

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №4: Исследование вакуумного триода

Цель работы – ознакомиться с устройством, принципом действия вакуумного триода и исследовать его статистические характеристики и параметры.

1. Краткие теоретические сведения. Устройство и условное обозначение электронных ламп.

Электронным электровакуумным прибором называется прибор, в котором прохождение электрического тока осуществляется только свободными электронами в рабочем пространстве с высоким разрежением.

Работа всех электронных электровакуумных приборов основана на термоэлектронной эмиссии, т.е. явлении выхода электронов из нагретого металла или полупроводника, называемого катодом.

Электронные электровакуумные приборы с термоэлектронным (накаливаемым) катодом и управляемым током, предназначенные для генерирования, усиления и преобразования электрических колебаний в диапазоне радиочастот, называют обычно радиолампами или электронными лампами.

Основными элементами электронной лампы являются (рис.1): вакуумный баллон (стеклянный, металлический или металлокерамический), внутри которого размещены электроды (анод, катод и сетка); простейшая электронная усилительная лампа, называемая триодом, имеет три электрода – катод, анод и сетку.

Катод предназначен для излучения (эмиттирования) электронов при нагреве его до высокой температуры.

В зависимости от способа нагревания различают катоды прямого и косвенного накала.

Катод прямого накала представляет собой нить из тугоплавкого металла – вольфрама (реже из тантала), питается постоянным током. Катод косвенного накала или подогреваемый катод (рис.2) состоит из подогревателя 1, выполненного из танталовой или вольфрамовой проволоки, никелевого цилиндра (собственно катод) 2, покрытого оксидным слоем (углекислые соли бария, стронция, кальция) 3, для уменьшения работы выхода электронов, изолятора 4 из окиси алюминия, который отделяет цепь накала от цепи анодного тока.

Питаются подогреваемые катоды, как правило, переменным током (6,3 В).

Основные недостатки катодов прямого накала:

- необходимость иметь постоянный ток для нагревания и накала;
- при включении в цепь переменного тока происходит пульсация тока эмиссии с частотой питающего напряжения.

Недостатки катодов косвенного накала:

- требуют большой мощности для нагрева;

- для разогрева катода требуется значительное время (до 1 – 2 мин).

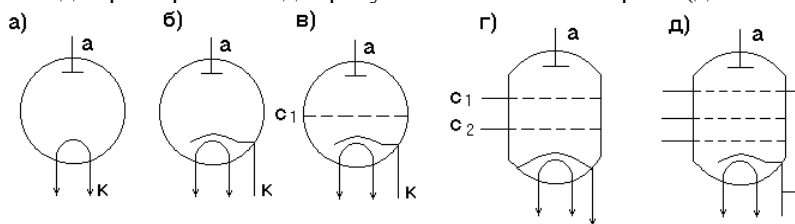


Рис.1. Условные обозначения

электронных ламп:

а – диод с катодом прямого канала; б – диод с катодом косвенного накала; в – триод; г – тетрод; д – пентод

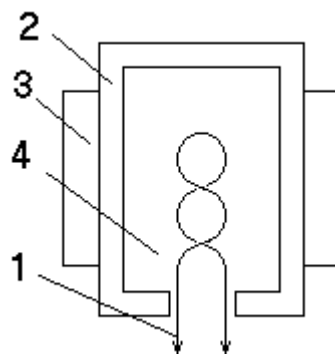


Рис. 2. Устройство катода косвенного накала

Анодом называется электрод, собирающий основной поток электронов. Он изготавливается из никеля, реже из молибдена. Сетки выполняют роль управляющих электронов и изготавливаются в виде цилиндрических или плоских спиралей, расположенных между катодом и анодом.

Управляющим называется электрод, изменение потенциала которого воздействует на ток или направление потока электронов в электронной лампе.

2. Схема включения и принцип работы триода.

Схема включения триода (рис.3) имеет три источника напряжения: накала E_n , анода E_a , управляющей сетки E_c – и соответственно 3 цепи – накала, анода и управляющей сетки.

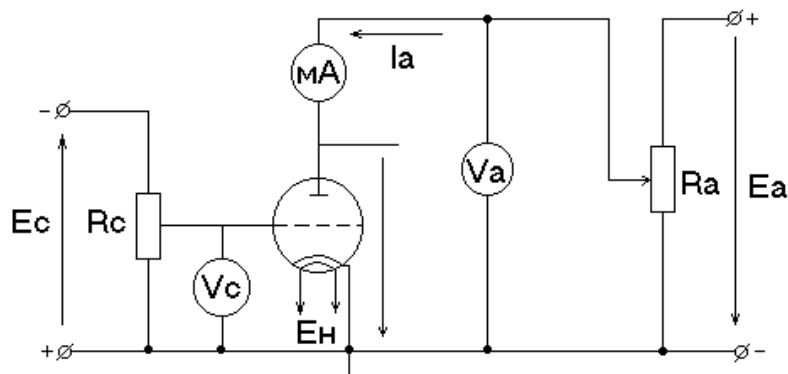


Рис. 3. Схема включения триода для снятия анодных и анодно-сеточных характеристик

Для цепи управляющей сетки и анода вывод катода является общей точкой, которую обычно заземляют. Потенциал ее считается равным нулю, а потенциал остальных электродов определяют относительно общей точки. Такое включение (рис.3) называется включением триода с общим катодом.

Нагретый катод эмитирует электроны, которые под воздействием приложенного анодного напряжения U_a , создаваемого источником ЭДС E_a , движутся от катода к аноду. Таким образом, электрическое поле анода является ускоряющим для электронов. В результате во внешней цепи триода (цепи анода) возникает анодный ток I_a , протекающей по цепи $+ E_a \rightarrow R_a \rightarrow mA \rightarrow L \rightarrow - E_a$ (общая точка).

Между сеткой и катодом приложено напряжение от источника E_c , т.е. создается электрическое поле сетки, которое может усилить или ослабить ускоряющее действие электрического поля анода.

При большом отрицательном напряжении на сетке анодный ток может прекратиться, т.е. лампа заперется. Такое отрицательное напряжение на сетке будет называться напряжением запирающего.

Если на сетку подается положительное напряжение относительно катода, то поле сетки будет ускорять движение электронов и анодный ток возрастет. При этом часть электронов может перехватываться сеткой и в цепи сетки появится сеточный ток I_c . При некотором большом положительном напряжении на сетке анодный ток достигнет максимума и дальше увеличиваться почти не будет. Такой режим работы лампы называется режимом насыщения. При насыщении сумма анодного и сеточного напряжений токов равна току эмиссии:

$$I_a + I_c = I_s.$$

Обычно сеточный ток – явление вредное, т.к. возрастает мощность, которую надо затратить в сеточной цепи для управления анодным током. Поэтому для уменьшения мощности источника входного напряжения на управляющую сетку обычно подается постоянное (несколько вольт) отрицательное напряжение, называемое напряжением смещения, которое устраняет возможность появления сеточного тока при любых изменениях входного напряжения, подаваемого на сетку одновременно со смещением.

Изменяя в небольших пределах отрицательное напряжение на сетке, можно в широких пределах управлять анодным током от нуля до насыщения. Это свойство сетки триода управлять величиной анодного тока позволяет использовать триод, как в усилителях, так и в генераторах сигналов.

3. Характеристики и параметры триода.

Анодный ток I_a в триоде зависит от трех напряжений: накала – U_n , анода – U_a , сетки – U_c . Так как лампы работают при постоянном напряжении накала ($U_n = const$), рассматривают влияние на анодный ток только U_a и U_c , которое оценивается по двум семействам характеристик:

анодно-сеточным характеристикам (рис.4а):

$$I_a = f(U_{c1}) \quad \text{при } U_a = const$$

анодным характеристикам (рис.4б):

$$I_a = f(U_a) \quad \text{при } U_{c1} = const.$$

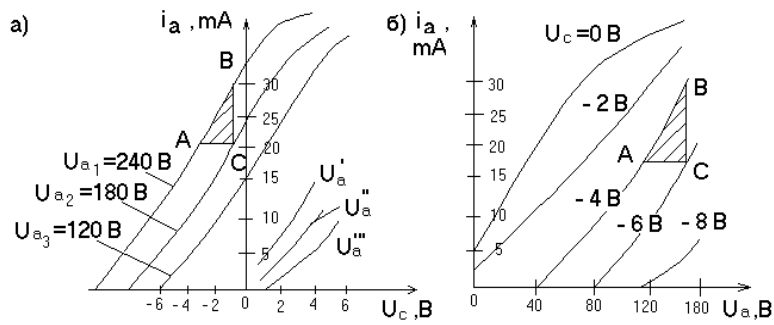


Рис. 4. Семейство анодно-сеточных (а) и анодных (б) характеристик вакуумного триода

Указанные характеристики называются статическими, т.к. они справедливы для статического режима работы лампы, при котором на все электроды подаются только постоянные потенциалы и в анодной цепи не содержится никаких элементов, кроме источника анодного питания E_a .

Количественно оценить влияние анодного (U_a) и сеточного (U_c) напряжений на величину изменения анодного тока (I_a) можно при помощи основных параметров триода: внутреннего сопротивления (R_i), крутизны анодно-сеточной характеристики (S) и коэффициента усиления (μ).

Внутреннее сопротивление (R_i) характеризует сопротивление лампы переменного тока, колеблется в пределах от 0,1 до 100 кОм и определяется по формуле

$$R_i = \frac{\Delta U_a}{\Delta I_a}, \text{ Ом} \quad \text{при } U_c = \text{const.}$$

Крутизна анодно-сеточной характеристики (S) характеризует зависимость изменения величины анодного тока (ΔI_a) от изменения напряжения на сетке (ΔU_c), обычно лежит в пределах от 0,2 до 45 мА/В и определяется по формуле

$$S = \frac{\Delta I_a}{\Delta U_c}, \text{ мА/В} \quad \text{при } U_a = \text{const.}$$

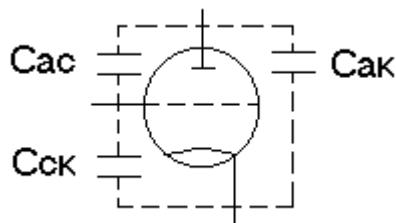


Рис. 5. Межэлектродные емкости вакуумного триода

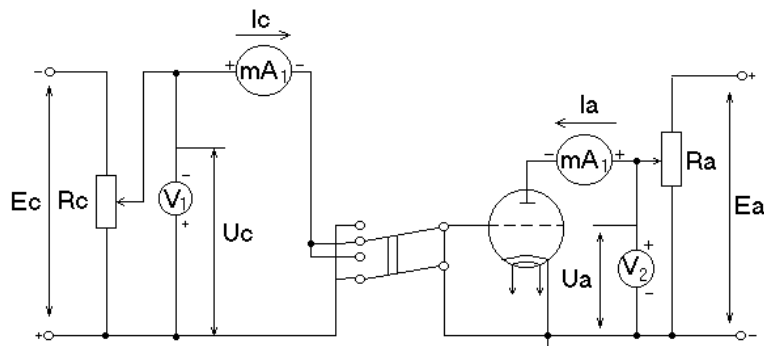


Рис. 6. Схема исследования вакуумного триода

Коэффициент усиления (μ) показывает, во сколько раз изменение напряжения на сетке (ΔU_c) действует на величину анодного тока (I_a) сильнее, чем изменение напряжения на аноде (ΔU_a), обычно лежит в пределах от 10 до 100 и определяется по формуле

$$\mu = \left| \frac{\Delta U_a}{\Delta U_c} \right| \quad \text{при } I_a = const,$$

причем $\mu = R_i \cdot S$.

Последняя формула называется внутренним уравнением лампы.

На практике основные параметры триода определяются графически по семейству анодно-сеточных и анодных характеристик путем построения на прямолинейном участке этих характеристик характеристического треугольника ABC (см. рис.4).

К недостаткам триода, ограничивающим область его применения, относятся:

- 1) сравнительно небольшой коэффициент усиления ($\mu \leq 100$);
- 2) наличие межэлектродных емкостей (см. рис.5):

$C_{ск}$ – входная (сетка – катод)

$C_{ак}$ – выходная (анод – катод)

$C_{ас}$ – проходная емкость (анод – сетка).

Особенно отрицательно влияет проходная емкость $C_{ас}$, которая в области высоких частот создает паразитную связь между выходной (анодной) и (сеточной) входной цепями усилителя, что приводит к его самовозбуждению и нарушению работы. Устранить эти недостатки можно при помощи введения дополнительных сеток.

4. Задание на лабораторную работу

1. Изучить теоретические сведения, пользуясь методическими указаниями и литературой: [1], с. 89-106; [2], с. 96-133; [3], с. 79-97.
2. Подготовить ответы на контрольные вопросы.
3. Начертить схему для исследования вакуумного триода (см. рис.6).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется электровакуумным прибором и электронной лампой?
2. Перечислите основные элементы электронной лампы и их назначение.
3. Каково назначение электродов в триоде и их условное обозначение на схемах?
4. Что представляют собой катоды прямого и косвенного накала, каковы их основные достоинства и недостатки?
5. Изобразите условные обозначения диода с катодом прямого и косвенного накала.
6. Объясните принцип работы триода.
7. Изобразите схему включения триода для снятия анодных и анодно-сеточных характеристик.
8. Покажите на схеме включения триода цепи анода, накала и сетки. Каково их назначение?
9. Что такое напряжение запирающего, напряжение смещения?
10. Изобразите семейство статических анодно-сеточных характеристик триода.
11. Изобразите семейство анодных характеристик триода.
12. Перечислите параметры триода.
13. Что такое внутреннее уравнение лампы?
14. Что такое характеристический треугольник и как он строится?
15. Что такое межэлектродная емкость? Какая межэлектродная емкость наиболее отрицательно влияет на работу триода?
16. Перечислите основные недостатки триода, пути их устранения и область применения триода.

Рекомендуемая литература

1. Айзинов М.М. Байрашевский А.М. Радиотехника и радионавигационные приборы. – М.: Транспорт, 1975. – 432 с., ил.
2. Ковальчук В.С. Судовая радиоэлектроника. – М.: Транспорт, 1977. – 344.
3. Ковальчук В.С., Никитин В.К. Судовая радиоэлектроника. – М.: Транспорт, 1984. – 311 с.