

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

ИССЛЕДОВАНИЕ ТИРАТРОНОВ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА

Методические указания к лабораторной работе
для студентов направления
222900 - «Нанотехнологии и микросистемная техника»
(профиль - Нанотехнологии в электронике и микросистемной
технике)

2013

Аксенов, Александр Иванович

Исследование тиратронов тлеющего разряда = Вакуумная и плазменная электроника: методические указания к лабораторной работе для студентов направления 222900 - «Нанотехнологии и микросистемная техника» (профиль – Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике) / А.И. Аксенов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск: ТУСУР, 2013. - 16 с.

Целью настоящей работы является исследование основных физических явлений, имеющих место в тиратронах тлеющего разряда, изучение характеристик и параметров этих тиратронов.

В ходе выполнения работы у студентов формируется способность проводить физико-математическое и физико-химическое моделирование исследуемых процессов и объектов с использованием современных компьютерных технологий (ПК-9); готовность применять знания о технических характеристиках и экономических показателях отечественных и зарубежных разработок материалов и компонентов нано- и микросистемной техники (ПК-20).

Пособие предназначено для студентов очной формы, обучающихся по направлению 222900 - «Нанотехнологии и микросистемная техника» (профиль – Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике) по дисциплине «Вакуумная и плазменная электроника».

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ
Зав.кафедрой ЭП
_____ С.М. Шандаров
« ___ » _____ 2013 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТИРАТРОНОВ ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА

Методические указания к лабораторной работе
для студентов направления
222900 - «Нанотехнологии и микросистемная техника»
(Профиль - Нанотехнологии в электронике и микросистемной технике)

Разработчик
Доцент каф. ЭП
_____ А.И. Аксенов
« ___ » _____ 2013 г

Содержание

1 Введение	3
2 Теоретическая часть.....	3
2.1 Приборы самостоятельного тлеющего разряда.....	3
2.2 Токовое управление	4
2.3 Электростатическое управление моментом зажигания	6
2.4 Контрольные вопросы.....	9
3 Экспериментальная часть	9
3.1 Задание.....	9
3.2 Схемы для снятия характеристик тиратронов	10
3.3 Порядок выполнения работы и методические указания	11
3.4 Обработка результатов измерения	11
3.5 Содержание отчета.....	12
Рекомендуемая литература.....	13

1 Введение

Целью настоящей работы является исследование основных физических явлений, имеющих место в тиратронах тлеющего разряда, изучение характеристик и параметров этих тиратронов.

В работе исследуются анодные, сеточные и пусковые характеристики тиратронов. Изучаются характеристики и параметры тиратронов с токовым и электростатическим управлением моментом зажигания разряда в тиратроне.

В ходе выполнения работы у студентов формируется:

– способностью проводить физико-математическое и физико-химическое моделирование исследуемых процессов и объектов с использованием современных компьютерных технологий (ПК-9);

– готовностью применять знания о технических характеристиках и экономических показателях отечественных и зарубежных разработок материалов и компонентов нано- и микросистемной техники (ПК-20).

2 Теоретическая часть

2.1 Приборы самостоятельного тлеющего разряда

К классу приборов самостоятельного тлеющего разряда относятся приборы с холодным катодом.

Для создания нормальных условий горения разряда в приборе на его объема удаляется воздух (откачивается), а затем прибор заполняется инертным газом, водородом или их смесями. Давление газа в зависимости от класса прибора лежит в пределах от $1,3 \cdot 10^3 \text{ Па}$ до $1,3 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Характерными для всех типов приборов тлеющего разряда являются следующие признаки:

1) холодный (ненакаливаемый) катод чисто металлический, либо покрытый пленкой активного вещества (активированный). Разряд в таком приборе является самостоятельным, т.к. развитие разряда обеспечивается случайными электронами, образованными за счет космического излучения;

2) плотность тока па катоде при таком виде самостоятельного разряда относительно невелика и остается постоянной, пока горит нормальный тлеющий разряд;

3) напряжение горения разряда зависит от материала электродов, их геометрии, рода газа, давления, относительно велико (по сравнению с дуговым) и составляет $\approx 100 \text{ В}$;

4) слой тлеющего свечения в разряде широко используется для визуальной индикации;

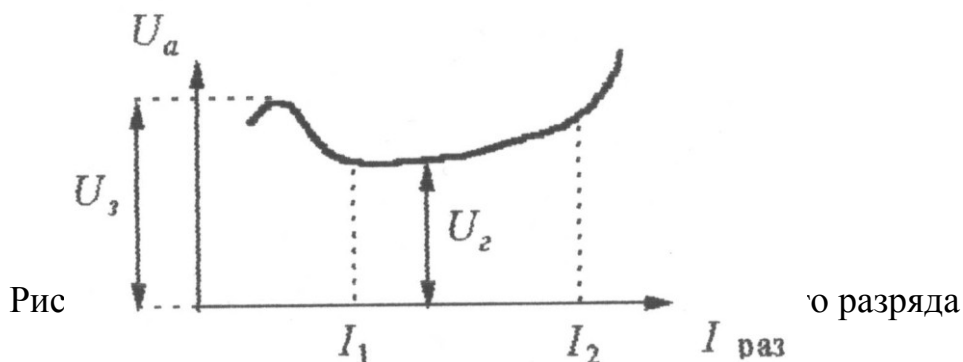
5) высокая экономичность приборов, основанная на незначительном потреблении электрической энергии, высокой долговечности и малых габаритах приборов.

Тиратрон - это газоразрядный прибор с холодным катодом, анодом, одной или двумя сетками. Сетка изготавливается обычно в виде диафрагмы с центральным отверстием либо в виде соединённых между собой никелевых скоб с прямоугольной щелью между ними.

В тиратронах тлеющего разряда на анод и сетки подается положительный относительно катода потенциал. При некоторых соотношениях напряжений на аноде и на сетках зажигается самостоятельный тлеющий разряд между катодом и анодом. На рис.2.1 представлена вольтамперная характеристика тлеющего разряда.

После зажигания разряда напряжение на приборе уменьшается от напряжения зажигания (U_3) до напряжения горения (U_2). При дальнейшем увеличении напряжения на входе, напряжение на тиратроне почти не изменяется, а ток разряда увеличивается от I_1 до I_2 . Рост тока обеспечивается за счет увеличения эмиттирующей поверхности катода (закон Геля) при постоянной плотности тока с катода. После того, как вся поверхность начинает эмиттировать, разряд переходит в аномальный ($I_1 > I_2$).

В режиме аномального горения разряда ток разряда увеличивается за счет увеличения его плотности с катода, что сопровождается увеличением напряжения на разряде. Напряжение, требуемое для зажигания и горения разряда, зависит от типа катода, степени удаления его от анода, от рода газа и



давления газа, заполняющего прибор и от геометрии электродов. При подаче на любую из сеток тиратрона напряжения, достаточного для зажигания разряда, можно зажечь тлеющий разряд в промежутке катод - сетка. Вольтамперная характеристика разряда на этом участке качественно будет такая же, как показанная на рис.2.1.

2.2 Токовое управление

Сетка в тиратронах тлеющего разряда управляет моментом зажигания разряда между катодом и анодом, а погасить разряд в тиратроне при помощи сетки нельзя. В схеме с токовым управлением моментом зажигания на сетку зажигается подготовительный разряд (рис.2.2). График пусковой характеристики тиратрона приведен на рис. 2.4.

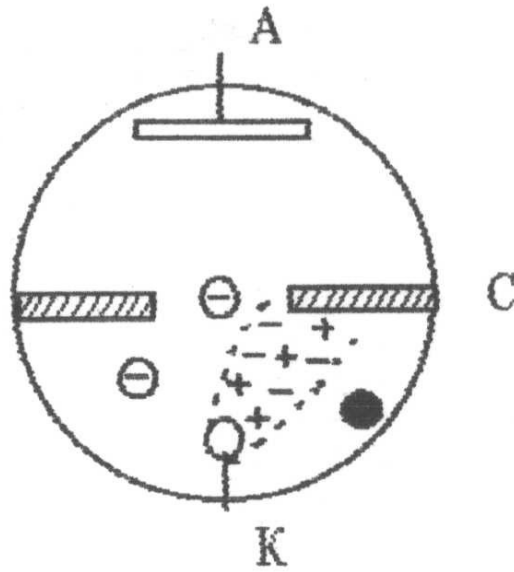


Рисунок 2.2 - Структурная схема тиратрона с токовым управлением

На рис. 2.3 показано распределение потенциала в тиратроне с токовым управлением, когда на сетке горит подготовительный разряд (2.3 а) и когда горит разряд между катодом и анодом (2.3 б).

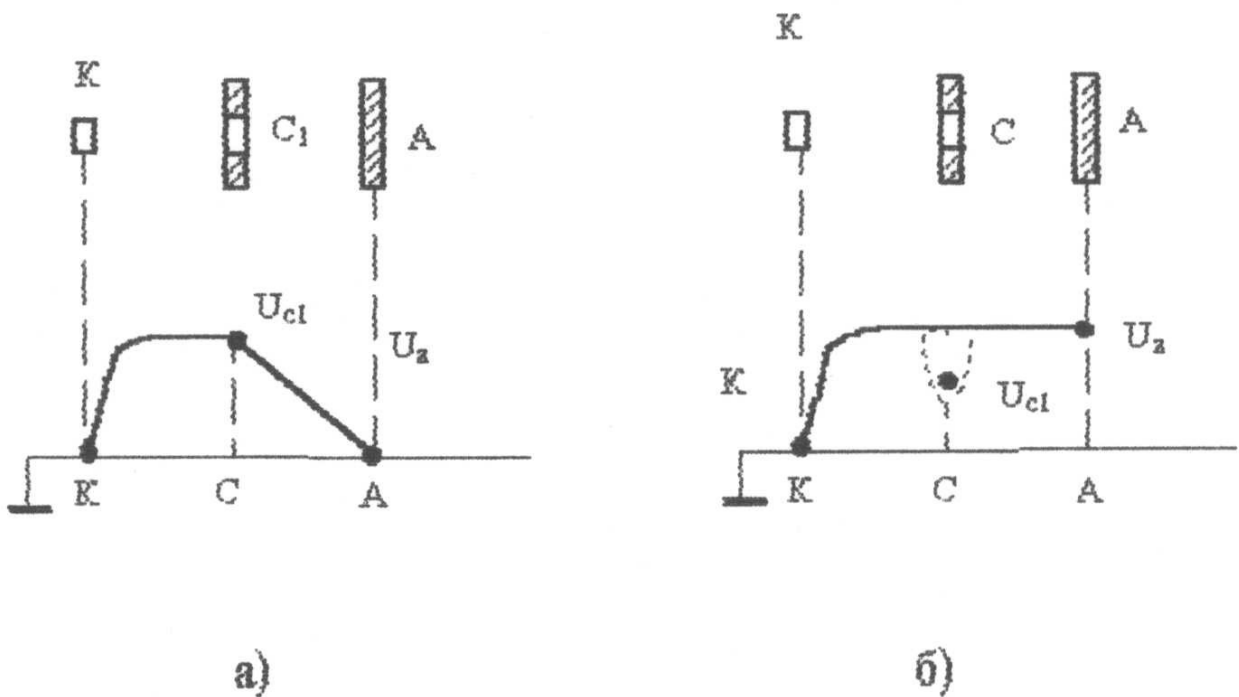


Рисунок 2.3 - Распределение потенциала в тиратроне с токовым управлением

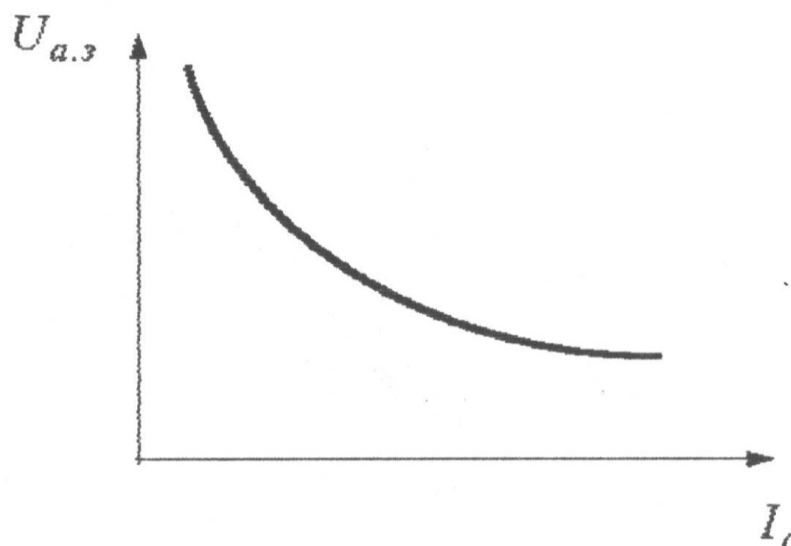


Рисунок 2.4 - Пусковая характеристика тиратрона

Плазма подготовительного разряда используется как источник электронов для основного разряда. В подготовительном разряде сетка тиратрона выполняет роль анода. Ток подготовительного разряда устанавливается небольшим — $10-50 \mu\text{A}$. Часть электронов плазмы подготовительного разряда уходит на сетку, создавая в её цепи ток, а часть проходит через отверстия сетки, ускоряется полем анода и способствует зажиганию разряда на участке катод-анод.

Чем больше ток подготовительного разряда, тем больше ток в цепи сетки и, соответственно, больше электронов участвует в развитии разряда, что ведет к уменьшению напряжения зажигания. С момента зажигания разряда на анод сетка теряет свои управляющие свойства, и погасить разряд можно только снижением напряжения на аноде до величины меньшей, чем напряжение горения. В процессе горения разряда на анод сетка окружена оболочкой заряженных частиц, если сетка положительна — электронами, если отрицательна — ионами (рис. 2.3 б). Поле зарядов в оболочках компенсирует поле сетки. Поле сетки не проникает за пределы оболочки и поэтому сетка теряет свои управляющие свойства. Заряды из оболочки уходят на сетку, на смену им приходят заряды из плазмы, поэтому, пока есть оболочка, в сеточной цепи есть ток. С одной сеткой, выполняющей одновременно функции анода подготовительного разряда и электрода, управляющего моментом зажигания тиратрона, выпускаются промышленные типы тиратронов МТХ-90 и ТХ5Б.

2.3 Электростатическое управление моментом зажигания

Другой вариант системы управления применяется в тиратроне с двумя сетками, структурная схема которого приведена на рис.2.5. Распределение потенциала в запертом тиратроне с электростатическим управлением показано на рис.2.6.

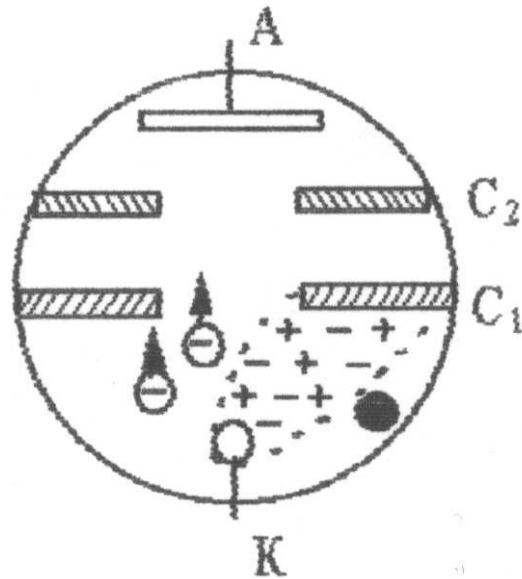


Рисунок 2.5- Структурная схема тиратрона

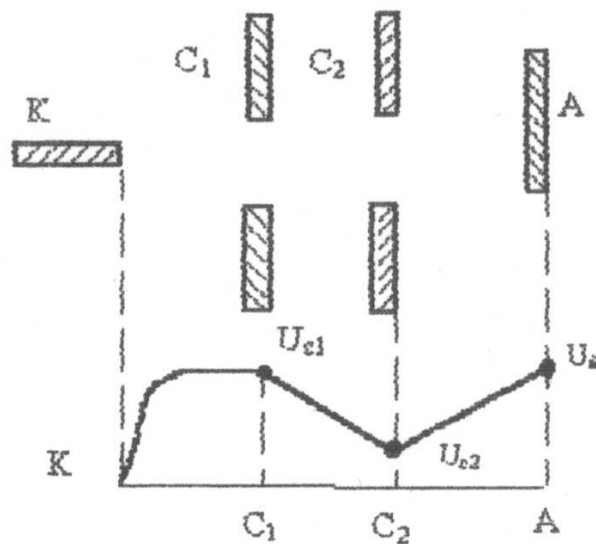


Рисунок 2.6 - Распределение потенциала в запёртом тиратроне

В тиратроне сетка первая C_1 выполняет только функцию анода подготовительного разряда, а вторая сетка C_2 управляет моментом зажигания разряда в тиратроне.

В таких тиратронах сетка первая C_1 имеет большую проницаемость (увеличены отверстия в ней), при горении на ней подготовительного разряда возрастает поток электронов, проходящих в промежуток $C_1 - C_2$. Этот поток превышает тот минимум электронов, который необходим для развития разряда в анодной области тиратрона. Однако, если на вторую сетку C_2 подано отрицательное относительно C_1 напряжение смещения (см. рис.2.6), то на участке $C_1 - C_2$ электроны тормозятся, разряд на участке катод-анод не

развивается (тиратрон заперт). Разряд промежутка катод-анод зажигается только при уменьшении напряжения смещения на C_2 , когда электроны после C_1 попадают в ускоряющее поле C_2 и А. Такой способ открытия тиратрона, когда отрицательное поле в промежутке $C_2 - C_1$ заменяется положительным, называется методом электростатического управления моментом зажигания тиратрона. Преимущество такого тиратрона заключается в возможности геометрического суммирования полей электродов. С электростатической системой управления выпускаются тиратроны типа ТХЗБ, ТХ4Б.

На рис. 2.7. представлена пусковая статическая характеристика тиратрона с электростатическим управлением.

Характеристика относится к режиму управления зажигания тиратрона постоянным напряжением смещения. Её называют, поэтому статической.

Начальный участок на статической характеристике, проведённый пунктиром, соответствует не зажиганию разряда между анодом и катодом, а паразитному разряду, возникающему между анодом А и сеткой второй C_2 , расположенной более близко к аноду, чем катод. При горении паразитного разряда сетка вторая C_2 выполняет роль катода. При развитии паразитного разряда C_2 отрицательна относительно плазмы и относительно анода. По мере повышения напряжения на C_2 повышается напряжение на аноде. Когда потенциал C_2 достигает потенциала плазмы, в анодную область начинают проникать электроны, способные зажечь основной разряд катод-анод. Дальнейшее увеличение потенциала C_2 ведет к дополнительному ускорению электронов и разряд основной развивается при меньшем напряжении на аноде (падающий участок пусковой характеристики).

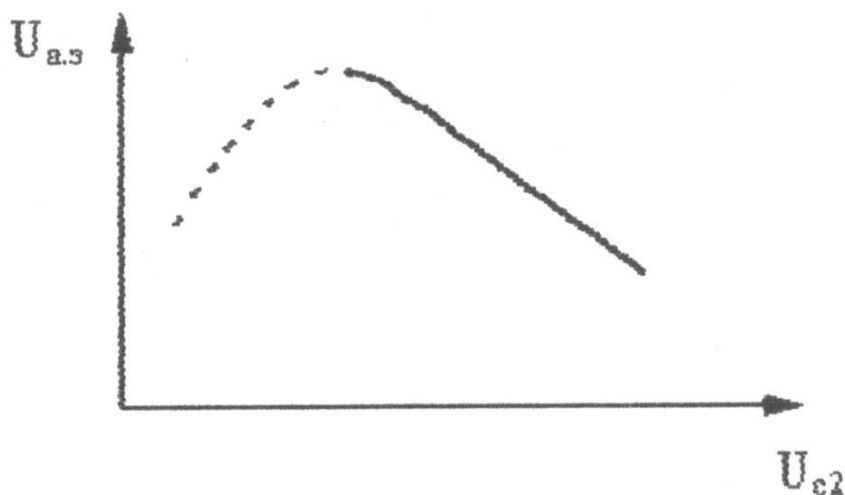


Рисунок 2.7 - Пусковая характеристика тиратрона

При снятии вольтамперных характеристик на участках: катод-первая сетка, катод-вторая сетка, катод-анод получают типичные вольтамперные

характеристики самостоятельного тлеющего разряда (см. рис. 2.1.), которые отличаются только количественно.

2.4 Контрольные вопросы

- 2.4.1 Какой разряд горит в тиратроне?
- 2.4.2 Параметры тлеющего разряда.
- 2.4.3 Принципы токового управления моментом зажигания.
- 2.4.4 Принципы электростатического управления моментом зажигания.
- 2.4.5 Можно ли погасить разряд при помощи сетки?
- 2.4.6 Начертить вольтамперную характеристику тлеющего разряда.
- 2.4.7 Почему потенциал горения разряда меньше потенциала зажигания?
- 2.4.8 Начертить пусковую характеристику при электростатическом управлении.
- 2.4.9 Начертить пусковую характеристику при токовом управлении.
- 2.4.10 Основные параметры тиратрона.
- 2.4.11 Чувствительность тиратрона с токовым управлением.
- 2.4.12 Чувствительность тиратрона с электростатическим управлением
- 2.4.13 Статическое и динамическое сопротивление тиратрона.
- 2.4.14 Чем ограничен ток разряда в тиратроне?

3 Экспериментальная часть

В ходе выполнения работы у студентов формируется:

- способностью проводить физико-математическое и физико-химическое моделирование исследуемых процессов и объектов с использованием современных компьютерных технологий (ПК-9);
- готовностью применять знания о технических характеристиках и экономических показателях отечественных и зарубежных разработок материалов и компонентов нано- и микросистемной техники (ПК-20).

3.1 Задание

3.1.1 Записать параметры исследуемых тиратронов, зарисовать их цоколевки.

3.1.2 Разобраться в схеме для исследования тиратрона с токовым управлением.

3.1.3 Снять вольтамперную характеристику $U_a = f(I_a)$ разряда на участке анод-катод. На сетке при этом должен гореть подготовительный разряд с минимальным током разряда.

3.1.4 Снять вольтамперную характеристику $U_c = f(f_c)$ подготовительного разряда.

3.1.5 Снять пусковую характеристику тиратрона $U_{a,3} = f(I_c)$ с токовым управлением. Характеристика снимается следующим образом: при потенциале

анода равном нулю, устанавливается определенное значение тока подготовительного разряда. Затем увеличивается потенциал анода до зажигания разряда. Для получения следующей точки необходимо погасить разряд на участке анод-катод. Для этого напряжение на аноде уменьшается до нуля. Устанавливается следующее значение тока подготовительного разряда и снимается следующая точка характеристики.

3.1.6 Снять осциллограммы напряжения и тока, совместить их во времени.

3.1.7 Разобраться в схеме для исследования тиратрона с электростатическим управлением.

3.1.8 Снять вольтамперную характеристику $U_a = f(I_a)$ разряда на участке анод-катод. На сетке первой при этом должен гореть подготовительный разряд с минимальным током разряда.

3.1.9 Снять вольтамперную характеристику $U_{c1} = f(I_{c1})$ разряда на участке катод-первая сетка при $U_{c2} = 0$, а $U_a < U_3$.

3.1.10 Снять вольтамперную характеристику $U_{c2} = f(I_{c2})$ разряда на участке катод-сетка вторая. На сетке первой при этом должен гореть подготовительный разряд с минимальным током разряда, а $U_a < U_3$.

3.1.11 Снять пусковую характеристику тиратрона $U_{a3} = f(U_{c2})$ с электростатическим управлением. На сетке первой при этом должен гореть подготовительный разряд с минимальным током разряда. Характеристика снимается следующим образом: при потенциале анода равном нулю, устанавливается определенное значение напряжения на второй сетке. Затем увеличивается потенциал анода до зажигания разряда на промежутке анод-катод (появляется скачок в цепи анода). Для получения следующей точки необходимо погасить разряд на участке анод-катод. Для этого напряжение на аноде уменьшается до нуля. Устанавливается следующее значение напряжения на сетке второй (U_{c2}) и снимается следующая точка характеристики.

3.2 Схемы для снятия характеристик тиратронов

Схема для снятия статических характеристик тиратрона с одной сеткой приведена на рис.3.1, а схема для снятия характеристик тиратрона с двумя сетками приведена на рис.3.2.

Обе схемы собраны на одном стенде. Питание анода и второй сетки осуществляется от источника постоянного напряжения $300B$, питание первой сетки – от источника $150B$. Потенциалы всех электродов регулируются соответствующими потенциометрами и контролируются вольтметрами. В цепях всех электродов включены миллиамперметры для измерения токов.

На схеме есть выводы для подключения осциллографа, для измерения напряжения - ac , тока - bc .

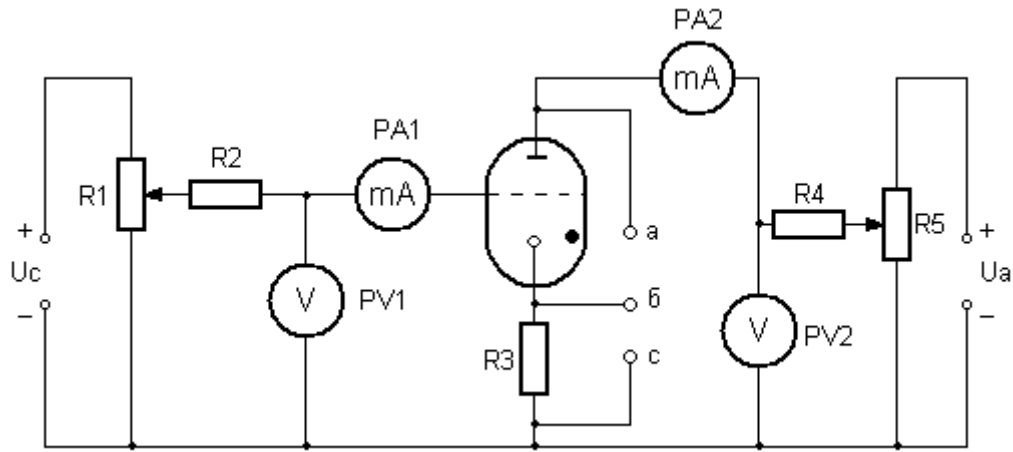


Рисунок 3.1 - Схема для снятия характеристик с одной сеткой

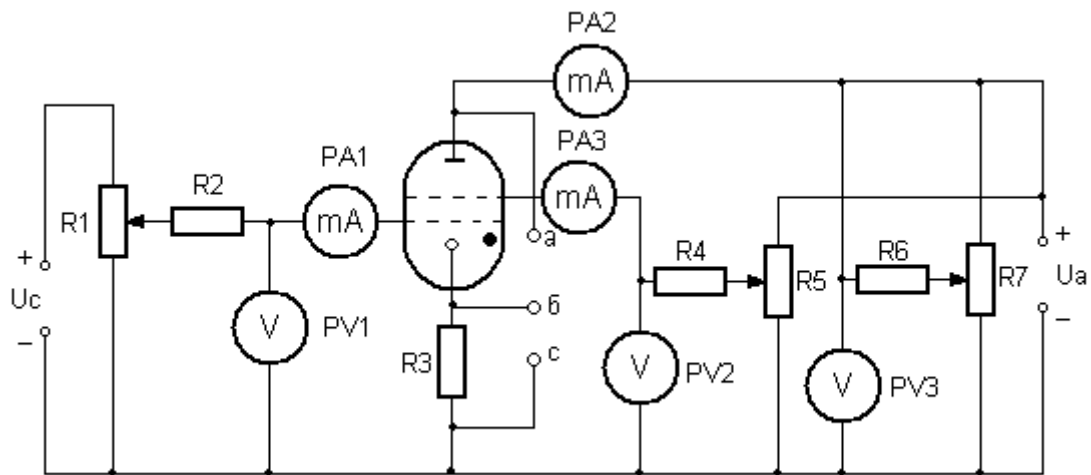


Рисунок 3.2 - Схеме для снятия характеристик тиратрона с двумя сетками

3.3 Порядок выполнения работы и методические указания

3.3.1 Перед началом работы с тиратроном тлеющего разряда преподаватель проверяет подготовленность студентов к занятию. С заданием и теорией по этой работе студент обязан ознакомиться заранее.

3.3.2 Категорически запрещается производить переключение в схеме без снятия напряжения.

3.3.3 Перед началом измерений необходимо оценить пределы измерений пределов измеряемых величин и установить соответствующие шкалы на приборах.

3.4 Обработка результатов измерения

3.4.1 По данным п.3.1.8. и п.3.1.3 построить графики зависимости $U_a = f(I_a)$ для тиратронов с одной и двумя сетками.

3.4.2 По данным п.3.1.4. и п.3.1.9 построить графики зависимостей $U_{a3} = f(I_{c1})$ для обоих исследуемых тиратронов.

3.4.3 По данным п.3.1.5 построить пусковую характеристику для тиратрона с токовым управлением $U_{a3} = f(I_{c1})$.

3.4.4 По данным п.3.1.10 построить график зависимости $U_{c2} = f(I_{c2})$ для тиратрона с электростатическим управлением.

3.4.5 По данным п.3.1.11. построить пусковую характеристику для тиратрона с электростатическим управлением $U_{a3} = f(U_{c2})$.

3.4.6 Определить по вольтамперной характеристике $U_a = f(I_a)$ тиратрона с токовым управлением основные параметры прибора: потенциал горения разряда U_2 , диапазон тока, в пределах которых в тиратроне горит нормальный тлеющий разряд, статическое сопротивление $R_{cm} = \frac{U_a}{I_a}$ и динамическое сопротивление тиратрона $R_i = \frac{dU_a}{dI_a}$.

3.4.7 Определить по вольтамперной характеристике участка сетка – катод: потенциал горения U_c , входное статическое сопротивление $R_{вхст} = \frac{U_c}{I_c}$ и входное динамическое сопротивление тиратрона $R_{вхд} = \frac{dU_c}{dI_c}$.

3.4.8 По пусковой характеристике и $U_{a3} = f(I_c)$ тиратрона с токовым управлением определить чувствительность тиратрона $h = \frac{dU_{a3}}{dI_c}$ на крутом и пологом участках.

3.4.9 Определить по вольтамперной характеристике тиратрона с электростатическим управлением основные параметры прибора U_2, R_{cm}, R_i .

3.4.10 Определить по вольтамперной характеристике $U_{c1} = f(I_{c1})$ входное сопротивление по первой сетке $R_{вх1} = \frac{U_{c1}}{I_{c1}}$, а по вольтамперной характеристике $U_{c2} = f(I_{c2})$ - входное сопротивление по второй сетке $R_{вх2} = \frac{U_{c2}}{I_{c2}}$.

3.4.11 По пусковой характеристике тиратрона $U_{a3} = f(U_{c2})$ с электростатическим управлением определить чувствительность тиратрона $h = \frac{dU_{a3}}{dU_{c2}}$.

3.5 Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- титульный лист, содержащий название вуза, кафедры, название и номер лабораторной работы, наименование дисциплины, по которой выполнена работа, № группы и ФИО студентов, входящих в подгруппу, дату исполнения, ФИО преподавателя, год;

- основную часть, к которой относятся:

- 1) цель работы;
- 2) лабораторное задание;
- 3) паспортные данные и цоколевка исследуемых в работе тиратронов;
- 4) схемы испытаний тиратронов;
- 5) вольтамперные $U_a = f(I_a)$, $U_{c1} = f(I_{c1})$ и пусковую $U_{a3} = f(I_c)$

характеристики тиратрона с токовым управлением;

- б) параметры тиратрона с токовым управлением;

- 7) вольтамперные $U_a = f(I_a)$, $U_{c1} = f(I_{c1})$, $U_{c2} = f(I_{c2})$ пусковую

$U_{a3} = f(U_{c2})$ характеристики тиратрона с электростатическим управлением;

- 8) параметры тиратрона с электростатическим управлением;

- 9) осциллограммы напряжения и тока тлеющего разряда,

совмещенные во времени;

- выводы по результатам работы, которые являются важной частью отчета и подлежат защите

Рекомендуемая литература

1. Каганов И.Л. Ионные приборы. – М.: Энергия, 1972. – 276 с.
2. Дулин В.Н. Электронные и ионные приборы. – М.: Высшая школа, 1977.- 118 с.
3. Власов В.Ф. Электронные и ионные приборы. – М.: Связь – издат, 1960. – 240 с.

Учебное пособие

Аксенов А.И.

Исследование тиратронов тлеющего разряда

Методические указания к лабораторной работе
по дисциплине «Вакуумная и плазменная электроника»

Усл. печ. л. _____. Препринт
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40