

вертки вспомогательного генератора, определенной в задании 5.1. Меняя частоту сигнала на звуковом генераторе, получите устойчивое изображение, содержащее 2, 3, 4 периода. Зарисуйте осциллограммы. Они должны представлять собой синусоиду, «пожеленную на бок». Запишите значения частот f_1 , f_2 , f_3 и f_4 по шкале генератора. Сравните их с теоретическими $f_{\text{теор}} = n f_{\text{пиль}}$.

5.3. Синусоидальный сигнал по вертикальной оси и напряжение от внутреннего генератора развертки. Вновь подайте сигнал на «Вход Y» осциллографа. Установите переключатель развертки в положение « $\times 1$ », а синхронизации в положение «внутрь». Вспомогательный осциллограф отключите. Переключателями «V/дел.» и «время/дел.» получите на экране осциллографа изображение.

С помощью сетки на экране осциллографа определите амплитуду и частоту колебаний сначала в делениях сетки, а затем в единицах СИ. Сравните полученные результаты с показаниями шкалы и прибора звукового генератора, учитывая, что показания вольтметра звукового генератора в $\sqrt{2}$ раз меньше значения амплитуды напряжения сигнала генератора. Все показания следует записать в протокол работы.

Задание 6. Наблюдение биений.

Биения — колебания с периодически изменяющейся амплитудой, возникающие при сложении двух синусоидальных колебаний, происходящих вдоль одной оси (в данном случае это ось y) и имеющих близкие частоты f_1 и f_2 . Частота биений равна разности частот $F = f_1 - f_2$.

Подайте, используя тройник, на «Вход Y» сигналы с двух низкочастотных генераторов ($U_1 = U_2 = 5 - 10$ В, $f_1 = 5$ кГц, $f_2 = f_1 \pm (0,5 - 0,8)$ кГц). Получите устойчивое изображение. Зарисуйте полученную осциллограмму, запишите частоты f_1 , f_2 , определите частоту биений F по осциллограмме и сравните ее с теоретическим значением.

Задание 7. Наблюдение вольт-амперных характеристик линейных и нелинейных предметов (выполняется по указанию преподавателя).

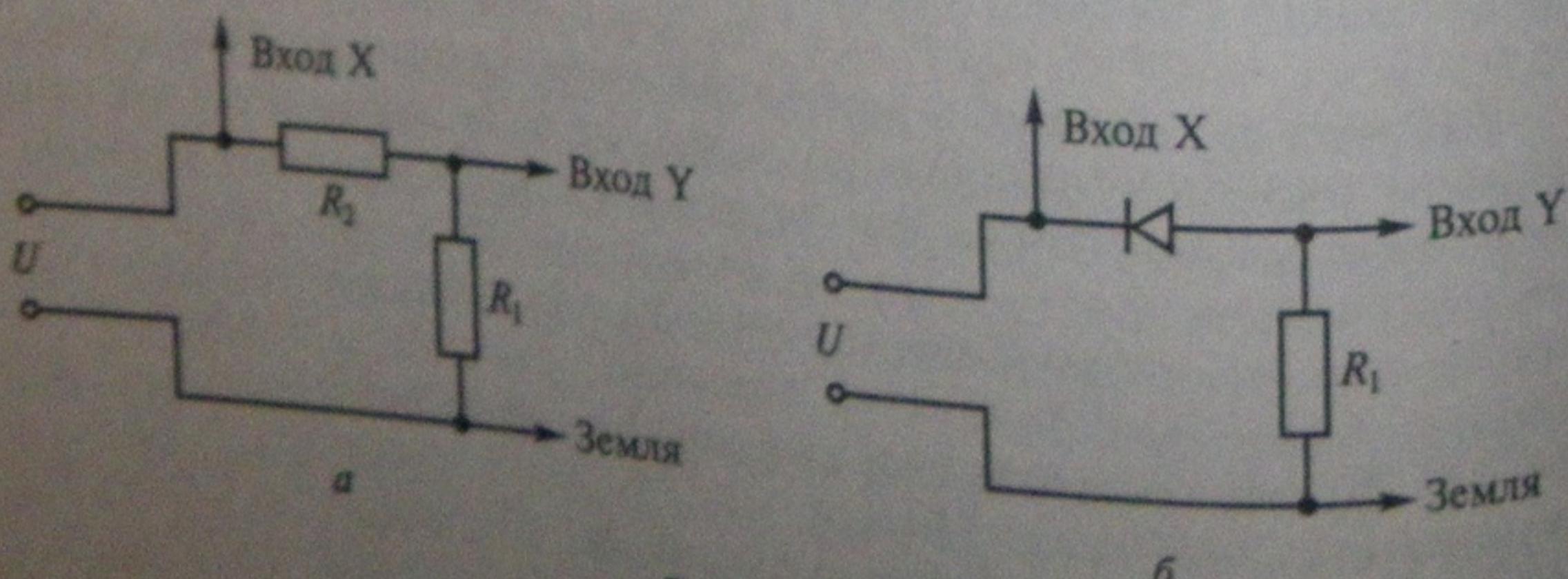


Рис. 2.7.9

В данном задании предлагается использовать осциллограф для получения на экране вольт-амперной характеристики, т. е. зависимостью тока через элемент цепи от напряжения на нем. Линейным элементом является резистор ($R_1 = 6,8$ кОм, $R_2 \ll R_1$), нелинейным элементом — диод. Для получения вольт-амперной характеристики резистора R_2 на экране осциллографа соберите схему (рис. 2.7.9, a), в которой напряжение U частотой 50 Гц, питающее схему, равно 6 В, и выключите генератор развертки осциллографа. Для получения вольт-амперной характеристики диода измените схему (рис. 2.7.9, б). Полученные характеристики зарисуйте и объясните.

Вопросы и упражнения

1. Какова связь между напряженностью и потенциалом для случаев электростатического поля: а) точечного заряда; б) произвольной конфигурации?
2. Как будет двигаться заряд, влетевший в однородное электростатическое поле: а) параллельно линиям поля; б) перпендикулярно линиям поля; в) под углом к линиям поля?
3. Как будет двигаться пятно на экране осциллографа, если на Y-пластины последнего подать напряжение городской сети?
4. Как изменить размеры светящегося пятна на экране осциллографа?
5. Для чего служит генератор развертки?
6. Как будет двигаться светящееся пятно на экране осциллографа, если на Y-пластины последнего подать напряжение с выхода генератора развертки?
7. Как с помощью осциллографа определить частоту и амплитуду исследуемого напряжения?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 2.8

ИЗУЧЕНИЕ ТОКА В ВАКУУМЕ И РАЗРЕЖЕННОМ ГАЗЕ

Цель работы: изучение тока в вакууме на примере вакуумного триода, снятие анодных характеристик триода и определение по ним параметров лампы; изучение тока в разреженном газе на примере газонаполненного триода и снятие анодных характеристик лампы.

Приборы и принадлежности: триод и тиратрон на панели, выпрямитель ВУП-2, вольтметр на 15 В, два вольтметра на 200 В, миллиамперметр, магазин сопротивлений типа КДС, реостат (3000 Ом).

Литература: [6, § 6.5, 6.6]; [37, § 101, 102, 109—121]; [1, § 156—161, 166—177].

Трехэлектродная электронная лампа (триод) представляет собой герметический стеклянный сосуд с впаянными в него тремя электродами: анодом, катодом и сеткой. Если в сосуде создан высокий вакуум, то такую лампу называют *вакуумным триодом*. Если баллон лампы наполнен парами ртути или инертным газом (неоном, аргоном и др.) при давлении порядка 100 Па, то лампу называют *тиратроном*. Электроды этих ламп обычно изготавливают в виде коаксиальных цилиндров малого (катод) и большого (анод) диаметров. Между катодом и анодом располагается сетка, выполненная либо в виде цилиндрической спирали, окружающей катод (триод), либо в виде сплошного цилиндра с узкой щелью (тиратрон).

В обычных условиях в таких лампах нет свободных носителей заряда, поэтому при приложении разности потенциалов между анодом и катодом сила тока равна нулю. Для получения свободных зарядов используют явление термоэлектронной эмиссии [3], для чего катод в лампах нагревают.

Разность потенциалов анода и катода называют анодным напряжением U_a , разность потенциалов сетки и катода — сеточным напряжением U_c .

Ток в вакууме. При разности потенциалов между анодом «+» и катодом «-» и при $U_c = 0$ электроны начинают двигаться от катода к аноду и в лампе течет ток. Так как сетка находится ближе к катоду, чем к аноду, то небольшое сеточное напряжение ($U_c \ll U_a$) приводит к значительному изменению анодного тока. Это свойство триода используется для создания усилительных устройств.

Из сказанного выше следует, что анодный ток есть функция двух независимых переменных U_a и U_c . Для использования электронных ламп нужно знать их *характеристики*, т. е. зависимости анодного тока от анодного и сеточного напряжений:

$$\text{при } U_a = \text{const} \quad I_a = f_1(U_c); \quad (1)$$

$$\text{при } U_c = \text{const} \quad I_a = f_2(U_a). \quad (2)$$

Уравнения (1) и (2) определяют так называемые *статические анодные и анодно-сеточные характеристики* триода (рис. 2.8.1 и 2.8.2). По ним можно определить параметры лампы: крутизну S , внутреннее сопротивление R_i и коэффициент усиления μ .

Крутизна S показывает, как быстро изменяется анодный ток при изменении напряжения на сетке, если анодное напряжение постоянно (при $U_a = \text{const}$):

$$S = \frac{\partial I_a}{\partial U_c}. \quad (3)$$

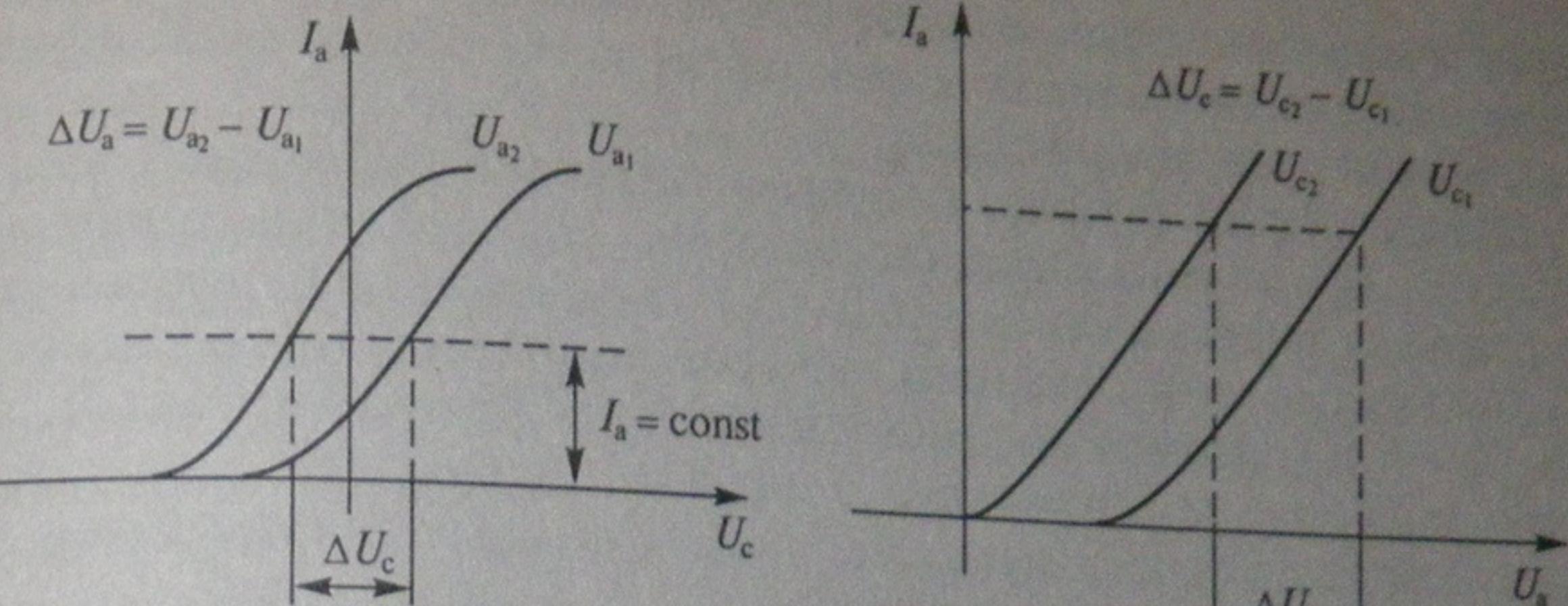


Рис. 2.8.1

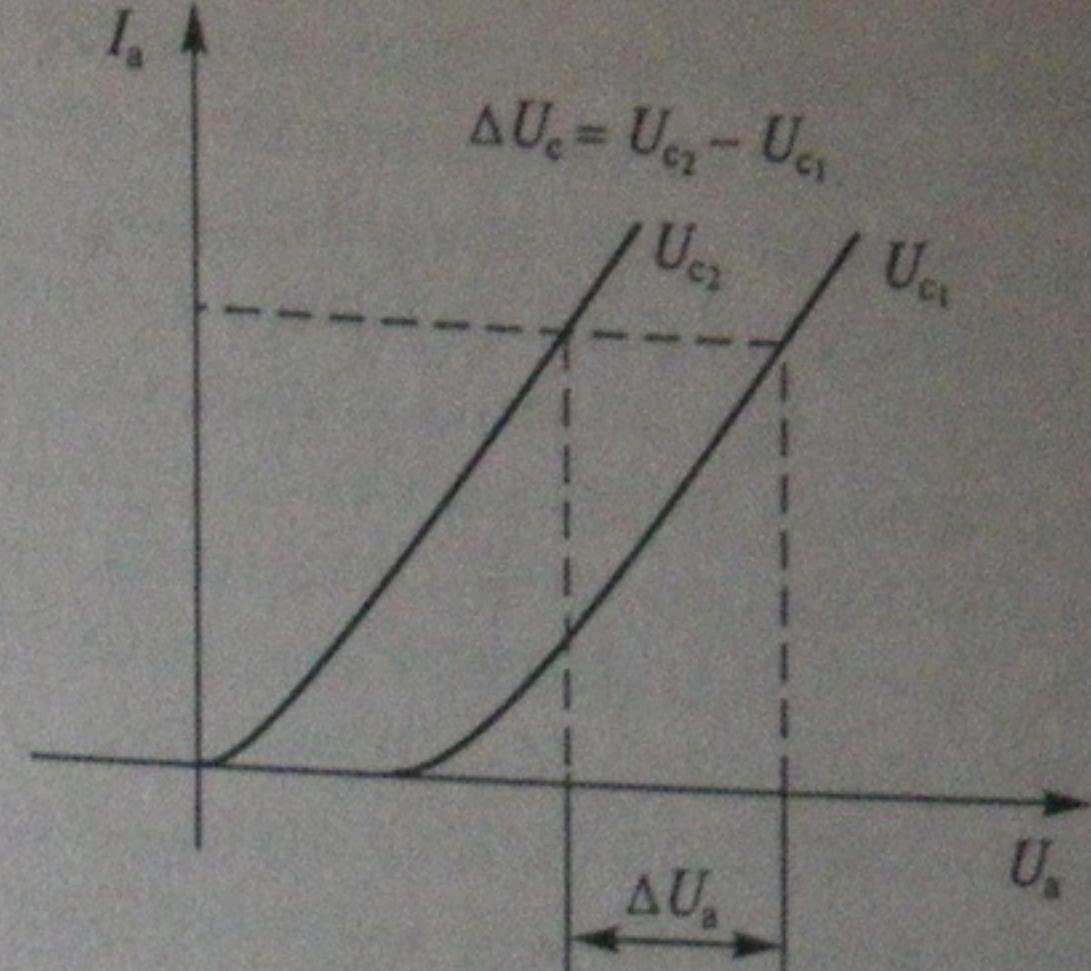


Рис. 2.8.2

Внутреннее сопротивление R_i есть отношение изменения анодного напряжения к соответствующему изменению анодного тока при постоянном напряжении на сетке ($U_c = \text{const}$):

$$R_i = \frac{\partial U_a}{\partial I_a}. \quad (4)$$

Коэффициент усиления μ равен отношению приращений анодного и сеточного напряжений, в результате которых анодный ток не изменяется (при $I_a = \text{const}$):

$$\mu = -\frac{\partial U_a}{\partial U_c}. \quad (5)$$

Ток в разреженном газе. В тиатроне электроны, вылетающие из катода, вызывают ионизацию газа, в результате чего в тиатроне образуется газоразрядная плазма с большой концентрацией ионов и электронов. Напряжение, при котором возникает подобный разряд, называют *потенциалом зажигания* тиатрона. Если до зажигания сила тока в тиатроне измеряется миллионными долями ампера, то после зажигания сила тока может достигать в малых тиатронах сотых долей ампера (т. е. увеличиваться в 10^4 раз!). Пока разряда в тиатроне нет, его сетка действует аналогично сетке вакуумной лампы, и с ее помощью можно управлять зажиганием тиатрона. Вследствие того что сетка в тиатроне не представляет собою сплошной перегородки, часть электронов, проникающих за пределы сетки при определенном напряжении, вызывает ионизацию газа и «зажигает» тиатрон. Требуемое для «зажигания» анодное напряжение тем больше, чем выше по модулю отрицательный по отношению к катоду потенциал сетки.

Зависимость U_c , при котором зажигается тиатрон, от U_a называют *статической пусковой характеристикой* тиатрона.

После зажигания разряда в тиатроне сетка теряет свои управляющие свойства. Это происходит потому, что вблизи сетки обра-

зуется ионное облако, которое полностью экранирует сетку. Вне этого облака электрическое поле оказывается практически таким же, как и в отсутствие сетки.

Эти свойства газового разряда в тиаратроне приводят к тому, что при $U_c < 0$ зависимость анодного тока (I_a) тиаратрона от напряжения источника анодного тока (U_a), снимаемая при увеличении U_a от нуля до максимального значения, отличается от зависимости $I_a = f(U_a)$, получаемой при уменьшении U_a от максимального значения до нуля. Кроме того, в тиаратроне наблюдается отличная от вакуумного триода зависимость $U_a = f(U_a)$, что также связано с закономерностями газового разряда.

Рассмотренные свойства тиаратронов позволяют широко использовать их для решения разнообразных задач, требующих быстрого включения больших мощностей, регулирования скорости электромоторов и т. д.

Описание экспериментальной установки

На рис. 2.8.3 приведена схема установки для снятия статических анодных характеристик триода. В схеме используется вакуумный триод 6С2С. Питание схемы подводится от универсального источника тока (ВУП-2), имеющего три выхода: а) 0 – 250 В; б) ~ 6,3 В; в) 0 ± 100 В. Реостат R с нулевой точкой предназначен для точной установки потенциала сетки.

На рис. 2.8.4 приведена схема установки для снятия анодных характеристик тиаратрона. В ней, по сравнению с предыдущей схемой (см. рис. 2.8.3), в цепи анода установлено сопротивление $R_1 = 4 \cdot 10^3$ Ом. Оно необходимо для того, чтобы ограничить силу анодного тока, так как после «зажигания» тиаратрона его внутреннее сопротивление стремится к нулю, что может вывести из строя источник анодного питания. В схеме используется тиаратрон ТГ-1-01/03.

Кроме того, в этой измерительной установке применяется электронный вольтметр (V_3) для определения анодного напряжения тиаратрона ($U_a = U_1 - U_3$). Такой метод измерения U_a обусловлен тем,

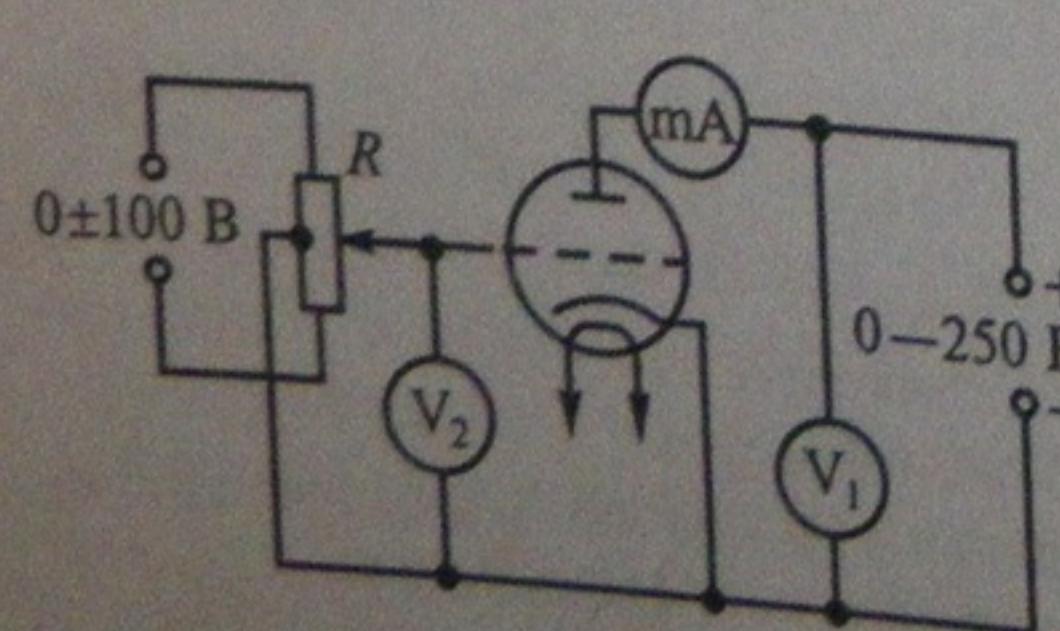


Рис. 2.8.3

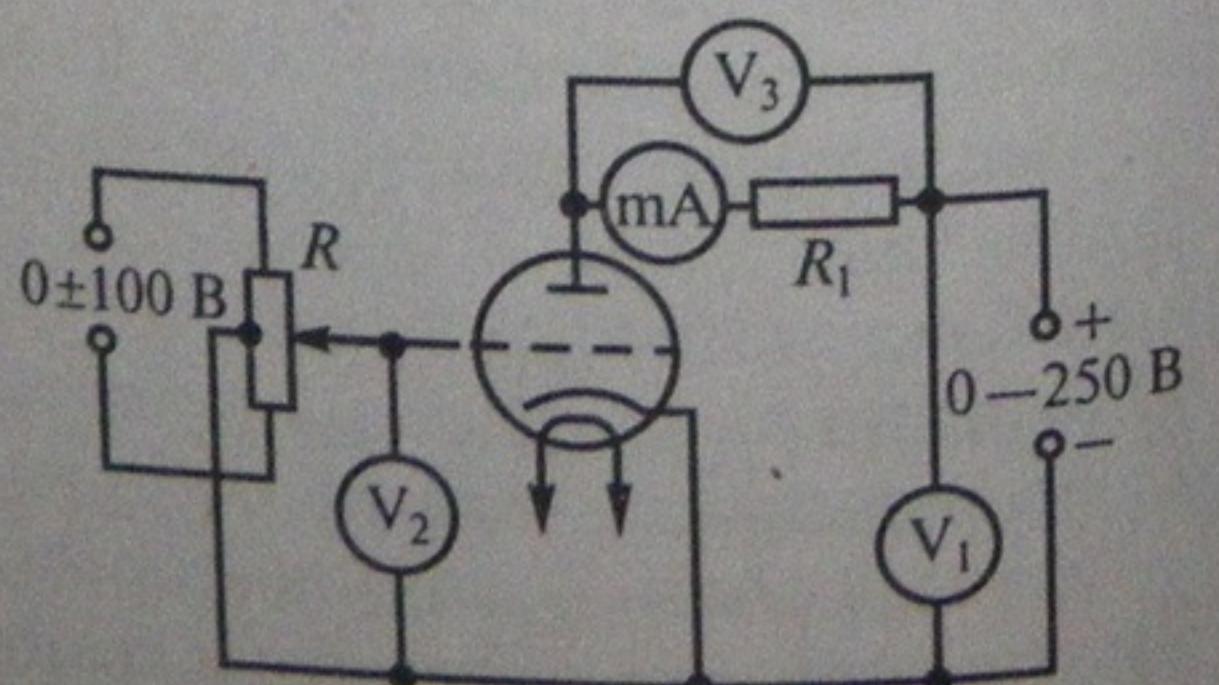


Рис. 2.8.4

что до момента «зажигания» тиаратрона его внутреннее сопротивление практически бесконечно велико. Поэтому любой измерительный прибор (вольтметр), включенный между анодом и катодом тиаратрона, в этом случае будет шунтировать лампу, что отрицательно скажется на результатах измерений.

Измерения и обработка результатов

Задание 1. Снятие анодных характеристик триода.

Соберите схему (см. рис. 2.8.3) и установите сеточное напряжение $U_c = 0$. Измерьте 10 значений анодного тока I_a , повышая анодное напряжение от 0 до 200 В, и 10 значений, понижая анодное напряжение от 200 В до 0. Полученные значения I_a и U_a занесите в таблицу. Повторите измерение при $U_c = -2$ В. Постройте обе анодные характеристики $I_a = f(U_a)$ в одной системе координат и определите на прямолинейном участке кривых главные статические параметры лампы.

Задание 2. Снятие анодных характеристик тиаратрона.

Установите сеточное напряжение $U_c = 0$. Плавно увеличивая напряжение источника тока, определите напряжение «зажигания» тиаратрона U_3 при $U_c = 0$. Для увеличения точности измерения проделайте это несколько раз. Запишите среднее значение напряжения «зажигания». Снимите зависимость анодного тока I_a и напряжение U_3 от напряжения источника U_a в интервалах от 0 до 100 В и от 100 В до 0 с шагом 10 В. Повторите эти измерения при $U_c = -10$ В.

Занесите в таблицу значения U_a , U_3 , U_a , I_a при двух значениях сеточного напряжения U_c . Обратите внимание, что одному значению U_a могут соответствовать два значения U_3 и I_a . Постройте зависимость $I_a = f(U_a)$ и $U_3 = f(U_a)$ для двух значений U_c в интервалах $U_a = 0 - 100$ В и от 100 В до 0, используя один цвет для увеличивающегося, а другой — для уменьшающегося U_a .

Постройте анодную характеристику тиаратрона $I_a = f(U_a)$ для $U_c = 0$ в интервале U_a от 0 до 100 В.

Вопросы и упражнения

- Чем обусловлено максимальное значение анодного тока в триоде, в тиаратроне?
- Почему вычисление статических параметров триода предлагается проводить на прямолинейных участках характеристик лампы?
- Объясните явление пробоя в разреженном газе.
- Объясните влияние сетки на анодный ток триода, тиаратрона.
- Используя результаты лабораторной работы, оцените энергию ионизации газа в тиаратроне.
- Где применяют триоды, тиаратроны?