

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 выполнил студентка _____ Семенова Н.К.

группы Б04-004

Работу принял, оценка _____

Долгопрудный 2022

1 Цель работы

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

2 Теоретические положения

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 или 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.

Работа газоразрядного стабилизатора напряжения (*стабилитрона*) основана на свойстве тлеющего разряда не изменять падение напряжения между электродами при изменении тока. Конструктивно стабилитрон состоит из двух коаксиальных электродов (катод обычно снаружи), помещённых в стеклянный

или металлический баллон, содержащий смесь газов (как правило, инертных) при давлении в десятки 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.

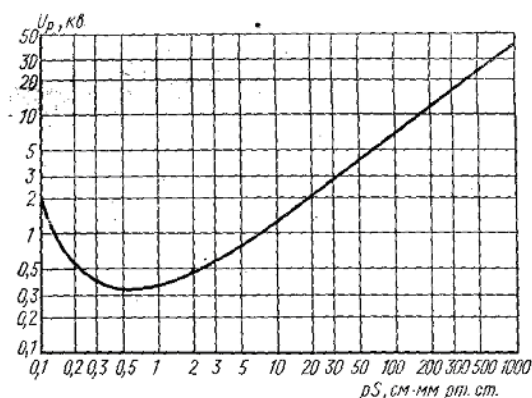


Рис. 1: Кривая Пашена

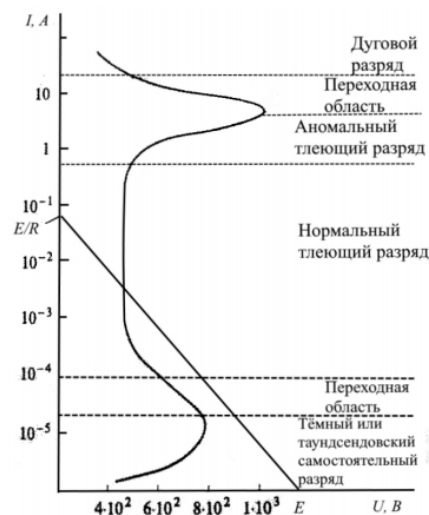


Рис. 2: Вольт-амперная характеристика стабилитрона

3 Схема лабораторной установки

Экспериментальная установка представляет собой стабиловольт, питающийся от источника. Стабиловольт находится при пониженном давлении (порядка 0.1 Торр), обеспечиваемом форвакуумным насосом ФВ. Давление можно регулировать с помощью регулятора потока ФС и измеряется терморезистивным вакууметром VM. 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 К2, К3, К4)

Таблица 1: Зависимость напряжения зажигания от давления в системе

$V_H, \text{см}^3/$	$P, \text{торр}$	$U_z, \text{кВ}$
100	1.38	0.79
50	0.809	0.73
20	0.389	0.71
10	0.232	0.71
9	0.211	0.71
8	0.193	0.70
7	0.177	0.71
6	0.159	0.71
5	0.140	0.72
4	0.121	0.75
3	0.099	0.80
2	0.076	1.07
1	0.048	1.98

График зависимости U_z от P

(Кривая Пашена)

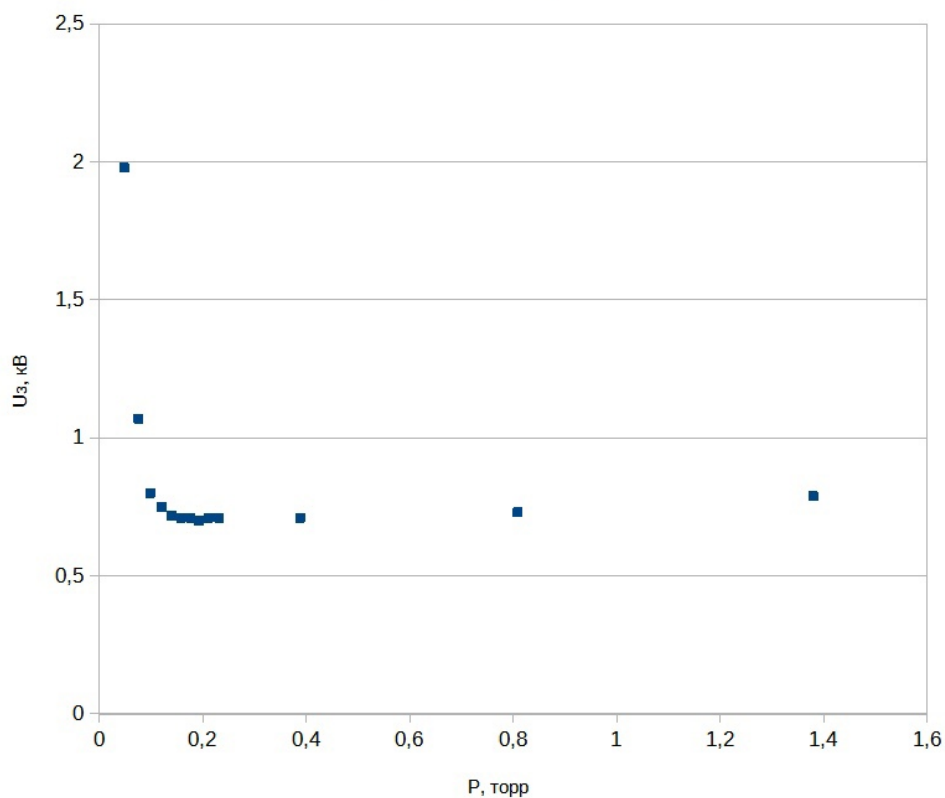


Рис. 5: Кривая Пашена для исследуемого стабилитрона

Качественно поясним, почему кривая Пашена имеет минимум при некотором значении $p_0 d_0$. 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 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.

4.2 Исследование вольт-амперной характеристики стабилитрона

При постоянном значении натекания воздуха в систему снимем зависимость тока в цепи I от напряжения зажигания U_z . Результаты занесём в таблицу 2 и графически представим на рисунке 6.

При наших значениях тока ($\sim 10^{-3}$ А) и напряжения ($\sim 10^2 - 10^3$ В) вольт-амперная характеристика соответствует участку от нормального тлеющего разряда до переходной области. Характер зависимости $I(U)$, полученный нами в результате опыта, согласуется с представленным на рисунке 2.

Напряжение стабилизации для воздуха в результате опыта получилось равным 0.76 кВ

Таблица 2: Зависимость напряжения зажигания от давления в системе

U_z , кВ	I , А	U_z , кВ	I , А
0.75	1.98	0.83	1
0.75	1.84	0.83	0.92
0.76	1.67	0.84	0.85
0.76	1.55	0.86	0.74
0.76	1.48	0.86	0.66
0.76	1.39	0.88	0.54
0.76	1.29	0.89	0.45
0.78	1.24	0.9	0.32
0.79	1.19	0.91	0.25
0.82	1.08	0.91	0.15

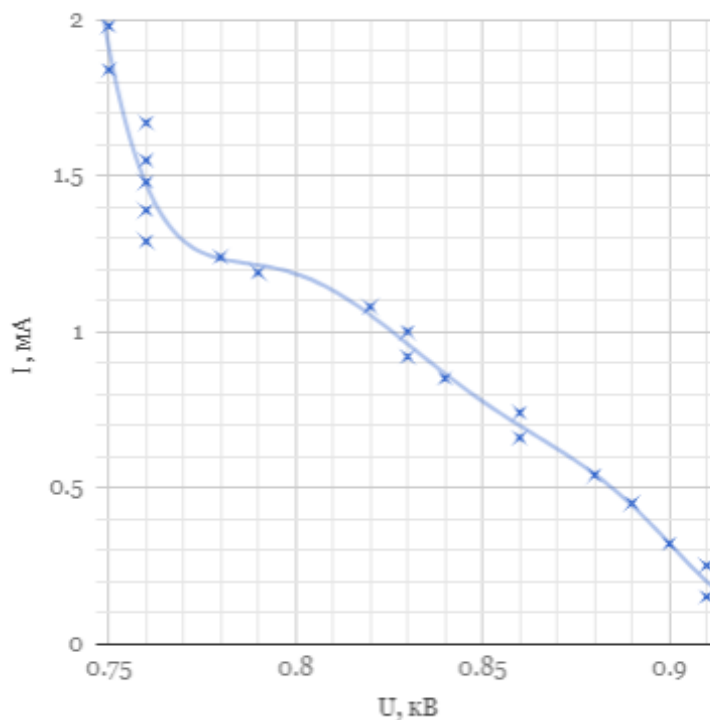


Рис. 6: Вольт-амперная исследуемого стабилитрона

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 стабилитрона (понятие кривой Пашена и вольт-амперная характеристика стабилитрона при широких диапазонах напряжения).
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.
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.