

Отчет по лабораторной работе №2  
**Исследование биполярных процессов переноса тока в  
теющем разряде**

Выполнили студенты 440 группы  
Войтович Д.А., Понур К.А.

Нижний Новгород, 2020

# 1. Теоретическая часть

## 1.1. Основные части тлеющего разряда

Через разрядный промежуток электроны проходят значительно быстрее ионов. Значит, в разрядном промежутке, как только создается условие для ионизации газа электронами, начинает накапливаться положительный пространственный заряд ионов.

Рассмотрим, как будет меняться распределение потенциала между электродами (рис.1). Прямая 1 - распределение потенциала в начале разряда. Выделим группу электронов начинающих двигаться от катода и набирающих скорость, достаточную для ионизации вблизи анода. После их прохождения вблизи анода останутся малоподвижные плюс-тоны и кривая распределения потенциала примет вид 2. Поле вблизи катода станет больше. Вторая партия, состоящая из электронов, образованных на пути следования первой партии, и фотоэлектронов из катода, создает пространственный заряд вблизи  $A_2$  и кривая потенциала примет вид 3. Расчет показывает, что после прохождения 3-4 электронных лавин, кривая распределения потенциала 4 стабилизируется и будет показывать резкое падение потенциала вблизи катода (катодное падение) вследствие образования положительного пространственного заряда, что произойдет очень быстро из-за малого времени пробега электронов.

Разделение электронов на партии - искусственный прием. В действительности, изменение формы кривой потенциала происходит непрерывно. Разряд, характерной особенностью которого является большое катодное падение потенциала - тлеющий разряд, обычно устанавливается при небольших давлениях. Катодные части разряда занимают всего несколько миллиметров вблизи катода. Можно считать, что размер области катодного падения равен 10-12 свободным пробегам электрона, на таком пути практически все электроны испытывают хотя бы одно соударение. Чем меньше давление, тем длиннее область катодного падения.

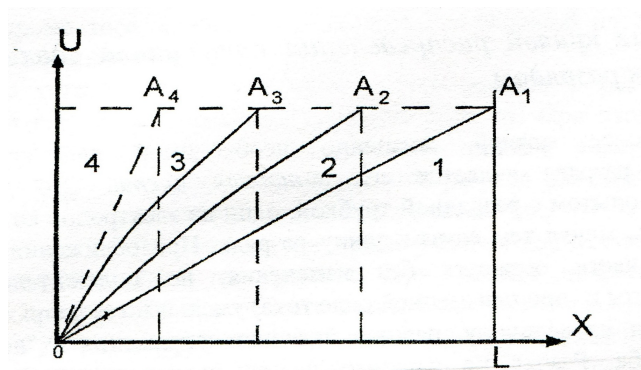


Рис. 1: Установление распределения потенциала в тлеющем разряде

Механизм поддержания разряда можно представить себе в таком виде: электроны, освобожденные из катода в результате  $\gamma$ -процессов, набирают сначала скорость и, пройдя некоторый путь, приобретают энергию, достаточную для ионизации и при том такую, при которой вероятность ионизации близка к максимуму (при соударении вероятность ионизации быстрыми электронами мала, а медленные электроны, энергия которых меньше энергии ионизации, совсем не могут ионизировать газ). В результате появляется область, где происходит много ионизаций, т.е. накапливается большой положительный пространственный заряд - это и есть область катодного падения.

Следующая область тлеющего разряда - положительный столб, который представляет собой высокоионизированный и электрически квазинейтральный газ, называемый плазмой. Большая концентрация заряженных частиц обуславливает высокую проводимость плазмы. Свечение плазмы - это свечение атомов, переходящих из возбужденного состояния в нейтральное. Большая часть заряженных частиц производится в ней самой при ионизирующих столкновениях. Только небольшая часть электронов входит в плазму из других частей разряда. Чтобы плазма могла существовать и чтобы число вновь создававшихся ионов равнялось числу исчезнувших, в газоразрядной плазме должен существовать продольный градиент потенциала. В стационарном состоянии оба этих процесса генерации и рекомбинации ионов вполне скомпенсированы. В тлеющем разряде положительный столб играет роль провода, соединяющего прикатодные части разряда с анодом, ничего не прибавляя к катодной части разряда и ничего не отнимая от нее.

## 1.2. Вольт-амперная характеристика тлеющего разряда

Если к электродам разрядной трубки приложено напряжение, достаточное для зажигания разряда, то в зависимости от давления газа, мощности источника напряжения и внешнего сопротивления, включенного в цепь трубки, установится тихий, тлеющий или дуговой разряд. При этом конечная форма будет развиваться из так называемого "тихого" разряда который характеризуется малой плотностью тока и незначительным пространственным зарядом. Переходные формы разряда можно стабилизировать путем введения последовательно с трубкой большого омического сопротивления.

При постепенном уменьшении этого сопротивления сила тока через трубку будет возрастать при одновременном изменении напряжения на клеммах трубки. Зависимость напряжения от силы тока в этом случае изображается кривой ABCDE (рис.2). Для удобства на оси абсцисс откладывается  $\ln J$ . Отрезок АВ соответствует несамостоятельному разряду, ВС - переходной стадии разряда, CDE - тлеющему разряду. Таким образом, вольт-амперная характеристика тлеющего разряда состоит из двух ветвей, из которых одна -

падающая - разряд с нормальным катодным падением, другая - возрастающая - разряд с аномальным катодным падением.

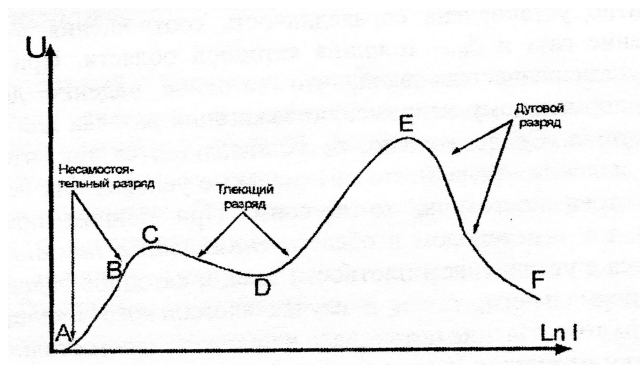


Рис. 2: Вольт-амперная характеристика тлеющего разряда

На участке CD разряд находится в стадии нормального тлеющего разряда. Это значит, что катодное падение должно оставаться величиной постоянной (здесь справедлив закон Геля). Но падение потенциала складывается из катодного падения и падения потенциала на положительном столбе, которое уменьшается с возрастанием тока. Следовательно, и вся разность потенциалов между электродами будет уменьшаться с увеличением силы тока. На участке DE разряд уже будет аномальным и, следовательно, катодное падение в этом случае увеличивается с увеличением силы тока и при том в большей степени, чем уменьшается градиент в положительном столбе. Характеристика разряда, таким образом, состоит из падающего участка и возрастающего участка.

## 2. Экспериментальная часть

### 2.1. Экспериментальная установка

Схема установки:

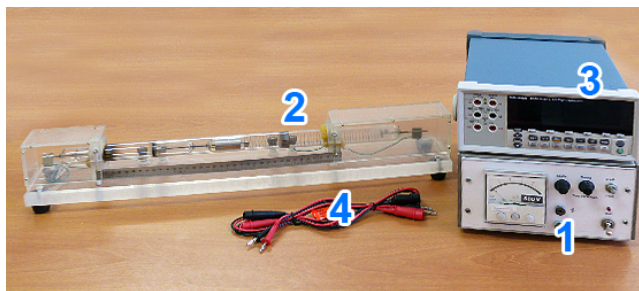


Рис. 3: Схема экспериментальной установки

Регулируемый стабилизатор тока (1) позволяет поддерживать через газоразрядную трубку (2) постоянный ток. Ток и измеряется миллиамперметром (А), напряжение разряда измеряется вольтметром (V), оба прибора реализованы в составе мультиметра (3). Сборка экспериментальной схемы производится с помощью соединительных проводов (4).

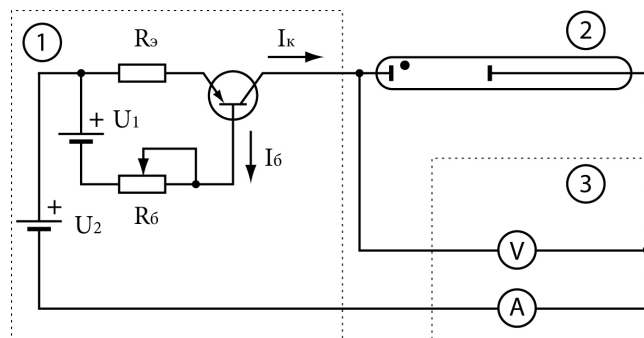


Рис. 4

## 2.2. Задание 1

По полученным экспериментальным данным построены кривые распределения потенциала в трубке для трёх значений тока разряда: 1 мА, 2 мА и 3 мА:

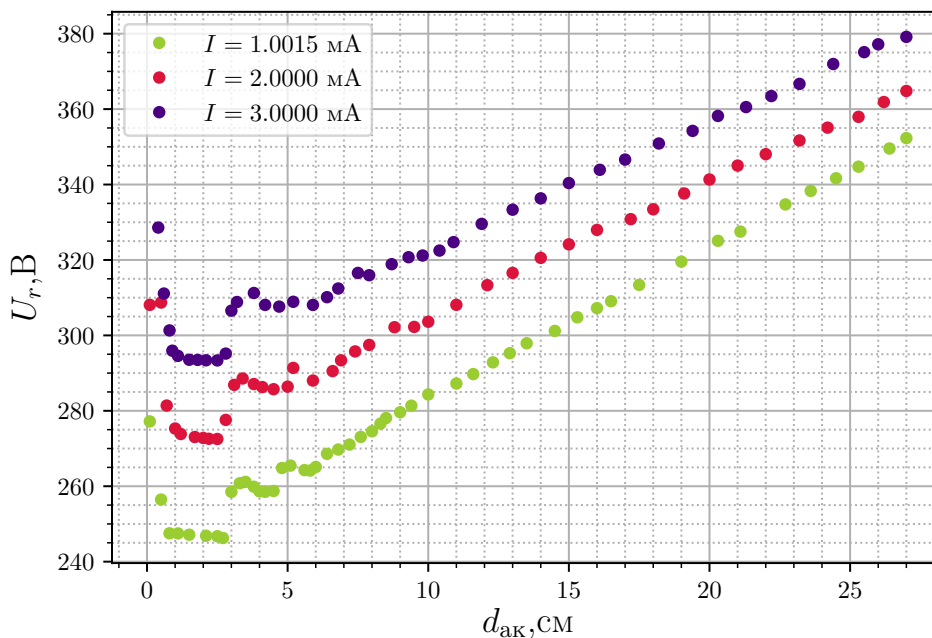


Рис. 5

Область положительного столба начинается там, где зависимость становится линейной, а потенциал начинает расти.

Из снятых характеристик определить катодное падение потенциала (полное падение потенциала есть сумма катодного потенциала и потенциала в положительном столбе):

$$I = 1mA : \Delta U = 261.16 - 246.27 = 14.89 \pm 0.02B$$

$$I = 2mA : \Delta U = 288.57 - 272.53 = 16.04 \pm 0.02B$$

$$I = 3mA : \Delta U = 311.24 - 293.36 = 17.88 \pm 0.02B$$

и продольный градиент потенциала в положительном столбе (от первого минимума до первого максимума):

$$I = 1mA : \Delta U = 301.79 - 297.91 = 3.88 \pm 0.02B/cm$$

$$I = 2mA : \Delta U = 320.55 - 316.56 = 3.99 \pm 0.02B/cm$$

$$I = 3mA : \Delta U = 336.33 - 333.33 = 3.00 \pm 0.02B/cm$$

Убедиться, что с ростом силы тока падение потенциала в положительном столбе уменьшается. При сближении электродов, катодные части остаются без изменения, но положительный столб укорачивается и при неизменной силе тока уменьшается напряжение между электродами на величину, равную падению напряжения в исчезнувшей части столба.

Найдём на сколько уменьшится напряжение между электродами. Рассмотрим расстояние 20 см и 16 см:

$$l = 16cm$$

$$I = 1mA : U = 307.23B$$

$$I = 2mA : U = 327.97B$$

$$I = 3mA : U = 342.76B$$

$$l = 20cm$$

$$I = 1mA : U = 322.24B$$

$$I = 2mA : U = 341.34B$$

$$I = 3mA : U = 355.06B$$

$$I = 1mA : \Delta U = 15.01B$$

$$I = 2mA : \Delta U = 13.37B$$

$$I = 3mA : \Delta U = 13.30B$$

Видно, что при повышении тока, падение потенциала в положительном столбе уменьшается.

### 2.3. Задание 2

Вольт-амперная характеристика тлеющего разряда:

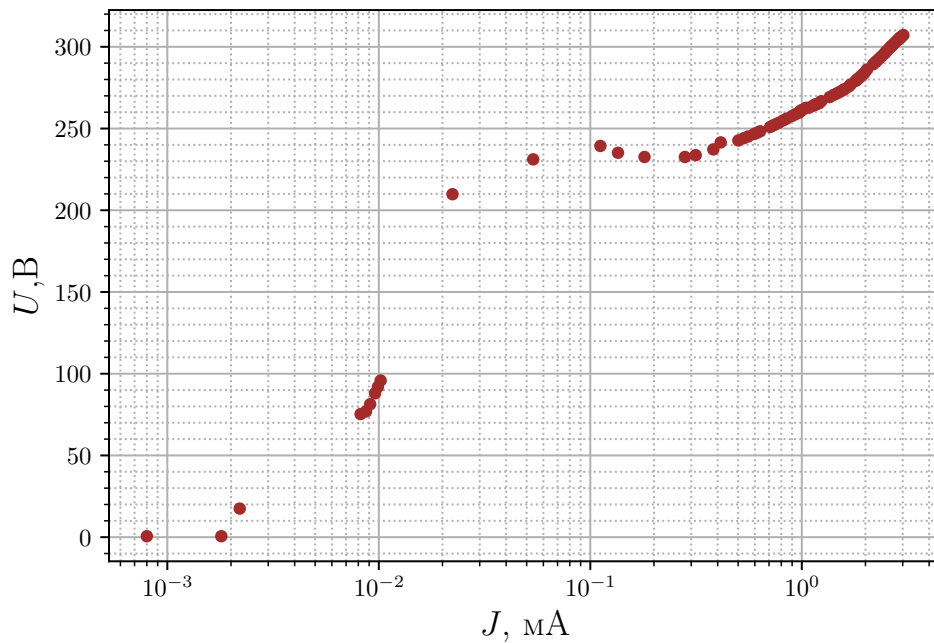


Рис. 6

Для наглядности и для того, чтобы в графике можно было «узнать» кривую из методики, ВАХ строилась в логарифмическом масштабе по оси ординат.