

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Ю.В. Мутовин

Методические указания к лабораторной работе

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗВИТИЯ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА
В ИОННЫХ ПРИБОРАХ**

**Издательство
Томского политехнического университета**

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА: ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ РАЗВИТИЯ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА В ИОННЫХ ПРИБОРАХ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение физических процессов и явлений, связанных с возникновением и развитием самостоятельного и несамостоятельного разрядов в газе, экспериментальное определение вольтамперных характеристик и основных параметров исследуемых разрядов.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Ионные приборы, основанные на использовании разряда в газах или парах ртути, потеряли свое значение в электронике в связи с бурным развитием полупроводниковой элементной базы. Однако в отдельных случаях использование некоторых из них является более предпочтительным, а иногда они просто незаменимы.

Наиболее широко используются в настоящее время приборы тлеющего разряда с холодным катодом. Они технологичны в производстве, просты по конструкции и долговечны. Функции, которые они выполняют, довольно многогранны. Это индикация буквенно-цифровой и знаковой информации, стабилизация напряжения, счет импульсов ядерных частиц, дозиметрия фотонного излучения, генерация лазерного излучения, электронно-ионная технология, освещение и др. Кроме того, появились новые типы ионных приборов таких, например как плазменные дисплеи.

Процесс прохождения электрического тока через газ называют *электрическим разрядом*. Электрические разряды в газе подразделяются на несамостоятельные и самостоятельные.

Несамостоятельным называют электрический разряд, для поддержания которого требуется эмиссия электронов из катода или образование заряженных частиц в разрядном промежутке под действием внешних факторов (нагрев катода, облучение катода или газа в разрядном промежутке светом, рентгеновским или радиоактивным излучением и др.).

Самостоятельным называют электрический разряд, для поддержания которого не требуется образование заряженных частиц под влиянием внешних факторов. При самостоятельном разряде образование и движение зарядов в разрядном промежутке осуществляется только за счет энергии электрического поля, действующего между катодом и анодом.

В отличие от электровакуумных, перенос зарядов в газоразрядных приборах осуществляется не только электронами, но и ионами. Полный ток через прибор равен сумме электронного и ионного токов, поскольку разноименные заряды перемещаются во встречных направлениях. При этом ионный ток значительно меньше электронного, так как скорость движения «тяжелых» ионов существенно меньше движения электронов.

Электроны, двигаясь к аноду, ионы к катоду могут соударяться с молекулами газа. Если их энергия, зависящая от внешнего напряжения, велика, то возможно возбуждение или ионизация атомов газа. Напряжения, при которых происходят эти процессы, называются соответственно потенциалом возбуждения U_e и потенциалом ионизации U_i . Для ионизации уже возбужденных атомов требуется меньшая энергия (ступенчатая ионизация). Потенциалы возбуждения инертных газов лежат в пределах (10–20) В, а потенциалы ионизации от 15 до 35 В.

Если последовательно с разрядной трубкой (прибор с двумя плоскими электродами, наполненный инертным газом при давлении 10^{-3} – 10^{-1} мм. рт. ст.) включить переменное балластное сопротивление позволяющее регулировать ток (рис. 2.1), то при достаточной мощности источника питания можно получить полную вольтамперную характеристику (ВАХ) разряда, изображенную на рис. 2.2.

В зависимости от величины тока получаются различные виды разрядов, отличающиеся друг от друга падением напряжения, характером свечения, различными физическими процессами, происходящими на электродах и в объеме газа.

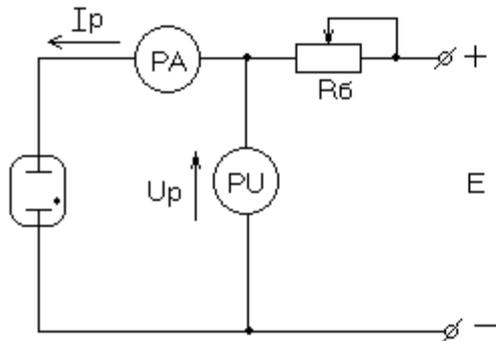


Рис.2.1

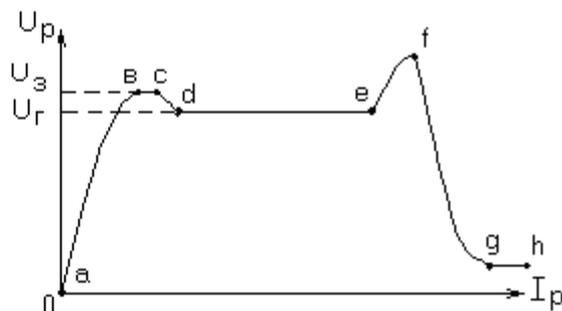


Рис.2.2

Участок (а-в) на ВАХ соответствует несамостоятельному темному разряду (отсутствует свечение), имеющему место при очень малых разрядных токах (10^{-9} – 10^{-8} А). Разрядный ток мал вследствие незначительного количества носителей заряда в разрядном промежутке. Наличие зарядов связано с тем, что в газовой среде, представляющей совокупность нейтральных атомов и молекул, всегда имеются в небольшом количестве ионизированные атомы и электроны, образующиеся под воздействием света, радиоактивного фона и космических лучей.

На участке (в-с) разряд переходит в самостоятельный, оставаясь темным. Здесь электроны под действием ускоряющего напряжения набирают энергию, достаточную для ионизации газа. Ток в этой области достигает значений 10^{-6} – 10^{-5} А. Участок (с-д) соответствует неустойчивому переходному разряду от темного разряда к самостоятельному тлеющему разряду. Название тлеющий он получил потому, что при его возникновении наблюдается свечение газа, которое напоминает свечение тлеющего тела.

Вначале наблюдается нормальный тлеющий разряд. Это участок ($d-e$) на ВАХ. Ток разряда здесь порядка единиц и десятков миллиампер. На этом участке по мере роста тока интенсивность свечения увеличивается, а напряжение остается практически постоянным. При дальнейшем увеличении тока возникает аномальный тлеющий разряд (участок $e-f$). Для этого вида разряда характерно повышение напряжения на электродах разрядной трубки и увеличение яркости свечения газа по мере роста тока.

Участок ($f-g$) соответствует неустойчивому переходному разряду от аномального тлеющего к самостоятельному дуговому разряду. Дуговой разряд (участок $g-h$) характеризуется малым падением напряжения (10-20 В) и большими значениями тока от единиц до сотен и тысяч ампер.

Напряжение, при котором происходит переход от несамостоятельного к самостоятельному разряду, называется напряжением зажигания U_z . (рис. 2.2) При этом напряжении ток разряда существенно возрастает (участок $b-c$). Это явление обусловлено процессом ударной ионизации газа и называется газовым усилением.

Суть явления заключается в следующем. Двигаясь под действием электрического поля, электроны накапливают энергию (ускоряются) и, сталкиваясь с атомами газа, ионизируют их. Возникающие при этом положительные ионы движутся к катоду, а электроны к аноду. Количество электронов возрастает. Эти электроны ускоряются в электрическом поле и вновь ионизируют газ. Так развивается электронная лавина. В этом процессе также участвуют и положительные ионы. Они под действием электрического поля двигаются к катоду и, приобретая значительную энергию, интенсивно бомбардируют катод. При этом возникает эмиссия электронов с катода, и эти электроны тоже участвуют в процессе ионизации газа и создании электронных лавин.

Для количественной оценки процессов газового усиления Таунсенд ввел понятие коэффициента объемной ионизации, показывающие, сколько ионизаций осуществляет электрон на одном метре пути. Чем выше значение этого коэффициента, тем больше газовое усиление.

Коэффициент объемной ионизации зависит от напряженности электрического поля и средней длины свободного пробега электрона в газе. Средняя длина свободного пробега электрона, определяется видом и давлением газа, находящегося в пространстве между электродами.

Явление газового усиления впервые было обнаружено и изучено в 1888 году А.Г. Столетовым. Им было установлено, что в данном газе для каждой напряженности электрического поля соответствует определенное давление газа, при котором газовое усиление максимально. Каждый газ характеризуется некоторой константой, представляющей собой отношение напряженности поля к давлению газа, при котором газовое усиление максимально.

Таким образом, явление газового усиления приводит к возникновению самостоятельного разряда. Условие, при котором разряд становится

самостоятельным, заключается в следующем. Если один электрон, выходящий из катода в результате ионизации атомов газа, создает такое количество ионов, которые, приходя к катоду, вновь выбивают из него не менее одного электрона.

Напряжение, при котором возникает самостоятельный разряд, называют напряжением возникновения самостоятельного разряда или напряжением зажигания. Зависимость напряжения зажигания от произведения давления газа и расстояния между электродами ($p \cdot d$) была установлена экспериментально Пашеном и носит, поэтому название Закон Пашена. Кривые, выражающие зависимость $U_z = f(p \cdot d)$ для разных газов показаны на рис. 2.3 и называются кривыми Пашена.

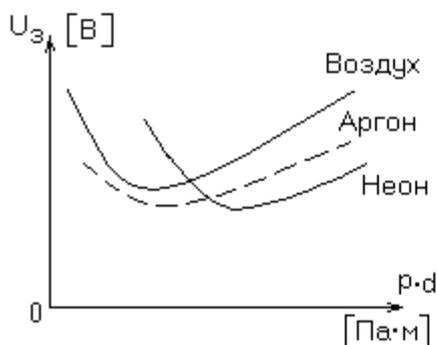


Рис.2.3

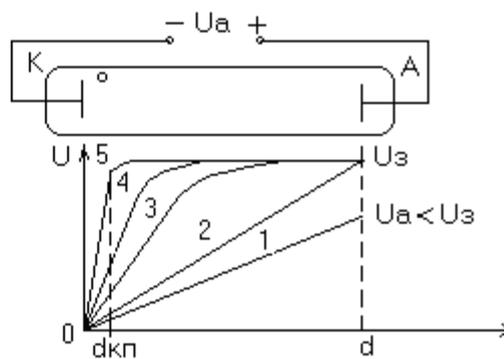


Рис.2.4

Они показывают, что есть оптимальное значение, при котором зажигание разряда облегчено, т.е. U_z минимально. Наличие минимума напряжения зажигания объясняется характером зависимости коэффициента объемной ионизации от давления газа и напряженности электрического поля. Для каждого типа газа существует оптимальное значение ($p \cdot d$) при котором условия для возникновения самостоятельного разряда наиболее благоприятные и соответственно разряд происходит при возможном минимальном напряжении. Напряжение зажигания зависит не только от давления газа, расстояния между электродами, типа газа, но и от материала электродов и состояния поверхности катода.

Следует заметить, что закон Пашена нарушается при значительном уменьшении давления газа и расстояния между электродами, когда средняя длина свободного пробега электронов и ионов становится большей по сравнению с расстоянием между электродами. Нарушение закона Пашена наблюдается также при высоких давлениях газа (порядка нескольких атмосфер), когда разряд развивается в форме искры.

Самостоятельный разряд может существовать в различных формах, которые отличаются друг от друга процессами, протекающими у катода. Следует иметь в виду, что при переходе разряда в самостоятельный, рост тока приводит к формированию объемных зарядов электронов и ионов, изменяющих картину электрического поля между электродами и условия прохождения электронных лавин.

На рис. 2.4 показано в упрощенном виде как изменяется распределение потенциала между электродами с ростом тока разряда. Концентрация электронов и ионов в межэлектродном пространстве до возникновения самостоятельного разряда еще мала. Поэтому распределение потенциала в межэлектродном пространстве практически линейное (прямые линии 1, 2 на рис. 2.4).

Качественно иная картина наблюдается, когда анодное напряжение повышается до значения или большего напряжения зажигания самостоятельного разряда. В межэлектродном пространстве начнет накапливаться заметный объемный заряд электронов и положительных ионов. Основная масса электронов и положительных ионов будет генерироваться перед анодом, так как процесс ионизации лавинообразный. Именно перед анодом возникает слой сильно ионизированного газа, т.е. плазмы, имеющей высокую электропроводность. Следовательно, перепад потенциала на этом участке будет небольшим. Там, где плазма практически отсутствует, будет иметь место линейный рост потенциала, а на участке плазмы лишь незначительное изменение потенциала. Чем больше ток, тем больше положительных ионов, тем больше созданный ими объемный заряд и тем сильнее отклоняется распределение потенциала от линейного закона (кривые 3, 4, 5 на рис. 2.4).

Распределение потенциала таково, что почти все анодное напряжение падает в тонком слое около катода. Эта область называется катодной частью разрядного промежутка или областью катодного падения. Так как в этой области вдоль короткого промежутка действует значительное падение напряжения, напряженность поля здесь достигает высоких значений. Можно сказать, что роль анода выполняет ионное облачко с большим положительным зарядом. Отрицательный объемный заряд электронов компенсируется положительным зарядом ионов. В этой области действует ускоряющее поле, как для электронов, так и для ионов. Ионы двигаются из плазмы в область катодного падения, где получают ускорение, так как напряженность поля здесь велика. Ударяясь с большой скоростью в катод, ионы выбивают из него электроны. Вылетевшие из катода электроны в области катодного падения сильно ускоряются и влетают в плазму с большой скоростью, достаточной для ионизации газа. Электроны сталкиваются с атомами газа в различных частях плазмы.

Наряду с ионизацией и возбуждением атомов газа в плазме происходят и процессы рекомбинации. Поэтому при возникновении тлеющего разряда появляется свечение газа около катода. С увеличением тока оно усиливается, расширяется и в итоге распространяется на всю плазму.

Тлеющему разряду на ВАХ рис. 2.2 соответствуют два участка ($d-e$) и ($e-f$). На участке ($d-e$) напряжение с ростом тока практически не меняется. Это напряжение горения нормального тлеющего разряда (U_r), не зависит от тока и является константой, которая определяется типом газа и материалом катода.

Кроме того, установлено, что произведение давления газа на ширину участка катодного падения потенциала ($p \cdot d_{кп}$) постоянно для данного газа и материала катода. Обычно значение U_r находится в пределах от 60 до 150 В. Для этого вида разряда характерно также постоянство плотности тока катода независимые от тока разряда. Это связано с тем, что после возникновения разряда только небольшая часть поверхности катода является рабочей. Ток проходит именно через эту часть поверхности, и свечение наблюдается лишь у этой части поверхности. С возрастанием тока рабочая поверхность катода увеличивается пропорционально току, поэтому плотность тока остается неизменной. При максимальном токе нормального тлеющего разряда (точка e на ВАХ) вся поверхность катода становится рабочей и охватывается свечением.

Постоянство напряжения горения при нормальном тлеющем разряде объясняется тем, что с ростом разрядного тока одновременно пропорционально увеличивается рабочая площадь катода. В результате площадь поперечного сечения разрядного промежутка станет больше и соответственно внутреннее сопротивление разрядной трубки уменьшается. Таким образом, сопротивление уменьшается во столько раз, во сколько увеличивается ток и, следовательно, напряжение горения остается постоянным. Это свойство нормального тлеющего разряда используют в ионных приборах, предназначенных для стабилизации напряжения.

Когда разряд распространяется на всю поверхность катода (точка e на ВАХ), то дальнейший рост тока невозможен без увеличения напряжения. С этого момента нормальный тлеющий разряд переходит в аномальный (участок $e-f$ на ВАХ). При этом виде разряда увеличивается не только падение напряжения на разрядной трубке, но и плотность тока, так как сечение разрядного промежутка остаются практически постоянным. Кроме того, усиливается яркость свечения газа около катода, и свечение распространяется все больше в область разрядного промежутка.

Режим аномального катодного падения используется в различных ионных приборах. Например, в таких приборах как буквенно-цифровые индикаторные лампы, газосветные лампы и т.д.

При аномальном тлеющем разряде по мере роста тока происходит увеличение катодного потенциала и уменьшение ширины участка катодного падения потенциала. Это приводит к возрастанию напряженности электрического поля в катодной области и, следовательно, к увеличению энергии ионов, бомбардирующих катод. Когда разрядный ток достигает значительной величины (точка f на ВАХ), нагрев катода вследствие ударов ионов становится довольно сильным. При этом в силу естественной неоднородности и различных условий охлаждения отдельных участков катода один из них нагревается сильнее других и начинает за счет нагрева эмитировать дополнительное число электронов. Рост электронной лавины с данного участка приводит к дальнейшему увеличению числа ионов бомбардирующих этот участок. В результате разряд стягивается на катод в

пятно очень малых размеров. Это пятно называют катодным. При таком развитии разряда преобладающей становится термоэлектронная эмиссия, а не процессы выбивания электронов с поверхности катода ударяющих ее ионов.

В разрядной трубке устанавливается новая форма разряда, т.е. самостоятельный дуговой разряд (участок $g-h$ на ВАХ). При этом виде разряда, как и при тлеющем разряде, непосредственно перед катодом располагается участок катодного падения потенциала. Однако если в тлеющем разряде протяженность участка катодного падения составляет несколько длин свободного пробега электронов, то при дуговом разряде его протяженность примерно равна средней длине свободного пробега электрона. Кроме того, величина катодного падения потенциала при дуговом разряде намного меньше, чем в тлеющем разряде. Эта величина примерно равна потенциалу ионизации газа, которым наполнен прибор. Возможность горения дугового разряда при существенно меньших напряжениях, чем при тлеющем разряде, т.е. на уровне потенциала ионизации газа объясняется очень малым сопротивлением разрядного промежутка, так как концентрация носителей заряда при дуговом разряде очень высокая.

Это обусловлено следующими обстоятельствами. Во-первых, в результате уменьшения протяженности участка катодного падения электроны, выходящие из катода, проходят его практически без столкновений с атомами газа и, следовательно, накапливают энергию, достаточную для ионизации газа. Движение ионов к катоду происходит также почти без столкновений с атомами, без потерь энергии, т.е. каждый ион, приносит на катод всю получаемую при прохождении участка катодного падения энергию.

Во-вторых, суммарная энергия ионов приходящих к катодному пятну довольно высока, что обеспечивает поддержание высокой температуры катодного пятна и соответственно интенсивному выходу электронов с катода вследствие термоэлектронной эмиссии.

Кроме того, при дуговом разряде высока вероятность возникновения электростатической эмиссии, так как напряженность электрического поля на участке катодного падения вследствие его малости достигает очень высоких значений. Таким образом, при переходе к дуговому разряду резко снижается внутреннее сопротивление прибора, сильно увеличивается ток и особенно плотность тока в катодном пятне.

Уменьшение напряжения на разрядной трубке при переходе от тлеющего к дуговому разряду происходит автоматически за счет увеличения падения напряжения на балластном резисторе при росте тока.

Разряд, аналогичный самостоятельному дуговому разряду, можно получить, используя в приборе катод, нагреваемый внешним источником. Отличием является возможность существования несамостоятельного дугового разряда при малых токах, значительно меньших, чем при самостоятельном дуговом разряде. Такой вид разряда используют, например, в таких ионных приборах как тиратрон или газотрон.

Вольтамперная характеристика несамостоятельного дугового разряда представлена на рис. 2.5.

При напряжениях между электродами, меньших потенциала ионизации газа, через прибор протекает лишь электронный ток, аналогичный току электровакуумного диода (участок $0-a$ на ВАХ). Когда напряжение станет равным потенциалу ионизации газа (точка a на ВАХ), в разрядном промежутке начинаются процессы ионизации и возникает разряд. В межэлектродном пространстве формируется плазма, граница которой, как и при самостоятельном дуговом разряде, подходит очень близко к катоду. Непосредственно перед катодом располагается область катодного падения потенциала, величина которого близка к потенциалу ионизации газа, наполняющего прибор.

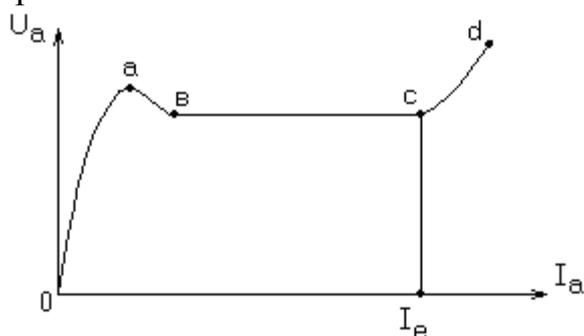


Рис. 2.5

Небольшое уменьшение напряжения между катодом и анодом, приводящее к появлению на ВАХ порога возникновения разряда (участок $a-b$), связано с перераспределением потенциала в межэлектродном пространстве, а также с процессом ступенчатой ионизации газа.

Рост тока на рабочем участке ($b-c$) имеет место при почти постоянном напряжении. На этом участке ток через прибор меньше тока эмиссии катода. По мере роста тока происходит постепенная нейтрализация поля объемного заряда электронов полем положительных ионов, что связано с усилением процесса ионизации газа. При этом внутреннее сопротивление прибора уменьшается пропорционально росту тока.

Когда ток через прибор станет равным току термоэмиссии катода $-I_e$ (точка c на ВАХ) отрицательный объемный заряд практически полностью нейтрализуется. Дальнейший рост тока невозможен без увеличения напряжения, так как дополнительное количество электронов обеспечивается бомбардировкой катода положительными ионами. Увеличение катодного падения потенциала приводит к усилению процессов ионизации и увеличению эмиссии электронов с катода.

Это связано с увеличением энергии ионов, которые выбивают все большее количество электронов. Кроме того, они вызывают дополнительный нагрев катода. Дальнейший рост тока может привести к переходу несамостоятельного дугового разряда в самостоятельный дуговой.

Участок (*c-d*) на ВАХ является не рабочим в реальных приборах из-за интенсивного разрушения катода вследствие интенсивной бомбардировки его быстрыми положительными ионами, идущими из плазмы.

3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

3.1. Описание лабораторной установки

В лабораторной работе исследуются начальные формы самостоятельного разряда на примере цифровой индикаторной лампы и несамостоятельный дуговой разряд в тиратроне. В обоих случаях снимаются ВАХ разряда в диапазоне токов, которые являются допустимыми для указанных приборов. В тиратроне управляющая сетка соединена с катодом, то есть имеет нулевой потенциал и не влияет на процессы в разрядном промежутке анод-катод. Этим самым тиратрон превращается в обычную разрядную трубку.

Лабораторная установка состоит из основного стенда с источниками питания и измерительными приборами, а также дополнительного блока. Принципиальная схема этого блока приведена на рис. 3.1.

Она содержит две отдельные схемы для исследования самостоятельного разряда на примере индикатора (рис. 3.1, а) и несамостоятельного на тиратроне (рис. 3.1, б). Для питания анодной цепи цифрового индикатора используется источник Е2 стенда с регулировкой напряжения от 0 до 250 вольт. С тем, чтобы изучить поведение разряда при малых токах, в анодную цепь включен регулируемый балластный резистор большой величины. Он состоит из дискретно переключаемых постоянных резисторов, условно показанных как R1 и двух переменных резисторов R2 и R3. Значения сопротивления максимально при крайнем левом положении ручек регулировки. Для увеличения тока необходимо последовательно регулировать значение сопротивления R1, R2 и R3, так как $R1 > R2 > R3$.

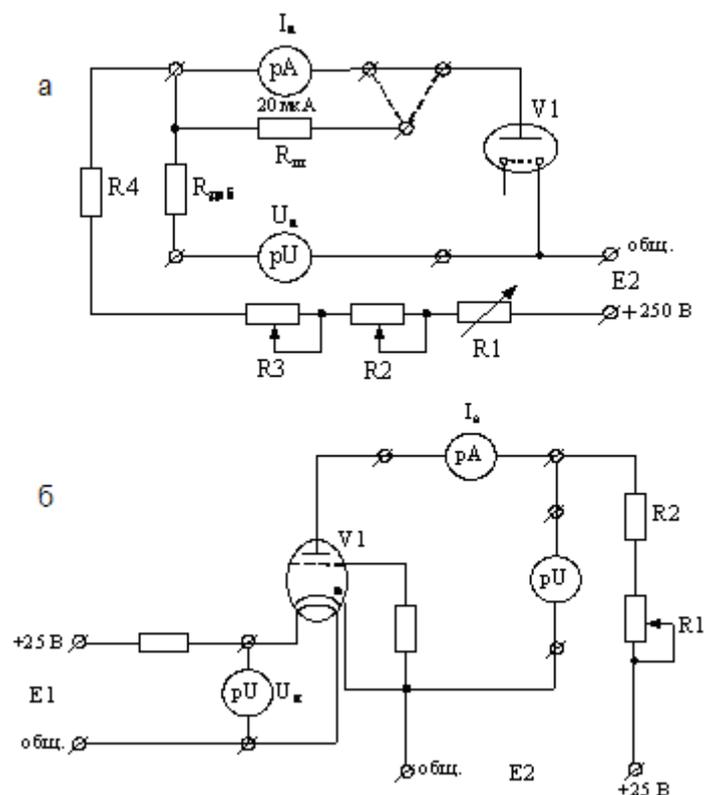


Рис. 3.1

Резистор R4 ограничивает максимальное значение тока. Для расширения пределов измерения анодного тока в блоке установлен шунт. Если на самом стенде установить предел измерения анодного амперметра 0.2 мкА и подключить параллельно зажимам прибора шунт, то максимальное значение шкалы будет соответствовать 20 мкА.

Для измерения анодного напряжения необходим вольтметр с очень большим входным сопротивлением, чтобы оно не шунтировало балластный резистор ($R1+R2+R3+R4$). Стандартное входное сопротивление вольтметра PU равно 10^7 Ом. Для его увеличения последовательно с вольтметром включено добавочное сопротивление $R_{доб}$. Оно подобрано так, что если установить на вольтметре предел 30 вольт, то с учётом $R_{доб}$ действительный предел будет равен 300 вольт, а входное сопротивление измерительной цепи повысится до 10^8 Ом.

Анодная цепь тиратрона (рис. 3.1, б) в целом аналогична и несколько проще, так как здесь нет необходимости регулировать балластный резистор ($R1+R2$) в широких пределах, использовать шунты и добавочные резисторы для расширения пределов измерения.

3.2. Программа и методические указания к выполнению работы

3.2.1. Перед началом работы преподаватель поверяет готовность студентов к занятиям. С теорией и заданием к работе студенты знакомятся заранее по рекомендуемой литературе и настоящему руководству.

3.2.2. Сборка схемы эксперимента и все коммутации производятся в обязательном порядке при выключенном стенде. Включать стенд только после проверки схемы преподавателем.

3.2.3. Собрать схему для исследования самостоятельного разряда, показанную на рис. 3.1, а. Установить ручки регулировки E2 на стенде и резисторов R1, R2 и R3 в крайне левое положение. Включить сам стенд, источник питания E2, оба вольтметра стенда и один амперметр. После 2-3 минут прогрева установить нули вольтметров и амперметра. Для последнего в этом случае необходимо отжать все кнопки пределов амперметра. Далее проверить калибровку вольтметров и установить калибровочное число.

Поставить на анодном вольтметре предел 30В. С учётом добавочного сопротивления действительный диапазон составит 300В. Анодный амперметр включить на предел 0.2 мкА. Затем подсоединить параллельно зажимам прибора шунт, который расширяет измерения предел до 20 мкА.

3.2.4. Приступить к измерениям. Медленно поднимая напряжение, тщательно засечь напряжение, при котором появится скачок тока (U_3). После этого увеличивая напряжение E2 до максимального значения, а затем, последовательно уменьшая резисторы R1, R2 и R3, снять зависимость $U_a f(I_a)$. После того, как амперметр зашкалит, переключатель пределов поставить на 200 мкА, а шунт отключить. Далее по мере надобности увеличивать предел измерений. В каждой декаде изменения тока снимать 3,4 точки. Форма таблицы данных произвольная. При снятии характеристики зафиксировать и отметить на вольтамперной характеристике начало свечения, а также моменты, когда светится половина цифры и вся цифра. Установить ручки регулировки E2 в крайне левое положение и выключить его.

3.2.5. Измерительные приборы не выключать. Собрать схему рис. 3.1, б для исследования несамостоятельного дугового разряда. Установить ручки E1 и E2, а также R1 на дополнительном блоке в крайне левое положение. Включить E1 и E2. Установить напряжение накала 6.3 ± 0.1 В. Дать прогреться тиратрону в течение 2–3 мин.

3.2.6. По методике, изложенной в п. 3.3.3. снять зависимость $U_a f(I_a)$. После зажигания ток менять через 10 мА. Уменьшить напряжение накала до 5 вольт и, дав установиться температурному режиму катода в течение 2–3 мин., повторить измерения. Показать полученные данные преподавателю, с его разрешения выключить всю измерительную аппаратуру и разобрать лабораторную установку.

3.3. Содержание отчета

3.3.1. Цель работы и краткое описание лабораторной установки.

3.3.2. Принципиальную схему для исследования самостоятельного разряда, назначение элементов.

3.3.3. Таблица экспериментальных данных $U_a f(I_a)$ и график этой зависимости, где по оси токов использовать логарифмический масштаб. Дать качественное описание наблюдаемых явлений. Указать на графике и назвать области самостоятельного разряда. Определить напряжение зажигания и напряжение горения нормального тлеющего разряда.

3.3.4. Таблица экспериментальных данных и график зависимости $U_a f(I_a)$ для двух напряжений накала. Дать качественное описание полученных графиков. Определить потенциал ионизации аргона, которым наполнен тиратрон. Указать точку на графике, соответствующую току эмиссии катода.

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

4.1. Что понимают под самостоятельным и несамостоятельным разрядом в газе?

4.2. Что представляет собой полная ВАХ газового разряда, из каких характерных участков она состоит?

4.3. Какие процессы наблюдаются в разрядном промежутке при увеличении напряжения между анодом и катодом ионного прибора?

4.4. В чем сходство и различие нормального тлеющего разряда по сравнению с аномальным разрядом?

4.5. Что называется напряжением зажигания и напряжением горения самостоятельного разряда? Зависят ли эти параметры от расстояния между анодом и катодом прибора?

4.6. Что такое коэффициент объемной ионизации и от чего зависит его величина?

4.7. Что представляет собой кривая Пашена? При каких условиях происходит нарушение закона Пашена?

4.8. Как изменится ВАХ тлеющего разряда, если поверхность электродов увеличить или уменьшить примерно в сто раз?

4.9. Как и почему изменяется распределение потенциала между электродами ионного прибора тлеющего разряда с ростом разрядного тока?

4.10. Вследствие каких причин тлеющий самостоятельный разряд переходит в дуговой?

4.11. В чем заключаются отличия несамостоятельного дугового разряда от самостоятельного дугового разряда? Какие процессы протекают в межэлектродном промежутке при несамостоятельном дуговом разряде? (Дать пояснения по ВАХ разряда).

4.12. При каких условиях несамостоятельный дуговой разряд переходит в самостоятельный разряд?

5. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соболев В.Д. Физические основы электронной техники. – М.: Высшая школа, 1979. – 448 с.
2. Фридрихов С.А., Мовин С.М. Физические основы электронной техники. – М.: Высшая школа, 1982. – 608 с.
3. Герасимов С.М., Белоус М.В., Москалюк В.А. Физические основы электронной техники. – М.: Высшая школа, 1981. – 366 с.
4. Бронштейн Ш.М., Фрайман Б.С. Вторичная электронная эмиссия. – М.: Наука, 1969. – 407 с.
5. Соболев В.Д., Меламид А.В. Фотоэлектронные приборы. – М.: Высшая школа, 1974. – 376 с.
6. Власов В.Ф. Электронные и ионные приборы.– М.: Государственное издательство литературы по вопросам связи и радио, 1960. – 726 с.
7. Жеребцов И.П. Основы электроники. – М.: Энергия, 1967. – 416 с.