

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»
(МФТИ)

Кафедра вакуумной электроники
Отчет по лабораторной работе

Газоразрядный стабилизатор напряжения

Работу выполнили:

_____ Н.А. Григорьев
_____ А.В. Захаров
_____ Д.Ю. Салтыкова

Работу принял, оценка

Долгопрудный 2023

1. Цель работы

- 1) Ознакомиться с основными характеристиками тлеющего газового разряда и с основанным на его свойствах явлении стабилизации напряжения.
- 2) Построить кривую зависимости напряжения зажигания от давления газа в стабилевольте (кривую Пашена) и определить по ней минимальное значение напряжения.
- 3) Построить вольт-амперную характеристику газоразрядного стабилизатора напряжения.

2. Теоритические сведения

Газовым разрядом в широком смысле называют всякое прохождение электрического тока через газы. Газовые разряды бывают самостоятельные и несамостоятельные.

Носители тока в несамостоятельном разряде возникают за счёт внешней ионизации и с её прекращением исчезают. При малых электрических полях плотность тока несамостоятельного разряда подчиняется дифференциальному закону Ома, так как концентрация ионизованных частиц (почти равная концентрации рекомбинирующих частиц) не зависит от внешнего поля E . При больших значениях поля все ионизованные частицы пролетят трубку, почти не рекомбинируя с другими частицами, и ток выйдет на постоянную величину. Наконец, при дальнейшем увеличении поля возникнет лавинообразное увеличение тока из-за того, что заряженные частицы сами становятся способными вызвать ионизацию молекул за счёт кинетической энергии, полученной ими при движении в электрическом поле.

Самостоятельным разрядом будем называть такой газовый разряд, в котором носители тока возникают в результате тех процессов в газе, которые обусловлены приложенным к газу напряжением. Данный разряд продолжается и после прекращения действия ионизатора. При лавинообразном несамостоятельном разряде положительные ионы могут выбить электроны из катода. Если в среднем из катода будет выбито более одного электрона, то заряд можно считать самостоятельным. Количество необходимых для этого ионов зависит от давления и напряженности поля. Необходимое для этого напряжение называют напряжением зажигания U_z . Напряжение зажигания и величина произведения давления газа на расстояние между электродами находятся в неявной зависимости, описываемой кривой Пашена (см. рис. 1). При дальнейшем увеличении напряжения возникают тлеющий и дуговой разряды.

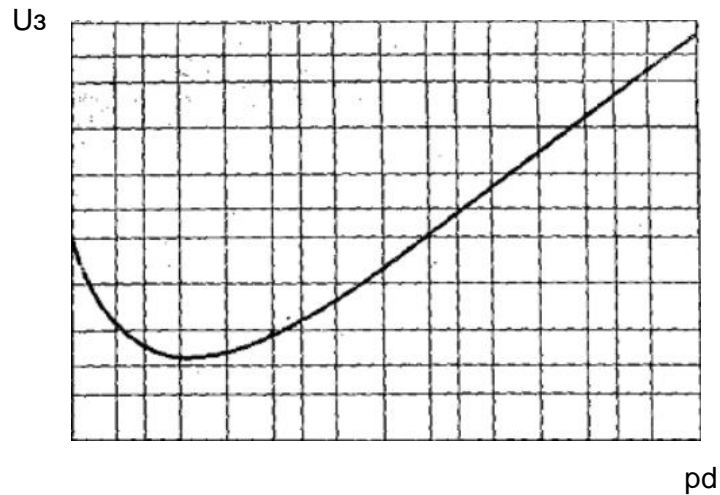


Рис. 1. Типичная кривая Пашена

Работа газоразрядного стабилизатора напряжения основана на свойстве тлеющего разряда не изменять падение напряжения между электродами при изменении тока. Конструктивно стабилитрон состоит из двух электродов, помещённых в стеклянный или металлический баллон, содержащий смесь газов (как правило, инертных) при давлении в несколько торр. Рост тока при тлеющем разряде при таком расположении электродов происходит за счёт увеличения площади катода, охваченной разрядом, при этом плотность тока в ионизированной части газа остаётся неизменной, следовательно, остаётся неизменным и падение напряжения на разрядном промежутке.

Кривая зависимости силы тока от подаваемого напряжения называется вольт-амперной характеристикой диода. Её общий вид показан на рис. 2.

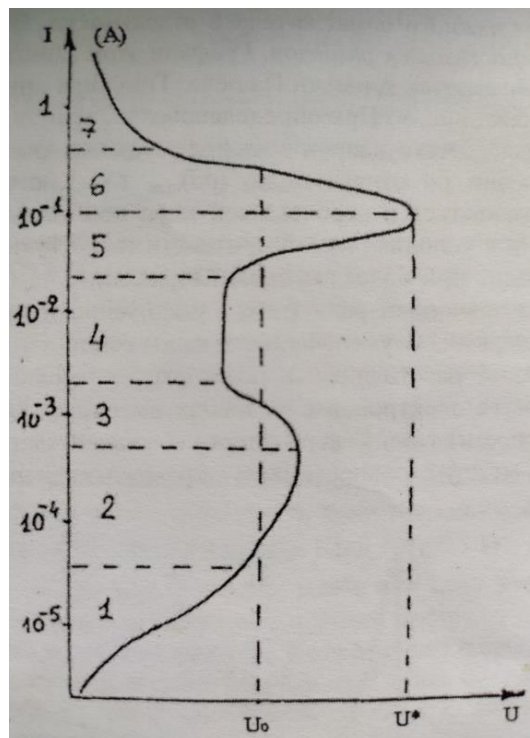


Рис. 2. ВАХ газоразрядного диода

Участок 1 на графике соответствует несамостоятельному разряду, 2 – несамостоятельному разряду с газовым усилением, 3 – переходу к тлеющему разряду, 4 – нормальному тлеющему разряду, 5 - аномальному тлеющему разряду, 6 – переходу разряду в дуговой, 7 – дуговому разряду, для которого характерна термоэмиссия электронов из раскалённого катода.

3. Схема установки

Экспериментальная установка представляет собой стабилитрон, питающийся от источника. Стабилитрон находится при пониженном давлении (порядка 0.1 торр), обеспечиваемом форвакуумным насосом ФВ. Давление можно регулировать с помощью регулятора потока FC и измеряется терморезистивным вакууметром VM (B2). Напряжение и ток измеряются самим источником. Принципиальная схема установки представлена на рис. 3, полная схема с указанием всех узлов и приборов - на рис. 4 (стабилитрон подключается к большой камере между кранов K2, K3, K4)

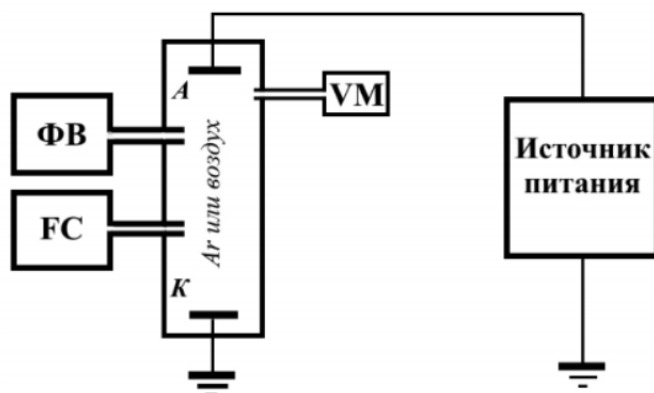


Рис. 3. Принципиальная схема установки

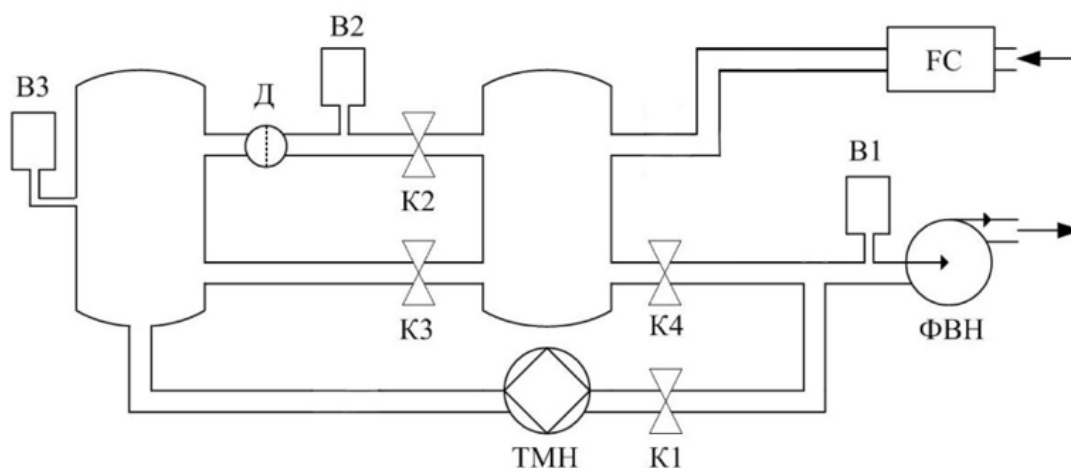


Рис. 4. Полная схема установки

4. Ход работы и обработка результатов

4.1 Исследование кривой Пашена

Снимем зависимость напряжения зажигания U_z от давления в колбе стабилизатора P , измеренного с помощью терморезисторного вакуумметра. Для этого будем изменять значение натекания воздуха в систему и измерять напряжение, при котором в стабилизаторе возникает газовый разряд. Результаты измерений графически представим на рисунке 5. Полученное минимальное значение зажигания - 0.67 кВ.

Качественно поясним, почему кривая Пашена имеет минимум при некотором значении pd . Заметим, что количество ионов N_i в лавине, образованной одним электроном, при фиксированном напряжении на электродах U , при увеличении произведения pd сначала увеличивается, а потом уменьшается. Увеличение N_i при малых pd связано с увеличением концентрации частиц и длины прибора. Уменьшение N_i при больших значениях pd происходит из-за уменьшения поля E в трубке. Это приводит к тому, что на длине пробега электроны приобретают меньшую энергию и ионизуют меньше частиц. Понятно, что оба эти фактора действуют при любых значениях pd , но в области малых значений определяющую роль играет первый фактор, а при больших - второй. Наконец, вспомним, что напряжение зажигания U_z - это такое напряжение, при котором лавина ионов, порождённая электроном, выбьет один электрон из катода. Поскольку при фиксированном напряжении количество таких ионов сначала увеличивалось, а затем уменьшалось, U_z должно сначала уменьшаться, а потом увеличиваться, то есть проходить через минимум.

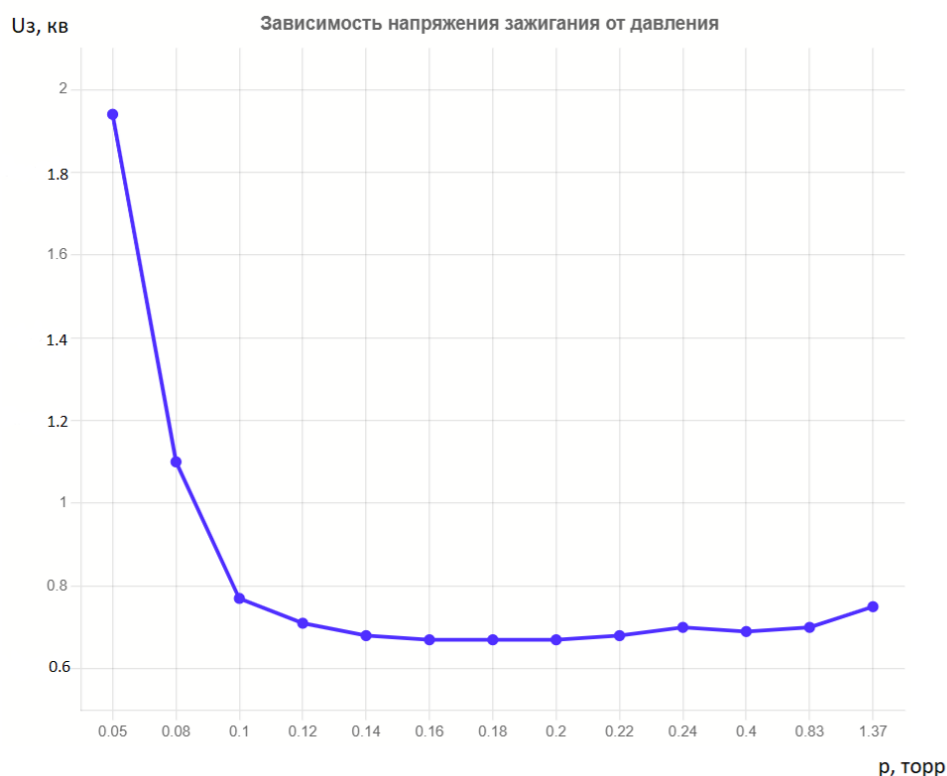


Рис. 5. Кривая Пашена

4.2 Исследование вольт-амперной характеристики стабилovolьта

При постоянном значении натекания воздуха в систему снимем зависимость тока в цепи I от напряжения зажигания U_z . Результаты графически представим на рисунке 6. При наших значениях тока ($\sim 10^{-4}$ - 10^{-3} А) и напряжения ($\sim 10^2$ – 10^3 В) вольт-амперная характеристика соответствует участку от переходной области до нормального тлеющего разряда. Характер зависимости $I(U)$, полученный нами в результате опыта, почти согласуется с представленным на рисунке 2. Напряжение стабилизации для воздуха в результате опыта получилось равным 0.7 кВ.

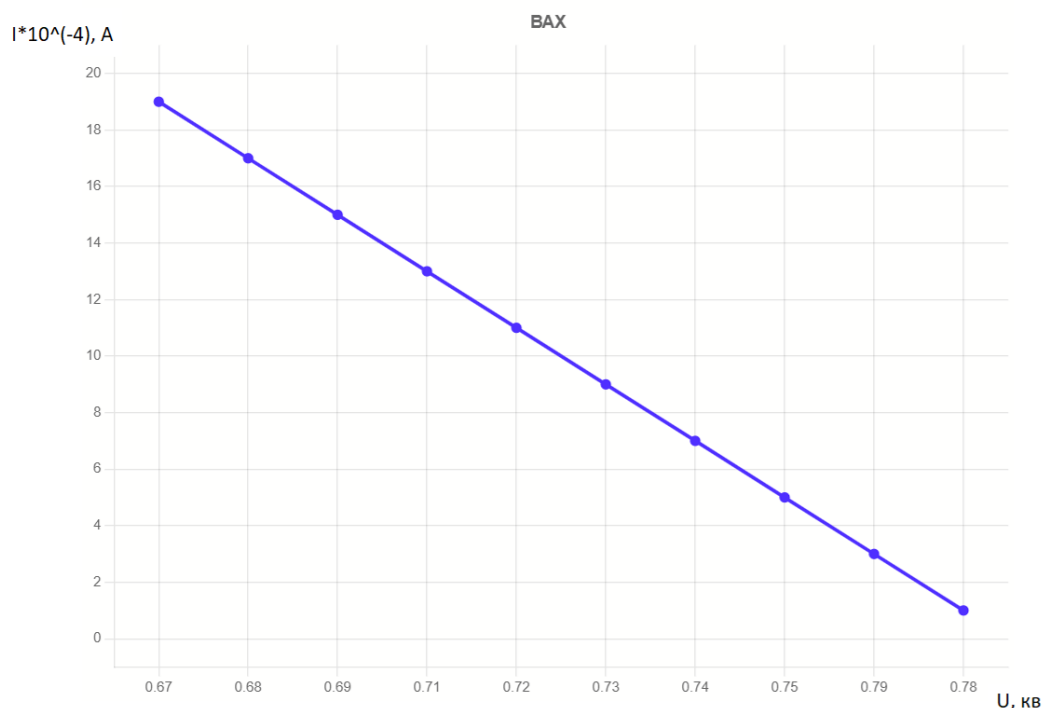


Рис. 6. ВАХ стабилovolьта

5. Вывод

В ходе исследования газоразрядного стабилизатора напряжения были получены следующие результаты:

- 1) Исследована природа газового разряда, разновидности газового разряда, принцип работы и основные характеристики стабилovolьта (кривая Пашена и вольт-амперная характеристика стабилovolьта при широких диапазонах силы тока).
- 2) Изучена кривая Пашена в ходе эксперимента (снята зависимость значения напряжения зажигания разряда от давления в колбе прибора), исследован характер этой зависимости и физические причины её нелинейности. Получено минимальное значение напряжения зажигания: 0.67 кВ.
- 3) Получена вольт-амперная характеристика прибора в режиме работы нормального тлеющего разряда и в переходной области, исследован характер зависимости $I(U)$ и проведено его сравнение с действительными характеристиками прибора.