

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 студент \_\_\_\_\_ Морозов А.А.

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.

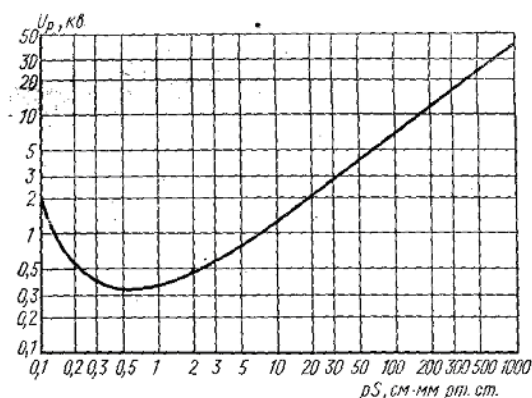


Рис. 1: Кривая Пашена

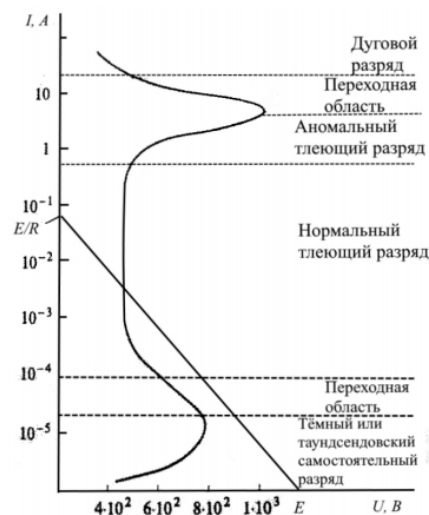


Рис. 2: Вольт-амперная характеристика стабилитрона

### 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)

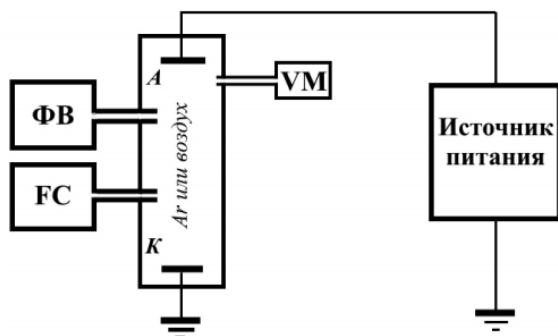


Рис. 3: Принципиальная схема установки

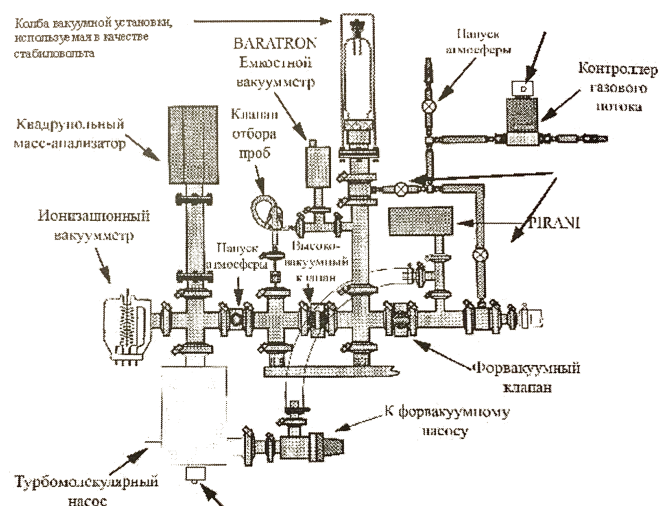


Рис. 4: Полная схема установки

На схеме 4 обозначены:

- $B_1$  - вакуумметр ёмкостной
- $B_2$  - вакуумметр терморезисторный
- $B_3$  - вакуумметр ионизационный
- $K_1$  - кран турбомолекулярного насоса
- $K_3$  - высоковакуумная заслонка
- $K_4$  - форвакуумная заслонка
- $K_2, K_7$  - коммутационные краны
- Д - диафрагма
- ФС - регулятор газового потока (flow controller)
- ТМН - турбомолекулярный насос
- ФВН - форвакуумный насос

## 4 Ход работы

### 4.1 Исследование кривой Пашена

Снимем зависимость напряжения зажигания  $U_z$  от давления в колбе стабилизатора Р, измеренного с помощью терморезисторного вакуумметра. Для этого будем изменять значение натекания воздуха в систему ( $Q_{FC}$ ) и измерять напряжение, при котором в стабилизаторе возникает газовый разряд. Результаты измерений запишем в таблицу 1 и графически представим на рисунке 5. Полученное минимальное значение зажигания для воздуха - 0.67 кВ.

Таблица 1: Зависимость напряжения зажигания от давления в системе

$V_H, \text{ см}^3/$	$P, \text{ торр}$	$U_z, \text{ кВ}$
100	1.36	0.78
50	0.796	0.71
20	0.385	0.68
10	0.233	0.68
9	0.214	0.68
8	0.196	0.67
7	0.178	0.67
6	0.160	0.67
5	0.141	0.68
4	0.122	0.71
3	0.101	0.77
2	0.078	1.07
1	0.050	1.89

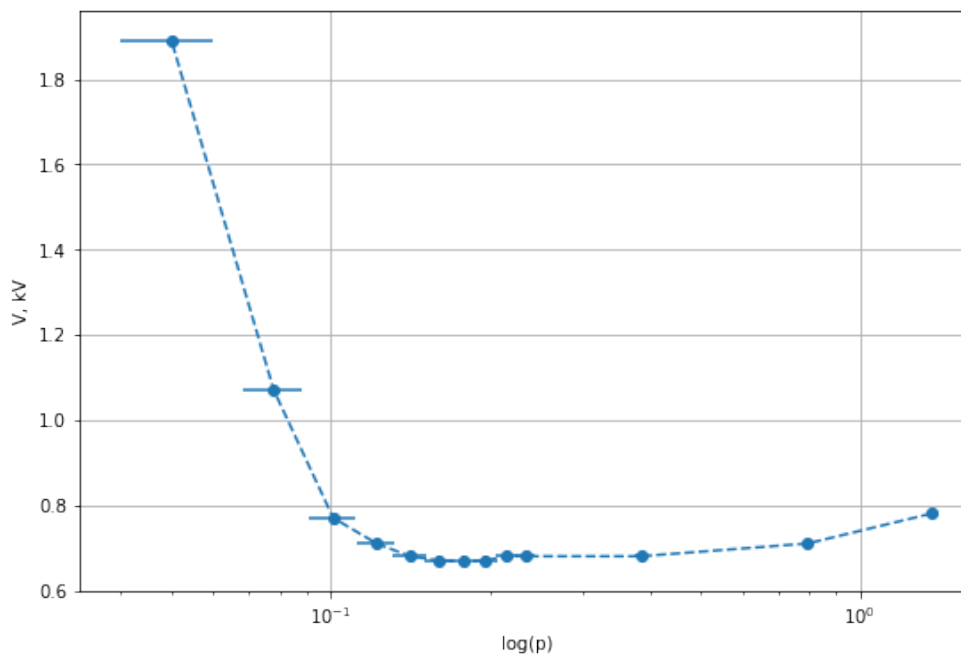


Рис. 5: Кривая Пашена для исследуемого стабилизатора

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 умень-

шения 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.

## 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.

Таблица 2: Зависимость напряжения зажигания от давления в системе

$U_z$ , кВ	$I$ , $A \cdot 10^{-4}$
0.67	19
0.68	17
0.69	15
0.70	13
0.71	11
0.72	9
0.73	7
0.74	5
0.78	3
0.76	1

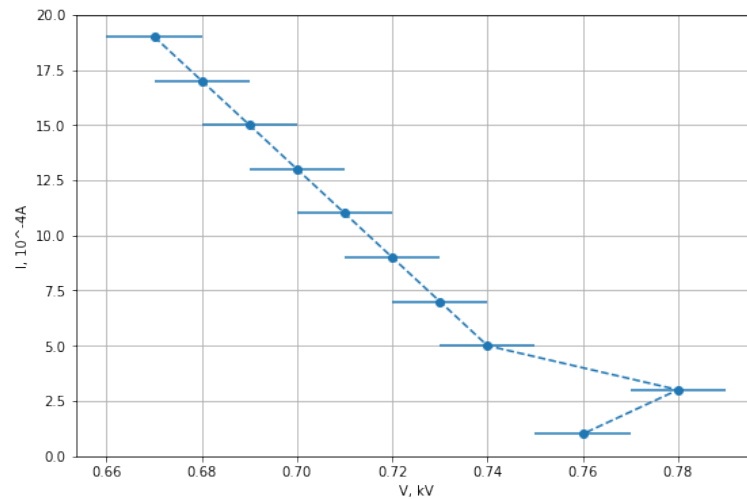


Рис. 6: Вольт-амперная исследуемого стабилитрона

## 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.