

3.5.3. Релаксационные колебания

Рябых Владислав и Исыпов Илья, Б05-905

22 октября 2020 г.

Цель работы: изучение вольт-амперной характеристики нормального тлеющего разряда; исследование релаксационного генератора на стабилитроне.

В работе используются: стабилитрон СГ-2 (газонаполненный диод) на монтажной панели, амперметр, магазин сопротивлений, магазин ёмкостей, источник питания, осциллограф (ЭО), генератор звуковой частоты (ЗГ).

Теория

Колебательные системы, как правило имеют два накопителя энергии, между которыми происходит ее перекачка. В контуре, содержащем конденсатор и катушку индуктивности, электрическая энергия переходит в магнитную и обратно.

Встречаются, однако, колебательные системы, содержащие всего один накопитель энергии. Рассмотрим в качестве примера электрическую цепь, содержащую конденсатор и сопротивление без самоиндукции. Разряд конденсатора через сопротивление представляет собой апериодический процесс. Разряду, однако, можно придать периодический характер, возобновляя заряд конденсатора через постоянные промежутки времени. Колебания в этом случае являются совокупностью двух апериодических процессов – процесса зарядки конденсатора и процесса его разрядки. Такие колебания называются релаксационными.

В нашей установке роль "ключа обеспечивающего попеременную зарядку и разрядку конденсатора играет газоразрядный диод. Зависимость тока от напряжения для газоразрядной лампы не подчиняется закону Ома и характеризуется рядом особенностей (рис. 1). При малых напряжениях лампа не пропускает тока, ток в лампе возникает только в том случае, если разность потенциалов на ее электродах достигает напряжения зажигания V_1 . При этом скачком устанавливается конечная сила тока I_1

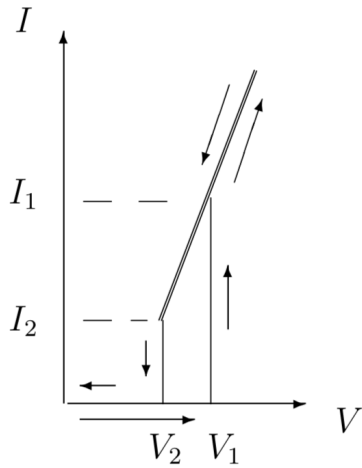


Рис. 1 – ВАХ стабилитрона с последовательно включенным резистором

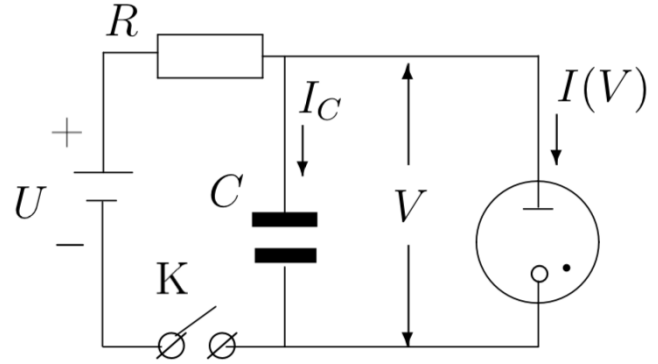


Рис. 2 – Принципиальная схема релаксационного генератора

– в лампе возникает нормальный тлеющий разряд. При дальнейшем незначительном увеличении напряжения сила тока заметно возрастает по закону, близкому к линейному. Нормальный тлеющий разряд – стабилизатор напряжения, отсюда второе название лампы – стабилонольт.

Если начать уменьшать напряжение на горящей лампе, то при напряжении равном V_1 лампа еще не гаснет, и сила тока продолжает уменьшаться. Лампа перестает пропускать ток лишь при напряжении гашения V_2 , которое обычно существенно меньше V_1 . Сила тока при этом скачком падает от значения I_2 до нуля.

Рассмотрим схему релаксационного генератора, изображенную на рис. 2. Пусть напряжение батареи U больше напряжения зажигания V_1 . В обозначениях, принятых на схеме, справедливо уравнение

$$I_C + I(V) = \frac{U - V}{R}$$

или

$$C \frac{dV}{dt} + I(V) = \frac{U - V}{R}. \quad (1)$$

В стационарном режиме работы, когда напряжение V на конденсаторе постоянно и $dV/dt = 0$, ток через лампу равен

$$I_{ст} = \frac{U - V}{R}. \quad (2)$$

При $V = V_2$ получаем выражение для критического сопротивления:

$$R_{кр} = \frac{U - V_2}{I_2}. \quad (3)$$

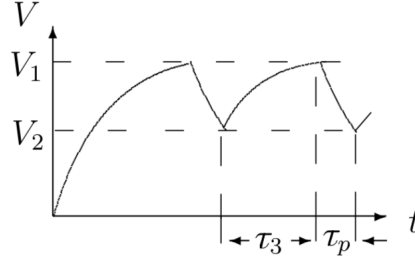


Рис. 3 – Осциллограмма релаксационных колебаний

Рассмотрим, как происходит колебательный процесс. Пусть в начале опыта ключ разомкнут. Замкнем ключ, конденсатор C начинает заряжаться через сопротивление R , напряжение на нем начинает увеличиваться (рис. 3). Как только оно достигнет напряжения зажигания лампы V_1 , лампа начинает проводить ток, причем прохождение тока сопровождается разрядкой конденсатора. В самом деле, батарея U , подключенная через большое сопротивление R , не может поддерживать необходимую для горения лампы величину тока. Во время горения лампы конденсатор разряжается, и когда напряжение на нем достигает потенциала гашения, лампа перестает проводить ток, а конденсатор вновь начнет заряжаться. Возникают релаксационные колебания с амплитудой, равной $(V_1 - V_2)$.

Рассчитаем период колебаний. Полное время одного периода колебаний T состоит из суммы времени зарядки τ_z и времени разрядки τ_p , но если сопротивление R существенно превосходит сопротивление зажженной лампы, то получаем, что $\tau_z \gg \tau_p$ и $T \approx \tau_z$ (этим случаем мы и ограничимся).

Во время зарядки конденсатора лампа не горит ($I(V) = 0$), и уравнение (1) принимает вид

$$RC \frac{dV}{dt} = U - V. \quad (4)$$

Будем отсчитывать время с момента гашения лампы, так что $V = V_2$ при $t = 0$ (рис. 3). Решив уравнение (4), найдем

$$V = U - (U - V_2)e^{-t/RC}. \quad (5)$$

В момент зажигания $t = \tau_z, V = V_1$, поэтому

$$V_1 = U - (U - V_2)e^{-\tau_3/RC}. \quad (6)$$

Из уравнений (5) и (6) нетрудно выразить период колебаний:

$$T \approx \tau_3 = RC \ln \frac{U - V_2}{U - V_1}. \quad (7)$$

Ход работы

Характеристика стабилитрона

Соберем схему представленную на рис. 4. Снимем ВАХ стабилитрона, данные занесем в таблицу 1 ($r = 5.4 \text{ кОм}$).

Получаем значения:

$$V_1 = 89.4 \text{ В}, \quad V_2 = 80.3 \text{ В},$$

$$I_1 = 3.17 \text{ мА}, \quad I_2 = 1.38 \text{ мА}.$$

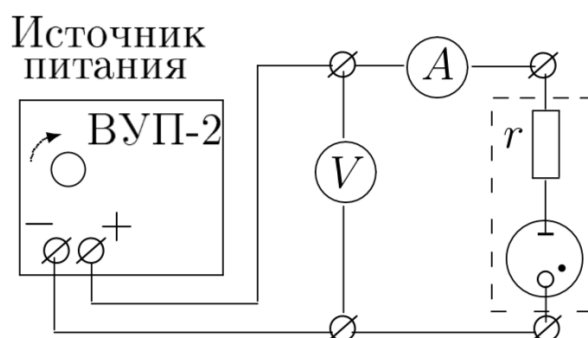
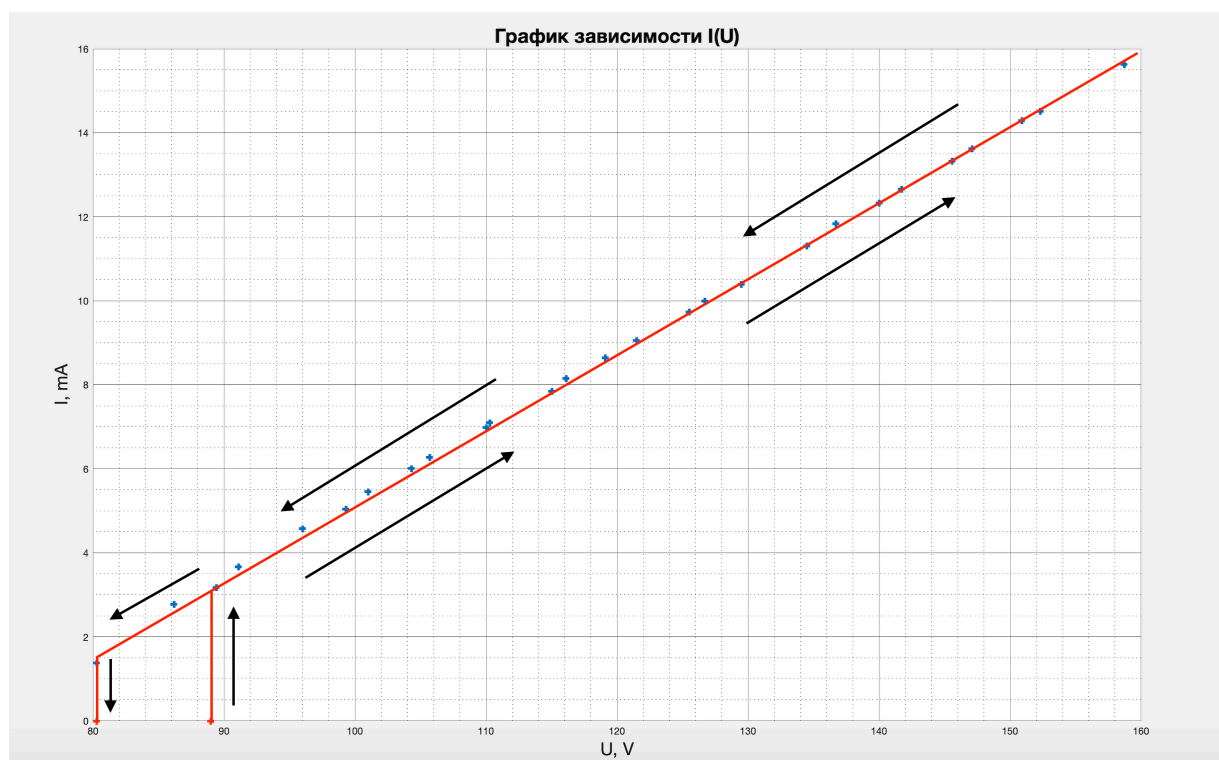
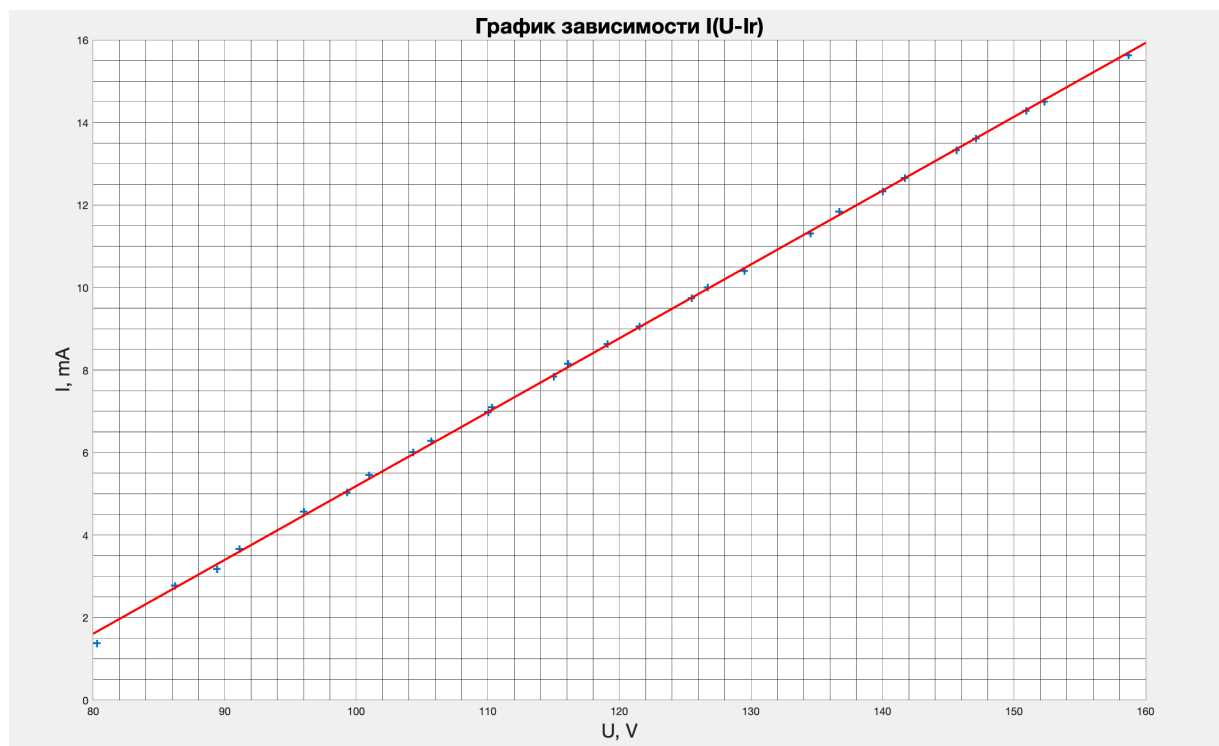


Рис. 4 – Схема установки для изучения характеристик стабилитрона

Построим графики зависимостей $I = f(V)$ для системы, состоящей из стабилитрона и дополнительного сопротивления по данным таблицы 1, а также для стабилитрона без дополнительного сопротивления (вычитая падение напряжения на сопротивлении r при каждом токе), см. рис. 5 – 6. По графикам видно, что относительное изменение тока и напряжения на стабилитроне больше на первом графике.

U , В	I , мА
0.0	0.00
10.0	0.00
15.0	0.00
65.0	0.00
75.0	0.00
85.0	0.00
89.4	3.17
99.3	5.04
104.3	6.01
110.0	6.98
115.0	7.85
119.1	8.64
125.5	9.74
129.5	10.40
134.5	11.31
140.0	12.33
145.6	13.33
152.3	14.51
158.7	15.63
150.9	14.29
147.1	13.62
141.7	12.66
136.7	11.84
126.7	10.00
121.5	9.06
116.1	8.15
110.3	7.10
105.7	6.28
101.0	5.45
96.0	4.57
91.1	3.67
86.2	2.78
80.3	1.38
78.8	0.00

Таблица 1: ВАХ стабилитрона

Рис. 5 – Графики зависимостей $I = f(V)$ для стабилитрона с r Рис. 6 – Графики зависимостей $I = f(V)$ для стабилитрона без r

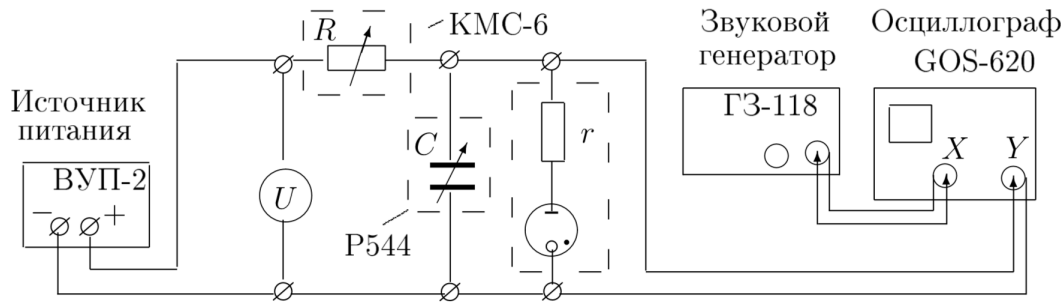


Рис. 7 – Схема экспериментальной установки для исследования релаксационных колебаний

Осциллограммы релаксационных колебаний

Соберем схему, согласно рис. 7. По полученным пилообразным картинам оценим соотношение между временем зарядки разрядки конденсатора:

$$\frac{\tau_z}{\tau_p} \approx \frac{47}{3},$$

следовательно можно считать, что время разрядки сильно меньше времени зарядки.

Теоретическое критическое сопротивление определяется по формуле (3) равно $R_{кр} = 81.4$ кОм, экспериментальное значение, при котором исчезают колебания $R_{эксп} = 100$ кОм.

Также мы убедились в том, что колебания пропадают при увеличении напряжения при постоянном сопротивлении, если это сопротивление не сильно превышает критическое.

Фигуры Лиссажу и частота колебаний

Занесем опытные данные зависимости частоты колебаний ν от емкости C , а также при постоянной емкости, но при разных сопротивлениях от максимально до критического в таблицы 2, 3. Соответствующие им теоретические данные, рассчитаны по формуле (7).

По данным таблиц построим графики зависимостей $T_{эксп} = f(C)$ и $T_{теор} = f(C)$ на рис. 8. Аналогичные графики зависимостей построим на рис. 9 для сопротивления $T_{эксп} = f(R)$ и $T_{эксп} = f(R)$.

ν , Гц	C , мкФ	T , мс
14	0.040	71.43
18	0.030	55.56
26	0.020	38.46
57	0.010	17.54
65	0.009	15.38
89	0.007	11.24

Таблица 2: Результаты измерений

R , кОм	ν , Гц	T , мс
400	20	50.00
350	33	30.30
300	37	27.03
250	45	22.22
200	56	17.86
150	79	12.66
100	120	8.33

Таблица 3: Результаты измерений

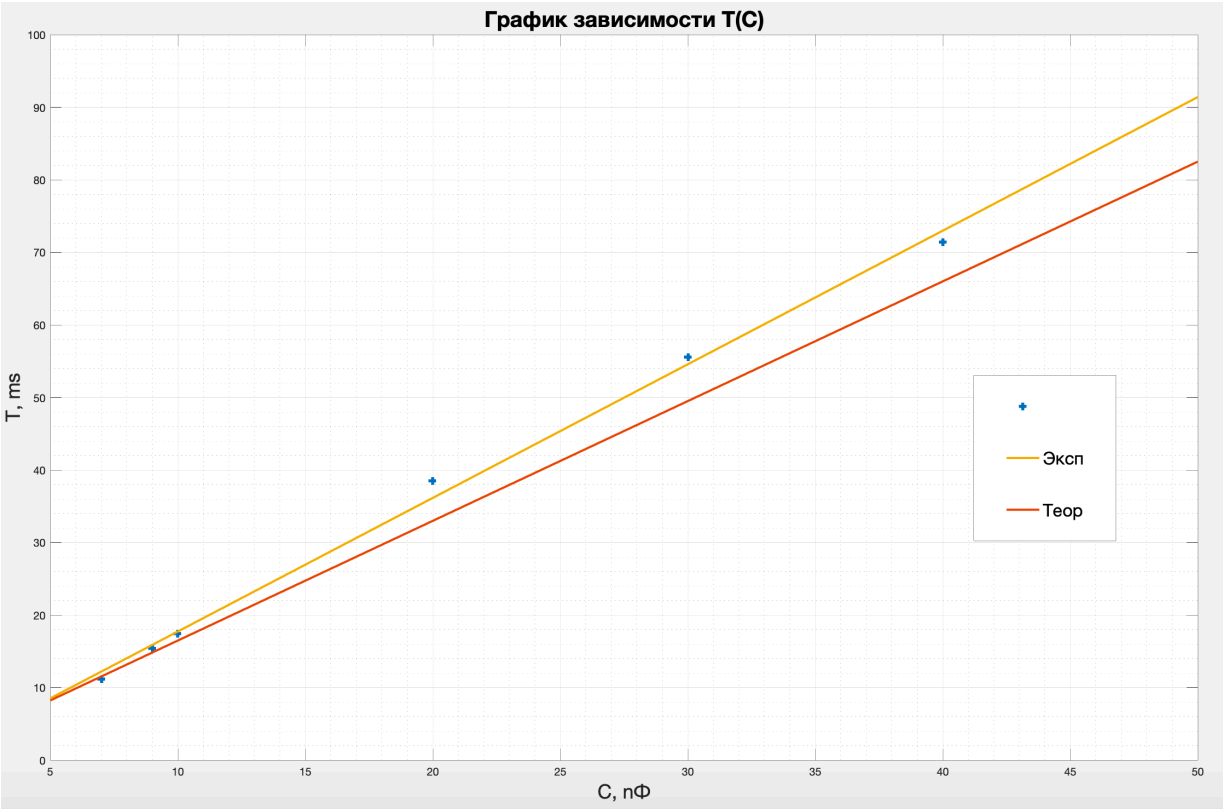


Рис. 8 – Графики зависимостей $T_{\text{эксп}} = f(C)$ и $T_{\text{теор}} = f(C)$

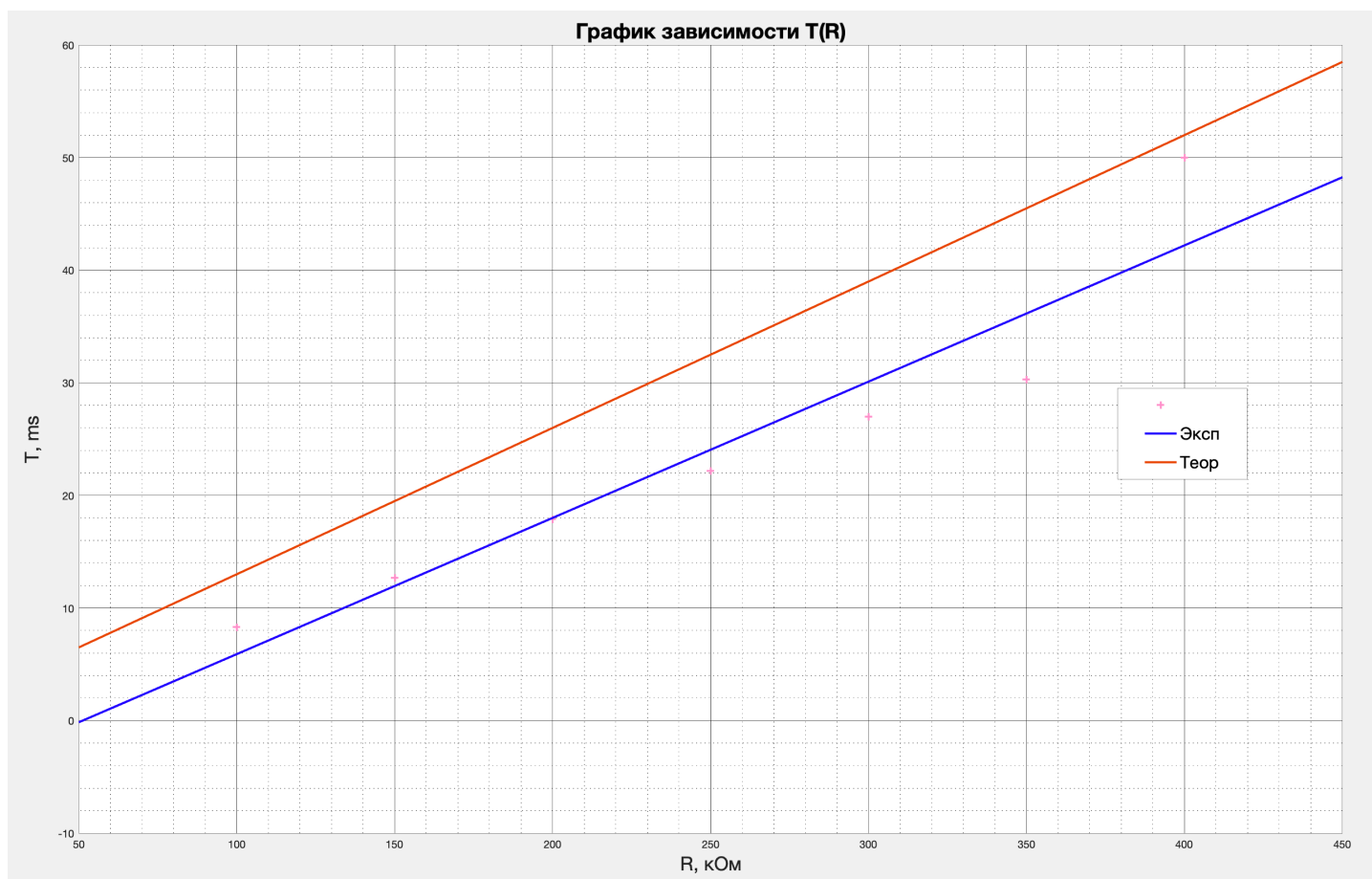


Рис. 9 – Графики зависимостей $T_{\text{эксп}} = f(R)$ и $T_{\text{теор}} = f(R)$

Выводы

В ходе лабораторной работы были рассмотрены процессы установления релаксационных колебаний внутри неоновой газоразрядной лампы. Необходимо отметить, что наклоны графиков получились совпадающими в пределах погрешности с теоретическими, поэтому можно считать данную теоретическую модель достаточно точной.