напряжение нужно изменить на меньшую величину, чем анодное. Этим объясняются усилительные свойства триода.

**Характеристика и параметры триода.** Зависимости анодного и сеточного токов от напряжений на электродах триода отображаются статическими характеристиками, т. е. характеристиками, снятыми при отсутствии нагрузки анодной цепи лампы.

Анодно-сеточная характеристика

$$I_a = f(U_c) \text{ при } U_a = \text{const};$$

анодная характеристика

$$I_a = f(U_a) \text{ при } U_c = \text{const};$$

БИБЛИОТЕКА  
Ульяновского техникума  
производства учета

**Достоинства и недостатки триодов.** К достоинствам триодов можно отнести простоту устройства и надежность в работе, а также малую степень внутриламповых шумов.

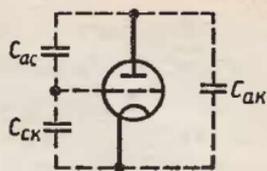


Рис. 1.14

Основными недостатками триодов являются: малый коэффициент усиления, невысокое внутреннее сопротивление и сравнительно большие междуэлектродные емкости.

Создать триод с большим коэффициентом усиления невозможно. Это объясняется тем, что для его получения необходимо управляющую сетку делать густой, но тогда анодно-сеточная характеристика сдвигается вправо, т. е. основной своей частью лежит в области положительных напряжений на сетке, что не позволяет работать без сеточных токов.

В триодах различают три междуэлектродные емкости: емкость между анодом и катодом  $C_{ак}$ , емкость между сеткой и катодом  $C_{ск}$  и емкость между анодом и сеткой  $C_{ас}$  (рис. 1.14). Междуэлектродные емкости триода составляют несколько пикофард. При работе триода на низких частотах сопротивление этих емкостей велико и они практически не оказывают никакого влияния на работу триода. На высоких частотах сопротивление емкостей уменьшается и оказывает влияние на работу триода. Особенно вредное воздействие оказывает емкость между анодом и сеткой, которую называют *проходной*. Через эту емкость энергия из анодной цепи переходит в цепь сетки, что часто приводит к самовозбуждению усилителя, собранного на триоде.

Небольшое внутреннее сопротивление оказывает шунтирующее действие на высокоомную нагрузку схемы.

**Применение триодов.** Триоды могут быть использованы в различных радиоэлектронных устройствах для усиления и генерирования. В зависимости от целевого назначения триоды отличаются конструктивным оформлением, максимальной рабочей частотой, величиной мощности рассеяния, характеристиками и параметрами.

Необходимо отметить, что с развитием полупроводниковых приборов ламповые триоды во многих радиоэлектронных устройствах заменяются полупро-

водниковыми триодами — транзисторами. В настоящее время лампы триоды применяются для усиления и генерирования колебаний средней и большой мощности.

#### § 1.4. МНОГОЭЛЕКТРОДНЫЕ И КОМБИНИРОВАННЫЕ ЛАМПЫ

После триодов были разработаны четырехэлектродные лампы (тетроды) и ряд других многосеточных ламп. В этих лампах устранены недостатки триода путем введения между управляющей сеткой и анодом второй сетки (экранирующей) в тетроде и третьей сетки в пентоде.

В результате экранирования резко снижается проходная емкость лампы и она становится на два-три порядка меньше, чем у триода, т. е. составляет сотые доли пикофарад. Кроме того, увеличивается коэффициент усиления  $\mu$  и внутреннее сопротивление  $R_i$  лампы.

В некоторых электронных схемах используются электронные лампы с двумя управляющими сетками, на которые подаются переменные напряжения разной частоты. Благодаря этому в таких лампах анодный ток управляется сразу двумя напряжениями и изменяется по сложному закону.

Для уменьшения габаритов электронных устройств, упрощения монтажа и экономии питания широко применяют комбинированные электронные лампы, содержащие в одном баллоне две или более системы электродов отдельных ламп, работающих независимо одна от другой (рис. 1.15): двойной диод (а) с разделенными катодами; двойной диод — триод (б); диод — пентод (в).

Маркировка электронных ламп. Обозначения приемно-усилительных ламп состоят из нескольких цифр-

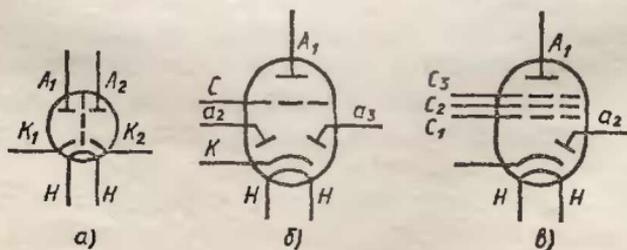


Рис. 1.15

ровых и буквенных элементов. Первый элемент — число, указывающее напряжение накала в вольтах (округленно). Второй элемент — буква, характеризующая тип лампы: Д — диоды, Ц — кенотроны, Х — двойные диоды, С — триоды, Н — двойные триоды, П — выходные пентоды и лучевые тетроды, Ж — пентоды с короткой характеристикой, К — пентоды с удлиненной характеристикой, Г — диод — триод, Б — диод — пентоды, А — многосеточные лампы. Третий элемент — порядковый номер данного типа лампы.

Четвертый элемент — буква, характеризующая конструктивное оформление лампы: С — в стеклянном баллоне диаметром более 22,5 мм; П — миниатюрные (пальчиковые) в стеклянном баллоне диаметром 19 и 22,5 мм; Б — сверхминиатюрные в стеклянном баллоне диаметром от 6 до 10,5 мм; А — сверхминиатюрные в стеклянном баллоне диаметром от 4 до 6 мм.

Например: 6ДБА — напряжение накала 6,3 В; диод сверхминиатюрный в стеклянном баллоне диаметром 6 мм; шестой номер разработки; 1Ц21П — напряжение накала 1,4 В; кенотрон пальчиковой серии с диаметром баллона 22,5 мм; двадцать первый номер разработки.

## § 1.5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РАЗРЯДЫ В ГАЗАХ

*Электрическим разрядом* называют совокупность явлений, происходящих в разряженном газе или парах ртути при протекании электрического тока. К таким явлениям можно отнести возбуждение атомов газа, ударную ионизацию, при которой нейтральные атомы газа расщепляются на электроны и положительные ионы, и рекомбинацию — восстановление нейтральных атомов газа.

В газоразрядных приборах используются два вида электрических разрядов — несамостоятельный и самостоятельный.

Возникновение ионизации газа при несамостоятельном разряде происходит под воздействием внешних факторов ионизации (радиоактивные, рентгеновские и космические излучения) либо источников электронной эмиссии. В газоразрядных приборах для поддержания несамостоятельного разряда используется термоэлектронная или фотоэлектронная эмиссия.

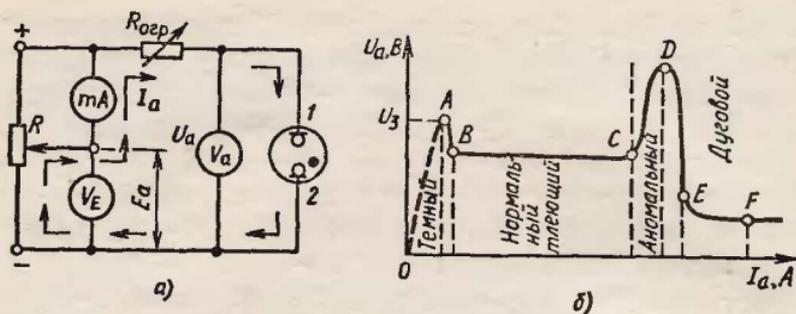


Рис. 1.16

Самостоятельный электрический разряд возникает при воздействии внешних факторов ионизации, но после того как установится самостоятельный разряд, действие внешних факторов ионизации не оказывает существенного влияния. Разряд будет продолжаться под действием электрического поля.

Для уяснения процессов, происходящих в газоразрядном приборе, рассмотрим вольт-амперную характеристику (рис. 1.16, б) простейшего прибора, состоящего из стеклянного баллона, заполненного газом, и двух холодных электродов.

Вольт-амперную характеристику получают опытным путем с помощью схемы, представленной на рис. 1.16, а.

Начальная ионизация атомов газа происходит под действием внешних факторов ионизации. Электроны под действием электрического поля будут двигаться к аноду, а ионы — к катоду. Движение электронов и ионов образуют электрический ток несамостоятельного разряда (см. рис. 1.16, б). Ток и падение напряжения на ограничительном резисторе  $R_{огр}$  имеют небольшое значение, свечения газа не происходит. Этот разряд называется *темным несамостоятельным разрядом* (участок OA) и является переходным этапом к самостоятельному разряду. При некотором напряжении  $U_з$ , называемом *напряжением зажигания*, ионы приобретают достаточную скорость для создания электронной эмиссии с поверхности катода. Электроны, вылетающие из катода, усиливают процесс ионизации газа, что вызывает рост тока. Разряд не будет зависеть от внешних факторов ионизации. При этом несамостоятельный разряд переходит в самостоятельный, который на этой стадии называется *темным самостоятельным разрядом* (участок AB).

После зажигания в приборе наступает режим нормального тлеющего разряда (участок  $BC$ ), сопровождаемый свечением газа, уменьшением внутреннего сопротивления прибора, ростом тока и постоянством напряжения между его электродами. Вслед за нормальным тлеющим разрядом происходит аномальный тлеющий разряд (участок  $CD$ ), при котором ионизация газа становится более интенсивной, что приводит к уменьшению сопротивления. Для увеличения тока при аномальном разряде необходимо увеличить подводимое напряжение или уменьшить ограничительное сопротивление.

После аномального тлеющего разряда возможен дуговой разряд (участок  $EF$ ), возникающий при термоэлектронной эмиссии холодного катода. При дуговом разряде уменьшается внутреннее сопротивление прибора и падение напряжения на его электродах до 12—15 В. Величина тока при дуговом разряде может быть ограничена с помощью ограничительного сопротивления  $R_{огр}$ . В практических устройствах могут применяться газоразрядные приборы как с несамостоятельным, так и с самостоятельным разрядом.

Темный разряд в газах имеет применение в газоразрядных фотоэлементах и в счетчиках радиоактивного излучения (счетчики Гейгера). На основе нормального тлеющего разряда создана многочисленная группа газоразрядных приборов. К этой группе относятся стабилитроны, тиратроны с холодным катодом, неоновые лампы, цифровые индикаторы, декатроны и целый ряд других приборов. Аномальный разряд нашел применение в лампах дневного света.

## § 1.6. ГАЗОРАЗРЯДНЫЕ ПРИБОРЫ С САМОСТОЯТЕЛЬНЫМ РАЗРЯДОМ

**Неоновые лампы.** Неоновые или газосветные лампы являются простейшими типами приборов тлеющего разряда, у которых тлеющее свечение используется для световой сигнализации и индикации.

Цвет тлеющего свечения зависит от вида газа. Обычно баллон неоновых ламп заполняют неоном с небольшими примесями других инертных газов. Неоновые лампы имеют два холодных электрода, форма

которых определяется назначением неоновых ламп. Неоновые лампы могут использоваться в цепях постоянного и переменного тока.

Для того чтобы тлеющий разряд не перешел в дуговой, в цепь неоновых ламп включается ограничительное сопротивление, которое иногда монтируется в цоколе лампы.

Неоновые лампы кроме световой сигнализации и индикации могут использоваться для получения пилообразного напряжения. В режиме нормального тлеющего разряда они могут работать как стабилитроны.

Условное изображение неоновой лампы приведено на рис. 1.16, а.

**Люминесцентные сигнальные индикаторные лампы.** Люминесцентные сигнальные лампы тлеющего разряда содержат два электрода, помещенных в баллоне, внутренняя часть которого покрыта люминофором.

Под воздействием приложенного напряжения между электродами возникает тлеющий разряд, при котором возникает невидимое ультрафиолетовое излучение. Это излучение воздействует на люминофорное покрытие лампы и вызывает видимое свечение люминофора. Сигнальные лампы включаются в сеть последовательно с балластным резистором. В обозначении этих приборов буквы указывают: Т — тлеющий разряд, Л — люминесцентная, О — оранжевого свечения, З — зеленого свечения, Ж — желтого свечения, Г — голубого свечения. Первая (после буквы) цифра указывает номинальный ток в миллиамперах. Вторая цифра характеризует напряжение зажигания (1-145В, 2-185В). В настоящее время промышленность выпускает лампы типов ТЛО-1-1, ТЛЗ-3-1, ТЛЖ-3-2, ТЛГ-3-1 и т. д.

**Стабилитрон.** *Стабилитронами* называются газоразрядные приборы, предназначенные для поддержания на неизменном уровне напряжения на нагрузочном сопротивлении при значительных колебаниях тока нагрузки или напряжения питающей сети. Принцип работы газоразрядных стабилитронов основан на использовании нормального тлеющего разряда, при котором изменение тока в некоторых пределах почти не вызывает изменения напряжения на их электродах. Это следует из вольт-амперной характеристики, приведенной на рис. 1.16, б (участок ВС).

Стабилитрон в простейшем выполнении состоит из двух электродов, помещенных в стеклянном баллоне. Катод имеет цилиндрическую форму, анод выполнен в виде отрезка никелевой проволоки, расположенной вдоль оси катода.

Для уменьшения работы выхода электронов внутренняя поверхность катода активизирована. Баллон наполняется смесями инертных газов. До заполнения приборов газом в баллоне создают вакуум.

Выпускаемые типы стабилитронов классифицируются по напряжению стабилизации. Электрический режим работы стабилитрона определяется его вольт-амперной характеристикой.

Основными параметрами стабилитрона являются: напряжение зажигания разряда  $U_3$ ; напряжение горения разряда  $U_{ст} = U_r$ ; диапазон рабочих токов  $I_{ст\ min}$ ,  $I_{ст\ max}$ ; изменение напряжения горения  $\Delta U_r = \Delta U_{ст}$ ; внутреннее сопротивление  $R_i = \Delta U_{ст} / (I_{ст\ max} - I_{ст\ min})$ .

Схема включения стабилитрона приведена на рис. 1.17.

Падение напряжения в схеме распределяется между резистором ограничения  $R_{огр}$  и стабилитроном. При увеличении напряжения источника питания внутреннее сопротивление стабилитрона уменьшается; ток, проходящий через стабилитрон, возрастает. Падение напряжения на ограничительном резисторе при этом увеличивается. При правильно подобранных элементах схемы падение напряжения на  $R_{огр}$  увеличится на столько, на сколько увеличилось напряжение источника питания. При уменьшении напряжения питания  $E$  внутреннее сопротивление стабилитрона увеличивается, а ток, проходящий через него, уменьшается. Падение напряжения на ограничительном резисторе уменьшается. Таким образом, при изменении напряжения источника питания все время происходит перераспределение напряжения между стабилитроном и ограничительным резистором. Так как нагрузка подключается параллельно стабилитрону, то и на ней напряжение будет почти постоянным. Пределы стабилизации ограничены минимальным

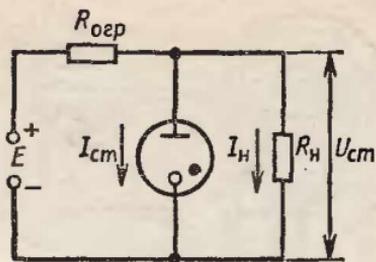


Рис. 1.17

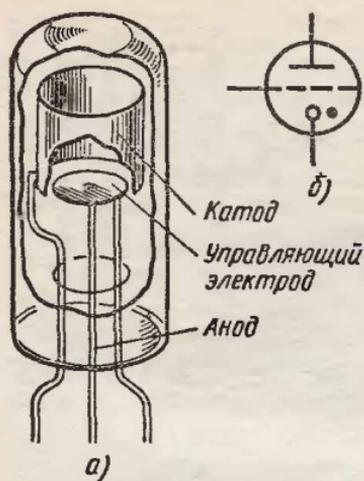


Рис. 1.18

При необходимости поддерживать напряжение, большее напряжения стабилизации одного стабилитрона, допускается последовательное включение нескольких однотипных стабилитронов.

У высоковольтных стабилитронов напряжение стабилизации около 1000 В при токах от 10 до 60 мА.

**Тиратрон тлеющего разряда.** В простейшем исполнении тиратрон тлеющего разряда представляет собой трехэлектродный прибор, баллон которого заполнен инертным газом. Кроме катода и анода в тиратроне имеется вспомогательный управляющий электрод (УЭ), который обеспечивает управление моментом открывания тиратрона.

На рис. 1.18, а представлена конструкция тиратрона тлеющего разряда типа МТХ-90, а на рис. 1.18, б — графическое обозначение.

Катод тиратрона представляет собой никелевый цилиндр, внутренняя поверхность которого активизирована цезием. Анод расположен в нижней части баллона и выполнен в виде молибденового стержня. Для получения газового разряда в нужном направлении анод с боковых сторон окружен стеклянным патрубком. Управляющий электрод, расположенный между анодом и катодом, представляет собой металлический диск с отверстием в центре.

Уровень напряжения между анодом и катодом в тиратроне подбирается таким, при котором без участия поля управляющего электрода разряд не возможен (рис. 1.19, б). При подаче на управляющий электрод положительного потенциала (рис. 1.19, а)

$I_{ст\ min}$  и максимальным  $I_{ст\ max}$  токами стабилитрона. При изменении тока в этих пределах падение напряжения на стабилитроне почти не изменяется.

Так как режим стабилизации напряжения в рассматриваемой схеме определяется напряжением горения разряда  $U_r = U_{ст}$ , являющегося основным параметром стабилитрона, то такую схему стабилизации называют параметрической.

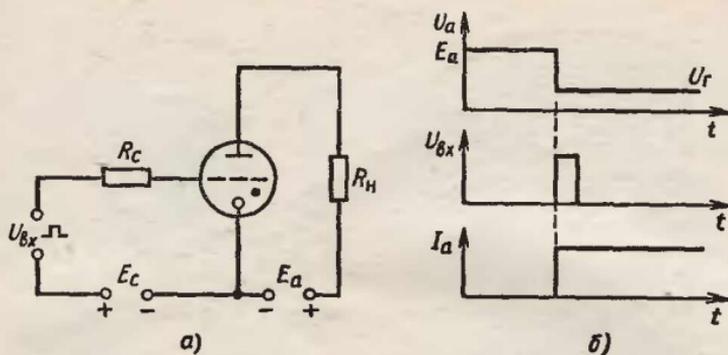


Рис. 1.19

потенциал зажигания тиратрона снижается и тиратрон открывается. При этом напряжение на аноде снижается до горения. Падение напряжения на балластном сопротивлении увеличивается пропорционально уменьшению напряжения на аноде тиратрона. Анодный ток, получаемый при открытии тиратрона, значительно больше тока в цепи его управляющего электрода. Это характеризует усилительные свойства тиратрона.

С момента зажигания тиратрона ток в анодной цепи его остается неизменным (рис. 1.19, б). Тиратрон закрывается лишь после снятия или снижения анодного напряжения до значения меньшего, чем напряжения горения  $U_r$ .

После зажигания тиратрона изменением потенциала управляющего электрода погасить его нельзя. Это объясняется тем, что поле управляющего электрода нейтрализуется положительными ионами плазмы.

Тиратроны применяются в электронных реле, позволяющих при малых токах в управляющей цепи коммутировать силовоточные схемы.

*Цифровым индикатором* или *цифровой лампой* называют многоэлектронный газоразрядный прибор, работающий в режиме аномального тлеющего разряда, позволяющий производить визуальный контроль числовых величин.

Внешний вид цифрового индикатора показан на рис. 1.20, а. В стеклянном баллоне прибора, заполненном после создания в нем вакуума смесью инертных газов, размещены на разных уровнях десять плоских катодов, имеющих форму десяти арабских цифр (от 0

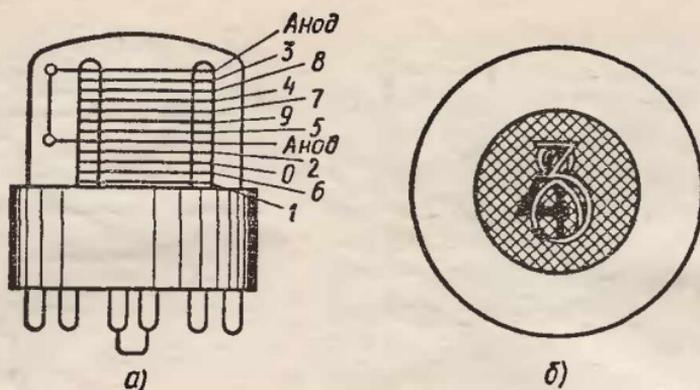


Рис. 1.20

до 9). Прибор имеет два анода, выполненных в виде двух металлических сеток. Один из анодов расположен над катодами, а другой — между катодами, изображающими цифры 5 и 2.

Разряд возможен между анодом и тем катодом, на который будет подан наиболее отрицательный потенциал.

Промышленность выпускает цифровые индикаторы с торцевой индикацией (рис. 1.20, б) и боковой.

При торцевой — электроды располагаются горизонтально, а при боковой — вертикально. При боковой индикации цифры имеют несколько большие размеры.

Цифровые индикаторы применяются в счетно-решающих машинах, калькуляторах и различных измерительных приборах.

### Контрольные вопросы

1. Как влияет электрическое поле на движение электрона?
2. Определить кинетическую энергию электрона при ударе о поверхность анода, если его конечная скорость соответствует разности потенциалов 150 В, а масса электрона  $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$  кг.
3. Как влияет магнитное поле на движение электрона?
4. Какие существуют виды электронной эмиссии?
5. Почему ламповый диод является выпрямителем переменного тока?
6. Крутизна характеристики диода  $S = 20$  мА/В. Найти внутреннее сопротивление диода и объяснить физический смысл этого параметра.
7. Объяснить смысл параметров диода.
8. Какова роль управляющей сетки в триоде?
9. Какие характеристики триода вы знаете?