

Тема 13. Электровакуумные и газоразрядные приборы

1. Общие сведения об электровакуумных приборах и электронных лампах

Электровакуумные приборы – это электронные приборы, в которых проводимость осуществляется посредством электронов или ионов, движущихся между электродами через вакуум или газ.

Электровакуумные приборы подразделяют на *электронные* и *ионные*. В электронных приборах, к которым относятся электронные лампы, прохождение электрического тока осуществляется только за счёт свободных электронов, в ионных – как за счёт свободных электронов, так и за счёт ионов.

В настоящее время электронные лампы всё более вытесняются полупроводниковыми приборами. Однако при больших частотах и мощностях электронные лампы ещё находят широкое применение.

Во всех электронных лампах источником свободных электронов является специальный электрод, называемый катодом. Катод испускает электроны за счёт явления термоэлектронной эмиссии.

Термоэлектронной эмиссией называют явление испускания электронов нагретым металлом (катодом). Вокруг катода образуется электронное облако, внутри которого электроны перемещаются в различных направлениях. Плотность электронного облака зависит от температуры катода. Если на электронное облако действует внешнее ускоряющее поле, то электроны облака перемещаются от катода, т.е. появляется ток I_{ε} , называемый током эмиссии.

В зависимости от способа подогрева различают катоды прямого и косвенного накала. Нагревание катодов прямого накала происходит за счёт тока, проходящего по самому катоду. Нагрев катодов косвенного накала осуществляется нитью накала (подогревателем), помещённой внутри катода и изолированной от него.

2. Электровакуумный диод

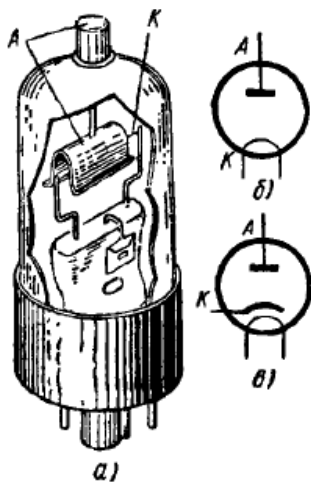


Рис. 13.1. Устройство (а) и условное обозначение электронного диода с катодом прямого накала (б) и косвенного накала (в)

Диод представляет собой электронную лампу, имеющую два электрода. Конструктивно диод выполнен в виде стеклянного или металлического баллона (рис. 13.1), внутри которого создан высокий вакуум (10^{-5} Па). В баллоне размещают два электрода: *анод* (А) и *катод* (К). На участок анод-катод диода подаётся напряжение U_a , называемое анодным. Когда это напряжение положительно, между анодом и катодом создаётся ускоряющее электрическое поле. Под его действием электроны, испускаемые катодом, устремляются на анод, замыкая цепь анодного тока I_a .

Если анодное напряжение отрицательно, электрическое поле между анодом и катодом становится для электронов тормозящим и практически ни один электрон электронного облака, возникающего вокруг катода, не попадает на анод. Цепь анодного тока разорвана, и $I_a = 0$. Отсюда следует важный вывод: **диод обладает свойством односторонней проводимости.**

3. Электривакуумный триод

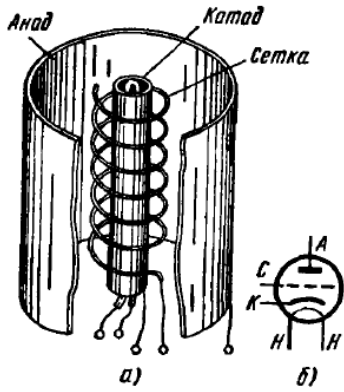


Рис. 13.2. Устройство (а) и условное обозначение (б) электронного триода

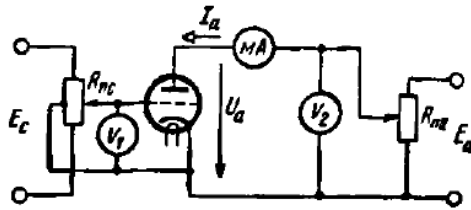


Рис. 13.3. Схема для снятия характеристик триода

Триодом называется электронная лампа, у которой в пространстве между анодом и катодом помещён третий электрод (управляющий) – *сетка*. Триоды служат для усиления и генерирования переменных напряжений и токов. На участок сетка-катод лампы подают сеточное напряжение, полярность которого может изменяться. Таким образом, на электроны потока действуют результирующее электрическое поле анода и сетки. Однако действие поля сетки гораздо сильнее, так как расстояние между сеткой и катодом в сто раз меньше, чем расстояние между анодом и катодом. Следовательно, при изменении сеточного напряжения в небольших пределах количество электронов, попадающих на анод, а значит, и анодный ток I_a сильно изменяются.

Анодно-сеточная характеристика (рис. 13.4) – это зависимость анодного тока I_a от сеточного напряжения U_c при анодном напряжении $U_a = const$.

Анодная характеристика (рис. 13.5) – это зависимость I_a от U_a при $U_c = const$.

Крутизна анодно-сеточной характеристики S (рис. 13.6) определяется на линейном участке анодно-сеточной характеристики триода и показывает, на сколько миллиампер изменится анодный ток лампы при изменении сеточного напряжения на 1В при неизменном анодном напряжении:

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_c} \text{ при } U_a = const$$

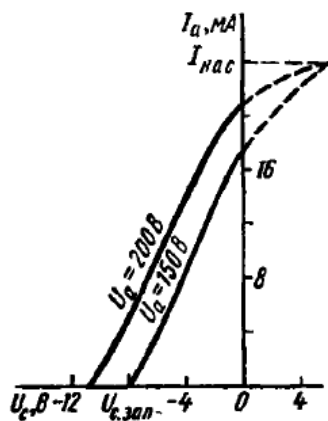


Рис. 13.4. Семейство анодно-сеточных характеристик триода

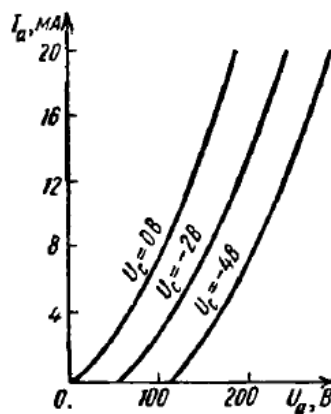


Рис. 13.5. Семейство анодных характеристик

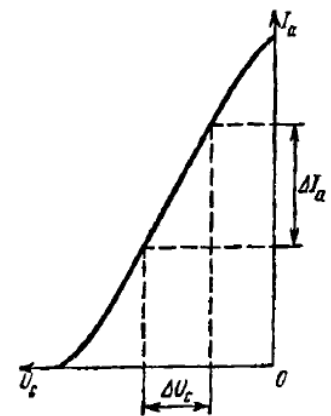


Рис. 13.6. Характеристика для определения S

4. Общие сведения об ионных (газоразрядных) приборах

В отличие от электронных (вакуумных) ламп в *ионных*, или *газоразрядных*, приборах ток создается не только направленным перемещением свободных электронов, но и вследствие перемещения заряженных частиц газа или паров ртути - *ионов*.

В обычных условиях газ содержит ничтожное количество свободных электронов и ионов (носителей зарядов) и абсолютное большинство атомов и молекул газа электрически нейтральны (не заряжены). Поэтому в обычных условиях газ является хорошим диэлектриком.

Проводимость газа может быть вызвана его ионизацией сильным электрическим полем, высокой температурой, радиоактивными и космическими лучами. Газ становится проводником, если он содержит большое количество носителей заряда - свободных электронов и ионов.

Ионные приборы наполнены разреженным газом или парами ртути и при своем движении электроны сталкиваются с атомами газа или ртутного пара. При соударении электроны отдают часть своей энергии атомам газа. При достаточно большой скорости электрона энергия, полученная атомом, оказывается достаточной для его *возбуждения* или *ионизации*.

В возбужденном атоме один из его электронов под действием полученной при соударении энергии переходит на более высокий энергетический уровень (на более удаленную от ядра орбиту) и из-за неустойчивости этого положения очень быстро возвращается на свой прежний уровень, выделяя избыток энергии в виде светового излучения, так что газ будет *светиться*.

Если энергия, полученная атомами в результате соударения, достаточна для их расщепления на электроны и ионы, то происходит *ионизация газа*.

Процесс образования носителей зарядов в результате столкновения свободных электронов с атомами газа называется ионизацией соударением, или *ударной ионизацией*.

В результате соударения свободные электроны могут выбить электроны из нейтральных молекул (атомов) или присоединиться к ним. В первом случае образуются ионы *положительно заряженные*, во втором - *отрицательно заряженные*.

Под действием электрического поля, созданного напряжением, приложенным к электродам прибора, носители зарядов перемещаются в направлении электрического поля (от положительного электрода к отрицательному - положительные ионы, и в противоположном направлении - электроны и отрицательно заряженные ионы).

Если напряжение между электродами ионного прибора (анодом и катодом) увеличить до определенной величины, называемой *напряжением зажигания*, то скорость электронов и их кинетическая энергия становятся достаточными, чтобы при столкновении с нейтральными атомами ионизировать их.

Вновь полученные вторичные заряды также ионизируют нейтральные атомы газа, т. е. процесс ионизации развивается лавинообразно. Промежуток между электродами заполняется ионизированным газом - газовой плазмой, обладающей высокой проводимостью. При этом число свободных электронов, а также ток через прибор резко возрастают и начинается *тлеющий разряд*, переходящий в *самостоятельный*, не требующий внешнего ионизатора для его поддержания

Тлеющий разряд сопровождается *свечением газа* и характерным шипящим звуком. Поддерживается тлеющий разряд при определенном напряжении между электродами, которое немного меньше напряжения зажигания (на несколько вольт).

При *дуговом разряде* плотность тока значительно больше, чем при тлеющем разряде. Таким образом, дуговой разряд может возникнуть при тлеющем разряде, если напряжение на разрядном промежутке повысится до некоторого значения, называемого *напряжением зажигания дуги*. При этом дуга поддерживается вследствие

термоэлектронной эмиссии катода, раскаленного ударами положительных ионов, и разряд называется *самостоятельным*. Если термоэлектронная эмиссия катода создается нагревом катода от постороннего источника питания, то - дуговой разряд будет *несамостоятельным*.

5. Газотрон

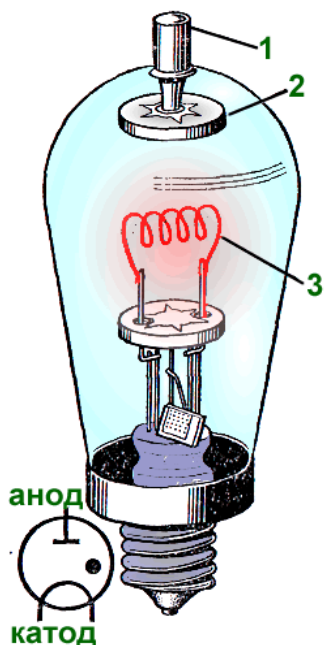


Рис. 13.7. Газотрон

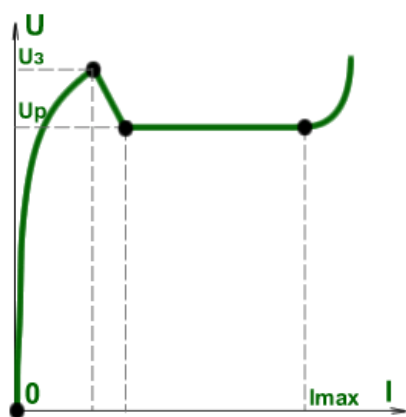


Рис. 13.8. Вольт-амперная характеристика газотрона

Газотрон представляет собой двухэлектродный ионный (газоразрядный) прибор, работающий в режиме несамостоятельного дугового разряда и предназначенный для выпрямления переменного тока.

Стеклянный (или металлический) баллон газотрона заполняется парами ртути или инертным газом при низком давлении. Внутри баллона помещены два электрода – анод 2 с выводом 1 и катод 3 (рис. 13.7). С повышением анодного напряжения от нуля в газотроне возникает небольшой электронный ток, как и в вакуумном диоде, так как электроны в слабом электрическом поле перемещаются от катода к аноду с малой скоростью, недостаточной для ионизации газа. Этому режиму работы соответствует начальный участок вольтамперной характеристики (рис. 13.8). При повышении анодного напряжения до значения, равного потенциалу зажигания U_z , электроны под действием электрического поля развивают скорости, достаточные для возбуждения ионизации атомов газа или паров ртути, т. е. в приборе начнется процесс ионизации газа, вследствие чего образуется плазма и возникает дуговой разряд. Напряжение анода газотрона при его зажигании несколько уменьшается до рабочего напряжения U_p , после чего остается почти неизменным при изменении тока в газотроне.

Перед включением нагрузки катод должен быть прогрет в течение времени, указанного в паспортных данных газотрона.

6. Тиратрон

Тиратрон является ионным прибором с тремя или четырьмя электродами, моментом зажигания которого можно управлять.

Различают тиратроны с горячим нагреваемым катодом (несамостоятельным дуговым разрядом) и с холодным катодом (работающие в режиме самостоятельного тлеющего разряда).

Устройство тиратрона с накаливаемым (горячим) катодом показано на рис. 13.9, а его условное графическое обозначение – на рис. 13.10.

В баллоне б, заполненном разреженным инертным газом, размещают анод 1, катод 4 и управляющий электрод 2. Нагревание вольфрамового катода производится постоянным или переменным током. Тепловой экран 3 в виде закрытого цилиндра с

отверстием в торце уменьшает потери теплоты катодом и направляет электроны к аноду через отверстия в управляющем электроде (сетке). Анод и сетку изготавливают из никеля.

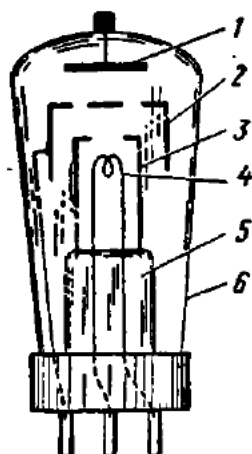


Рис. 13.9. Устройство тиратрона с горячим катодом:
1 – анод; 2 – сетка; 3 – тепловой экран; 4 – катод;
5 – стеклянное основание; 6 - баллон

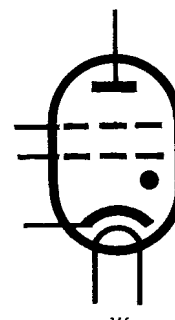


Рис. 13.10. Условное графическое обозначение тиратрона с горячим катодом косвенного накала

Пусть к аноду тиратрона подведено положительное напряжение, значение которого превышает напряжение зажигания дугового разряда. На сетку подано отрицательное напряжение, создающее потенциальный барьер, непреодолимый для эмиттировавших из катода электронов. В таком состоянии тиратрон погашен, анодный ток равен нулю. При подаче на сетку управляющего сигнала, компенсирующего отрицательный потенциал, электроны устремляются от катода к аноду, ионизируя по пути молекулы газа. Вспыхивает дуговой разряд, ток которого практически ограничивается только сопротивлением нагрузки в цепи анода. Возрастание тока от нуля до номинального значения происходит очень быстро, за 10^{-8} с. Таким образом, с помощью управляющего электрода можно регулировать момент зажигания тиратрона.

Если снова подать на сетку отрицательное напряжение, то это никак не повлияет на ток дугового разряда, так как положительные ионы газа притягиваются к сетке, компенсируя ее отрицательный потенциал. Чтобы погасить тиратрон, надо выключить анодное напряжение.

7. Стабилитрон

Стабилитрон (рис. 13.11) представляет собой двухэлектродную газонаполненную лампу тлеющего разряда с холодным катодом. Катод 1 в виде полого цилиндра изготавливают из никеля, внутреннюю поверхность катода активируют. Анод 2 в форме стержня устанавливают по оси катода. К катоду приваривается проволочка, свободный конец которой размещается возле анода, не касаясь его. Эта проволочка инициирует процесс разряда и называется поджигающим электродом 3.

Вольт-амперная характеристика стабилитрона показана на рис. 13.12.

Рабочие режимы лампы соответствуют линейному участку вольт-амперной характеристики *В-Г*, напряжение стабилизации в точке *а* равно 150 В.

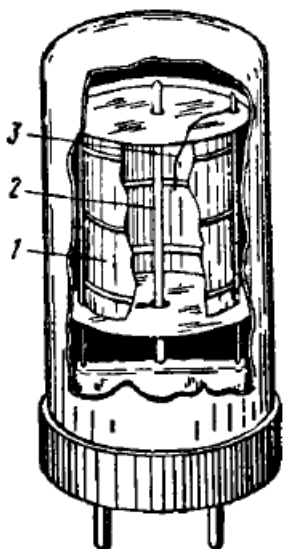


Рис. 13.11. Устройство стабилитрона тлеющего разряда

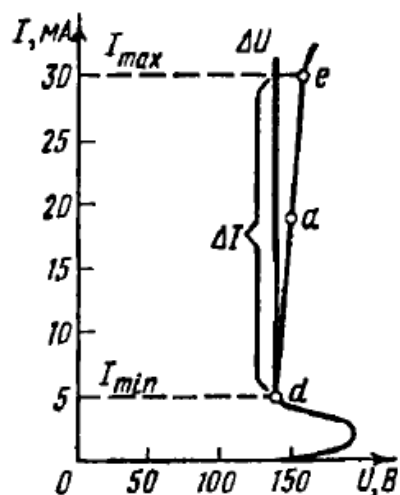


Рис. 13.12. Вольт-амперная характеристика стабилитрона СГ4С

8. Маркировка электровакуумных и газоразрядных приборов

Обозначение электровакуумных приборов состоит из четырёх элементов: первый – число, округлённо указывающее напряжение накала лампы в вольтах; второй – буква, определяющая тип прибора, например, Д – диод, Х – двойной триод, С – триод, Н – двойной триод; третий – число, указывающее порядковый номер разработки; четвёртый – буква, определяющая тип баллона, например, С – стеклянный, К – керамический, П – пальчиковая лампа со стеклянным баллоном, отсутствие четвёртого элемента означает металлический баллон. Примеры – 6Х6С – напряжение накала 6,3 В, двойной диод, тип 6, баллон стеклянный; 6Н8С – напряжение накала 6,3 В, двойной триод, тип 8, баллон стеклянный.

Маркировка газоразрядных приборов включает три или четыре элемента: первый определяет тип прибора: ТХ – тиратрон с холодным катодом, ТГ – тиратрон с горячим катодом, СГ – стабилитрон газоразрядный; далее – цифры, определяющие группу прибора и его характеристики. Например, ТГИ2-400/16 – тиратрон с горячим катодом, импульсный, наполнение – водород, ток анода в импульсе – 400 А, прямое напряжение анода – 16 кВ. СГ4С – стабилитрон газоразрядный тлеющего разряда, тип 4, оформление стеклянное.