

# Работа 3.5.3<sup>2</sup>

## Релаксационные колебания

Валеев Рауф Раушанович  
группа 825

20 ноября 2019 г.

## Цель работы

Изучение вольт-амперной характеристики нормального тлеющего разряда; исследование релаксационных колебаний генератора на стабилитроне.

## В работе используются

Стабилитрон на монтажной плате, магазин ёмкостей, магазин сопротивлений, источник питания, амперметр, вольтметр, осциллограф.

## Описание установки

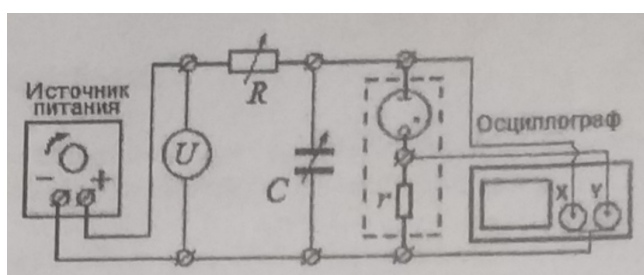


Рис. 1: Схема экспериментального стенда

Схема установке представлена на рис.1. Штриховой линией выделена панель, на которой установлен стабилитрон и последовательно с ним - сопротивление  $r$ , позволяющее предохранить диод от перегорания, а так же получить напряжение, пропорциональное току разряда, это сопротивление остается включенным при всех измерениях.

## Теория

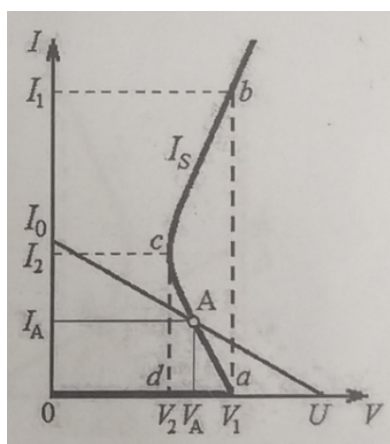


Рис. 2: Упрощенная вольт-амперная характеристика стабилитрона

В работе исследуются релаксационные колебания, возбуждаемые в электрическом контуре состоящем из ёмкости  $C$ , резистора  $R$  и газоразрядного диода с  $S$ -образной вольт-амперной характеристикой.

В данном случае сами колебания являются совокупностью двух аperiодических процессов — зарядки и разрядки конденсатора.

Выясним, при каком условии возможен колебательный процесс. В стационарном режиме, когда напряжение  $V$  на конденсаторе постоянно и  $dV/dt = 0$ , ток через лампу

$$I_{\text{ст}} = \frac{U - V}{R + r} \quad (1)$$

Данное равенство представлено на рис. 2.

Рассмотрим, как происходит колебательный процесс, отсчитывая время с того момента, когда напряжение на конденсаторе  $C$  равно  $V_2$ . При зарядке конденсатора через сопротивление  $R$  напряжение на нём увеличивается (рис.3). Как только оно достигает напряжения зажигания  $V_1$ , лампа начнет проводить ток, причем прохождения тока сопровождается разрядкой конденсатора.

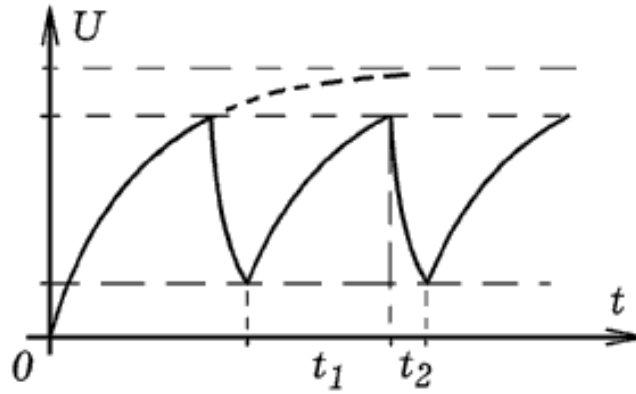


Рис. 3: Осциллограмма релаксационных колебаний

Рассчитаем период колебаний. Полное время одного периода колебаний —  $T$  состоит из суммы времени зарядки  $\tau_3$  и времени разрядки  $\tau_p$ , но если сопротивление  $R$  существенно превосходит сопротивление зажженной лампы и резистора  $r$ , то  $\tau_3 \gg \tau_p$  и  $T \approx \tau_3$ , что подтверждается в эксперименте. Во время зарядки конденсатора лампа не горит ( $I(V) = 0$ ), и уравнение для напряжения принимает вид  $V(t)$ :

$$RC \frac{dV}{dt} = U - V \quad (2)$$

Мы рассчитываем время с момента гашения лампы, поэтому  $V = V_2$  при  $t = 0$ .

Решим уравнение (3) и получим, что

$$V = U - (U - V_2)e^{-t/RC} \quad (3)$$

В момент зажигания  $V = V_1$ , поэтому

$$V_1 = U - (U - V_2)e^{-\tau_3/RC} \quad (4)$$

Из уравнения (4) получим, что

$$T \approx \tau_3 = \ln \frac{U - V_2}{U - V_1} \quad (5)$$

## Ход работы

### Характеристика стабилитрона

Снимем часть вольт-амперной характеристики стабилитрона с сопротивлением  $r = 5,1$  кОм. Снимем с возрастанием и с убыванием напряжения. В этой работе используются вольтметр с  $\sigma_V = 0,2$  В и амперметр с  $\sigma_I = 0,02$  мА. Представим эти данные в виде графиков.

возрастание $V$			убывание $V$		
$V$ , В	$I$ , мА	$V - r \cdot I$ , В	$V$ , В	$I$ , мА	$V - r \cdot I$ , В
10,0	0,00	10,0	180,0	19,70	79,5
80,0	0,00	80,0	171,1	18,05	79,0
96,0	0,00	96,0	160,2	16,19	77,6
89,1	3,16	73,0	141,7	12,89	76,0
94,6	4,23	73,0	133,1	11,28	75,6
100,0	5,22	73,4	122,5	9,48	74,2
110,0	7,00	74,3	102,0	5,76	72,6
120,5	8,84	75,4	90,0	3,50	72,2
130,6	10,66	76,2	79,1	0,01	79,0
139,8	12,28	77,2	10,0	0,01	9,9
151,3	14,35	78,1			
161,3	16,15	78,9			
170,2	17,86	79,1			
180,2	19,67	79,9			

Таблица 1: Данные об ВАХ стабилитрона

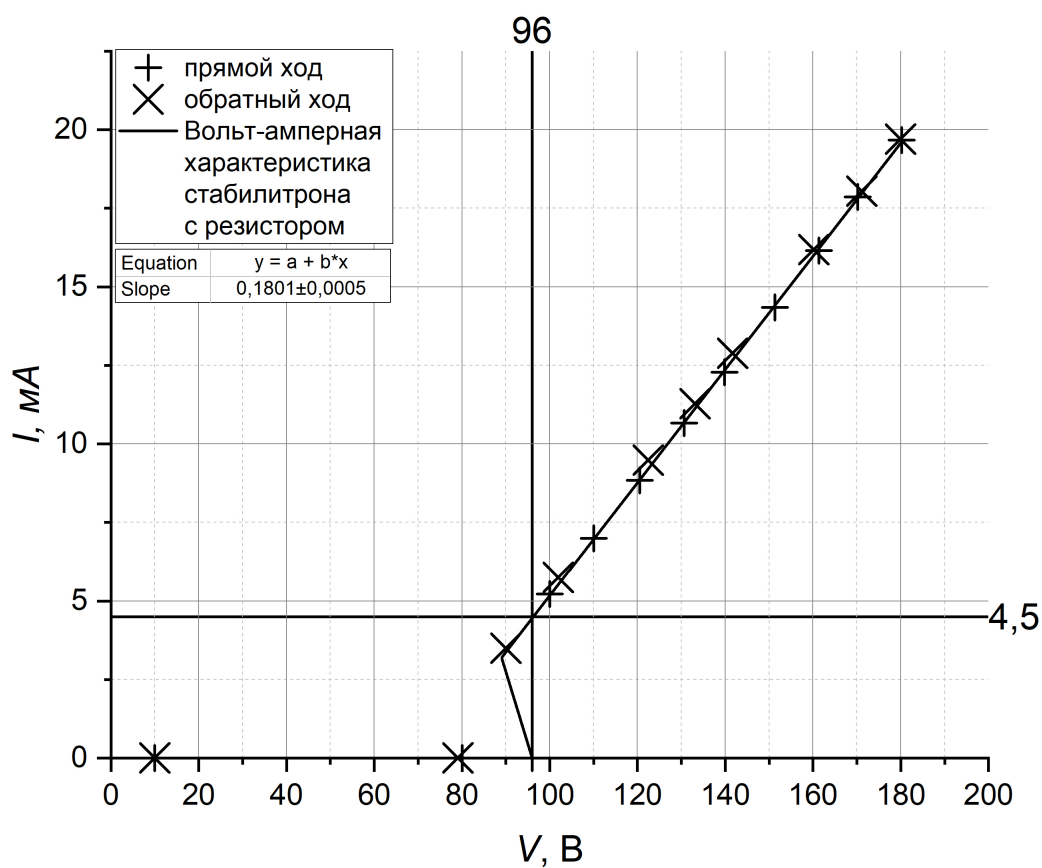


Рис. 4: Вольт-амперная характеристика стабилитрона без  $r$

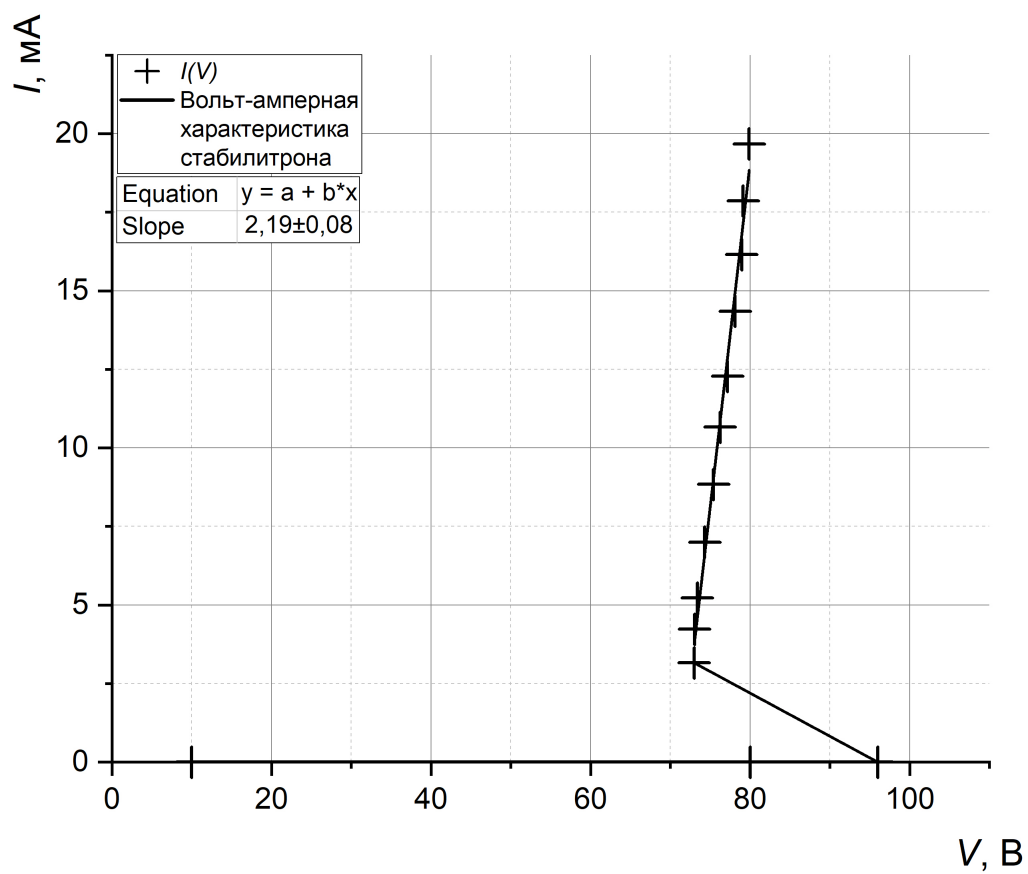


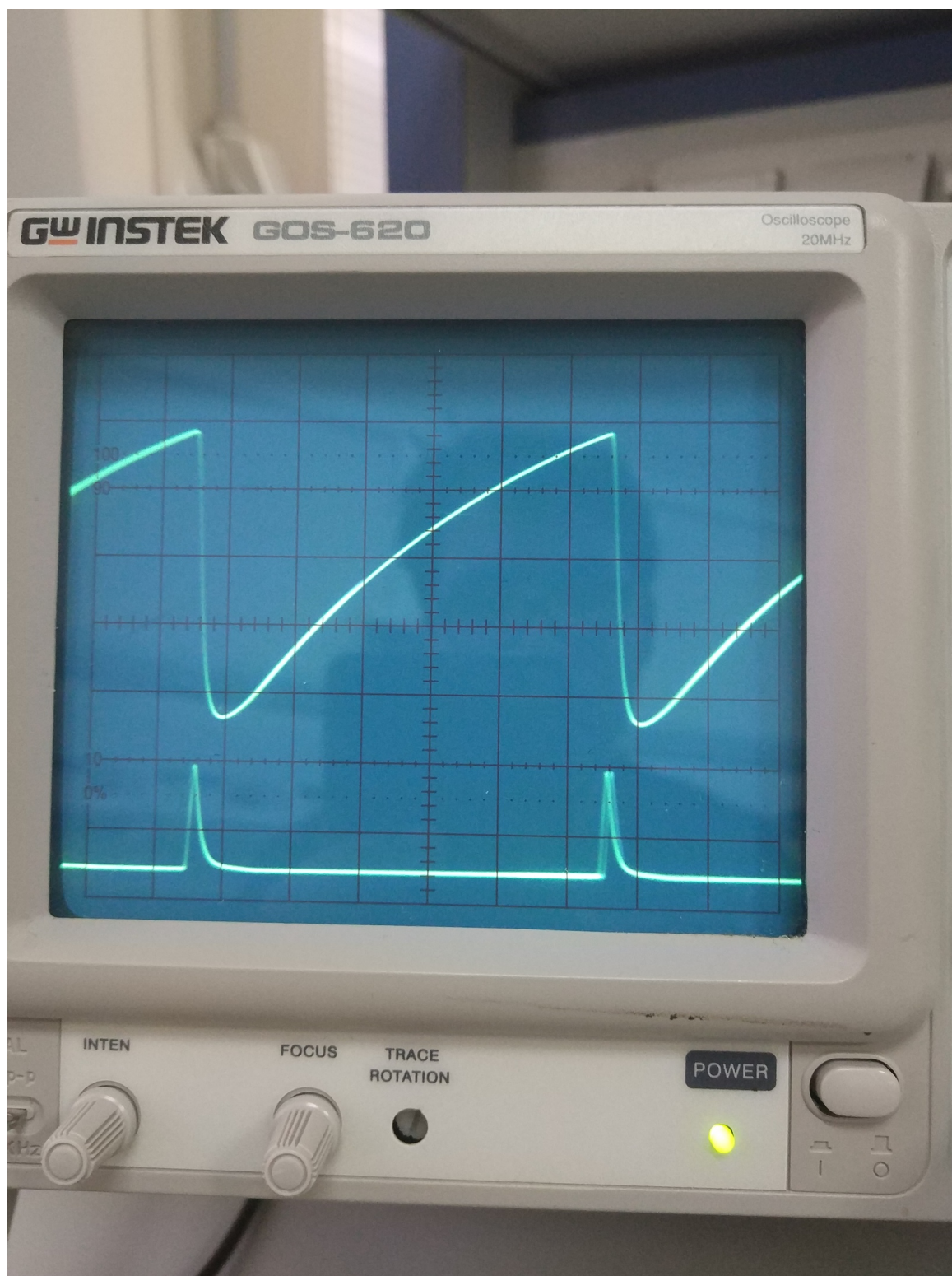
Рис. 5: Вольт-амперная характеристика стабилитрона без  $r$

В итоге мы получаем, что  $V_1 = (96,0 \pm 0,2)$  В,  $I_1 = (4,50 \pm 0,02)$  мА,  $V_2 = (89,1 \pm 0,2)$  В,  $I_2 = (3,16 \pm 0,02)$  мА.

## Осциллограммы релаксационных колебаний

В данном разделе мы измеряем зависимость осциллограммы от изменения  $R$  и  $C$  у установки и сравнения их с теоретическими.

Сами колебания выглядят следующим образом



Для этого приведем в таблице 2 приведем в параллельных столбцах теоретические и практические значения для данных  $R$  и  $C$ . Так же стоит отметить, что у погрешность измерений периода, сопротивления и емкости составляют  $\sigma_T = 0,3$  мс,  $\sigma_R = 10$  Ом,  $\sigma_C = 2$  нФ. Так же все измерения мы проводим при  $U = 132$  В.

$C$ , нФ	$T$ , ед	$T_{exp}$ , мс	$T_{theor}$ , мс
50	6	3,0	3,0
45	5,4	2,7	2,7
40	4,8	2,4	2,4
35	4,2	2,1	2,1
30	3,6	1,8	1,8
25	3	1,5	1,5
20	2,4	1,2	1,2

Таблица 2: Зависимость  $T$  от  $C$  при фиксированном  $R = 900$  кОм

$R$ , кОм	$T$ , ед	$T_{exp}$ , мс	$T_{theor}$ , мс
900	5,8	2,9	3,0
800	5,2	2,6	2,7
700	4,6	2,3	2,3
600	4	2,0	2,0
500	3,4	1,7	1,7
400	2,8	1,4	1,3

Таблица 3: Зависимость  $T$  от  $R$  при фиксированном  $C = 50$  нФ

По этим таблицам мы видим, что эксперимент сходится с теорией.

## Фазовые траектории релаксационных колебаний

С помощью осциллографа в двухканальном режиме получим изображение фазовой траектории релаксационных колебаний. И на практике и в теории масштаб такой, что 1

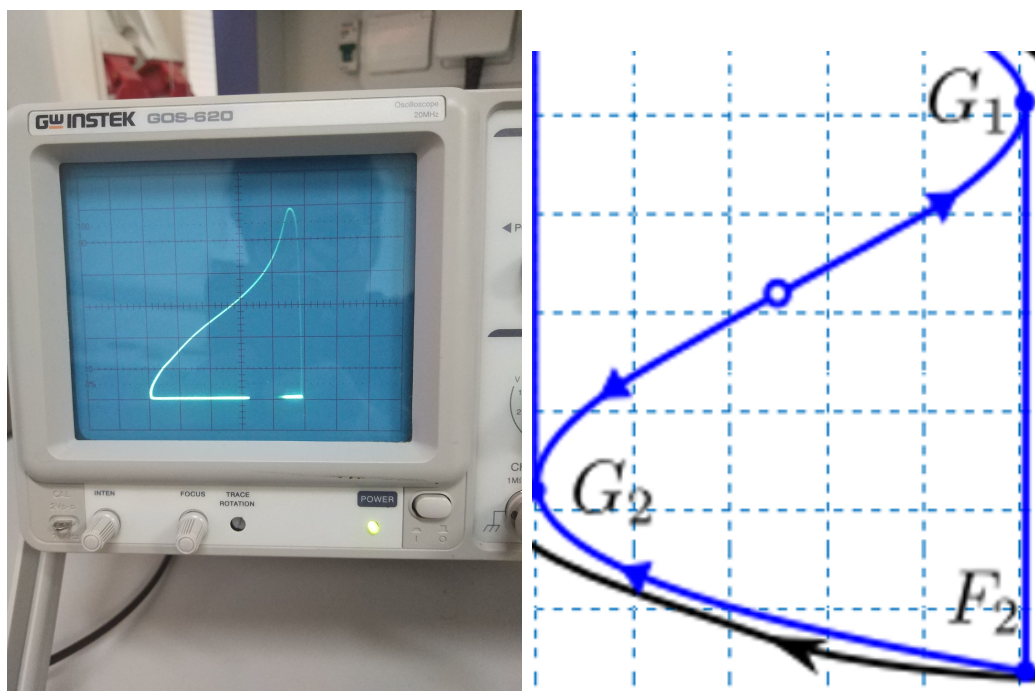


Рис. 4: Теоретически и практически полученные фазовые кривые

деление по оси  $Ox$  — 2 В, а по оси  $Oy$  — 1 В.

## Вывод

Мы получили зависимость периода от  $R$  и  $C$  очень близкие к теоретическим данным, так же мы получили очень похожую на теоретическую вольт-амперную характеристику для стабилитрона.

Так же в этой лабораторной работе мы изучили релаксационные колебания, но с некоторыми расхождениями от теоретических. Это может быть вызвано тем, что в цепи есть еще дополнительное сопротивление, которое уменьшает напряжение, из-за чего нижняя часть графика в эксперименте вырождается в кривую.

## Литература

1. **Лабораторный практикум по общей физике:** Учебное пособие. В трех томах. Т. 2. Электричество и магнетизм /Гладун А.Д., Александров Д.А., Берулёва Н.С. и др.; Под ред. А.Д. Гладуна - М.: МФТИ, 2007. - 280 с.
2. **Дополнительное описание лабораторной работы 3.5.3 Вариант 2:** Исследование спектров сигналов; Под ред. МФТИ, 2018 г. - 10 с.