

Лабораторная работа 3.2.8
РЕЛАКСАЦИОННЫЕ КОЛЕБАНИЯ

Гарина Ольга

6 октября 2020 г.

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

В работе используются: стабилитрон СГ-2 (газонаполненный диод) на монтажной панели, магазин емкостей, магазин сопротивлений, источник питания, амперметр, вольтметр, осциллограф.

В работе исследуются релаксационные колебания, возбуждаемые в электрическом контуре, состоящем из емкости C , резистора R и газоразрядного диода с S-образной ВАХ. Принципиальная схема такого релаксационного генератора, представляющего частный случай вырожденных автоколебательных систем, изображена на рисунке 1. Релаксационные колебания в этом случае являются совокупностью двух апериодических процессов - зарядки и разрядки конденсатора. Роль "ключа" в этом случае играет газоразрядный диод.

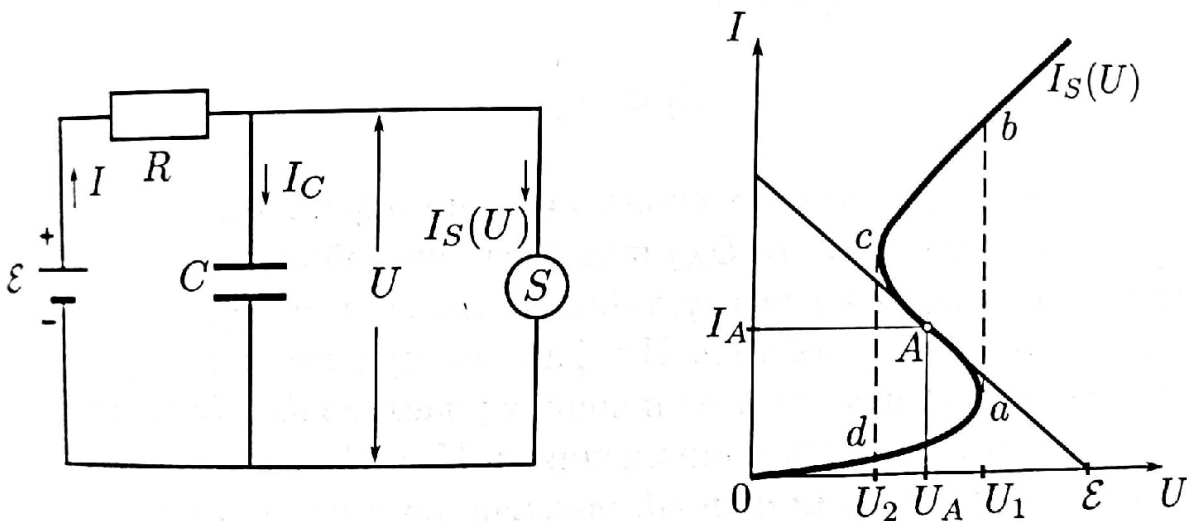


Рисунок 1 – Вырожденная автоколебательная RC-система

Зависимость тока от напряжения для газоразрядной лампы не подчиняется закону Ома и характеризуется рядом особенностей, представленных в упрощенном виде на рисунке 2 вместе с нагрузочной прямой $I = I_0(1 - U/\varepsilon)$, где ε – постоянное напряжение внешнего источника питания.

При малых напряжениях лампа практически не пропускает ток. Ток в лампе возникает только в том случае, если разность потенциалов на ее электродах достигает напряжения зажигания U_1 . При этом скачком устанавливается конечная сила тока I_1 – в лампе возникает нормальный тлеющий заряд. При дальнейшем незначительном увеличении напряжения сила тока заметно возрастает по закону, близкому к линейному.

Если начать уменьшать напряжение на горячей лампе, то при напряжении U_1 лампа еще не гаснет, и сила тока продолжает уменьшаться. Лампа перестает пропускать ток лишь при напряжении гашения U_2 , которое обычно существенно меньше U_1 . Сила тока при этом скачком падает от значения $I_2 < I_1$ до нуля.

В стационарном режиме, когда напряжение U на конденсаторе постоянно и $dU/dt = 0$, ток через лампу равен

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

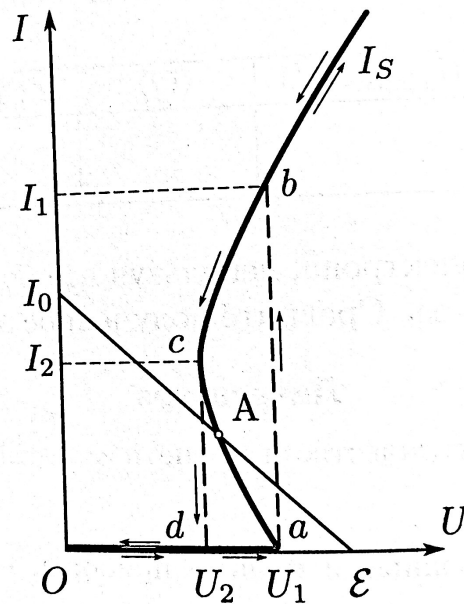


Рисунок 2 – Упрощенная ВАХ стабилитрон $I_s(U)$ и нагрузочная прямая $I = I_0(1 - U/\varepsilon)$

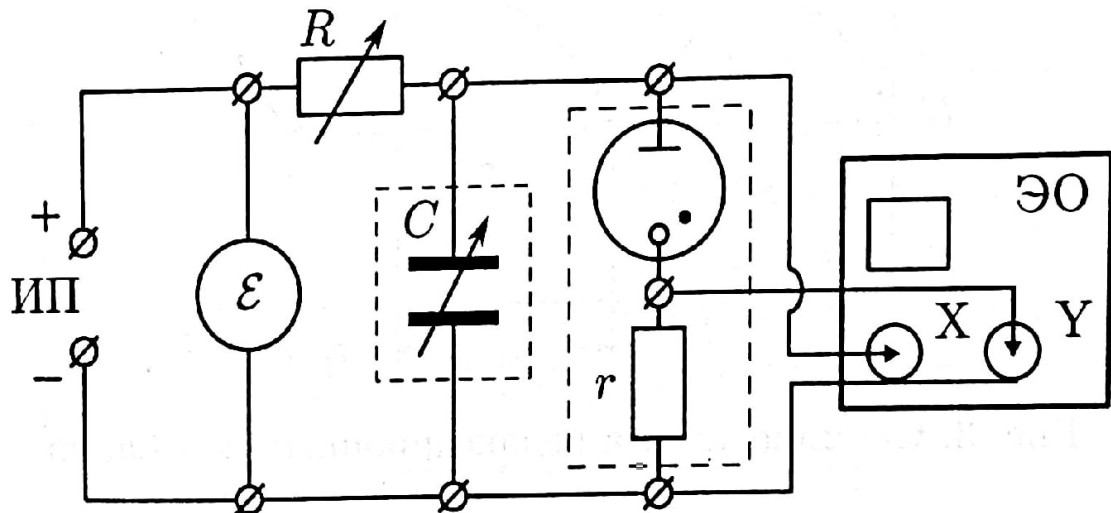


Рисунок 3 – Схема установки для исследования релаксационных колебаний

Равенство (1) представлено на рисунке 2 как прямая линия с отрицательным коэффициентом наклона. Если при этом

$$R + r < -\frac{1}{I'_s(U_A)}, \quad (2)$$

то в системе возможно возбуждение автоколебаний.

Пусть изначально конденсатор C заряжен до напряжения U_2 . При зарядке конденсатора через сопротивление R напряжение на нем увеличивается (рисунок 4). Как только оно достигает напряжения зажигания U_1 , лампа начинает проводить ток, причем прохождение тока сопровождается разрядкой конденсатора. Во время горения лампы конденсатор разряжается, а когда напряжение на нем достигает потенциала гашения U_2 , лампа перестает проводить ток и

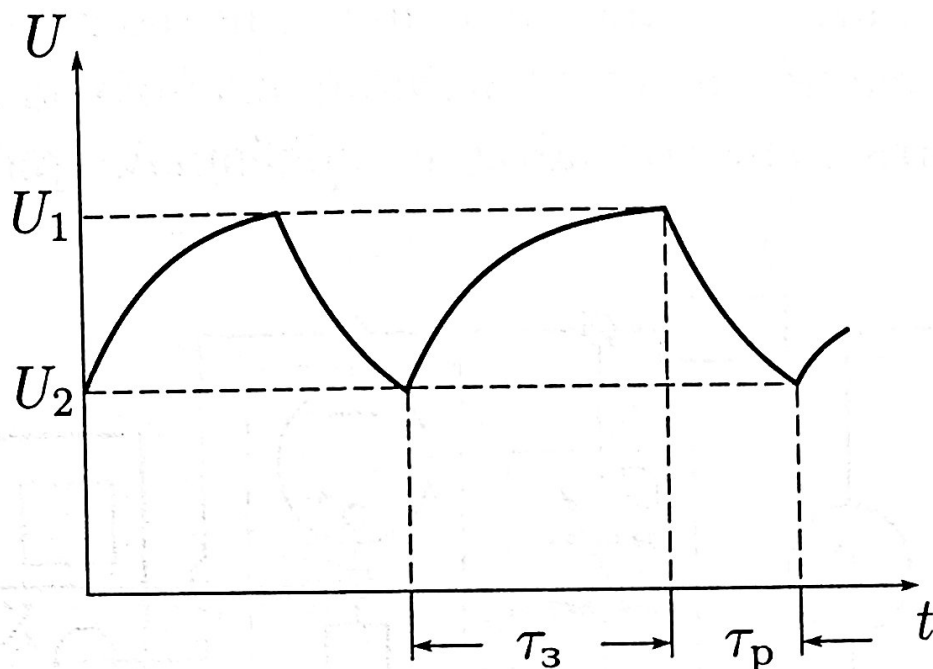


Рисунок 4 – Осциллограмма релаксационных колебаний

конденсатор вновь заряжается. Таким образом происходят колебания.

Расчет периода колебаний:

$$RC \frac{dU}{dt} = \varepsilon - U. \quad (3)$$

$$U = \varepsilon - (\varepsilon - U_2) \exp(-t/RC). \quad (4)$$

Если R значительно больше сопротивления лампы, то $\tau_z \gg \tau_p$ и $T \approx \tau_z$ и

$$T \approx \tau_z = RC \ln \frac{\varepsilon - U_2}{\varepsilon - U_1} \quad (5)$$

1 Характеристика стабилитрона

Для проведения эксперимента была собрана схема, представленная на рисунке 5. Внешнее сопротивление $r = 5,1$ кОм. По данным эксперимента были

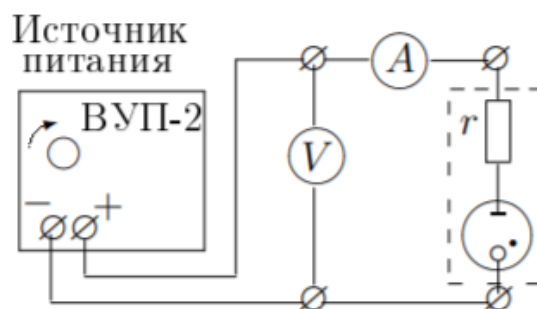


Рисунок 5 – Схема установки для изучения характеристик стабилитрона

построены 2 графика (все данные можно найти в Приложении). Один для системы с внешним напряжением, а другой без него, при этом из общего напряжения вычиталось падение напряжения на стабилитроне для каждого значения тока $U_{external} = Ir$.

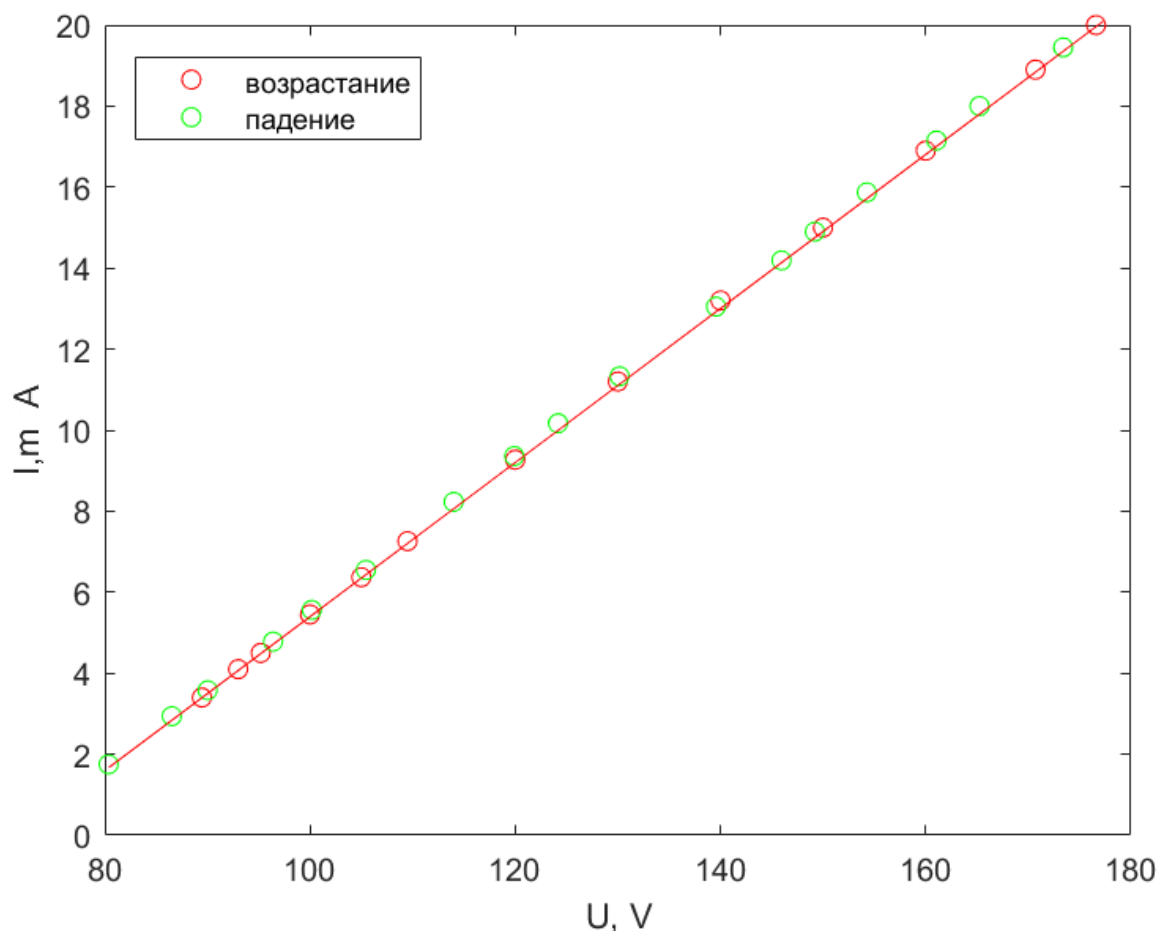


Рисунок 6 – ВАХ с внешним сопротивлением r

2 Осциллограммы релаксационных колебаний

Для исследования релаксационных колебаний была собрана схема, представленная на рисунке 8. Напряжение, установленное в системе по формуле $U \approx 1.2V_1$, где V_1 – потенциал зажигания, равный 89.5 В, составило 110 В. Картина пилообразных колебаний, полученная на осциллографе, представлена на рисунке 4. Соотношение

$$\frac{\tau_3}{\tau_p} = 12. \quad (6)$$

Критическое сопротивление, при котором пропадают колебания, составило $R_{кр} = 98000$ Ом. Теоретически рассчитанное по формуле

$$R_{кр} = \frac{U - V_2}{I_2} \quad (7)$$

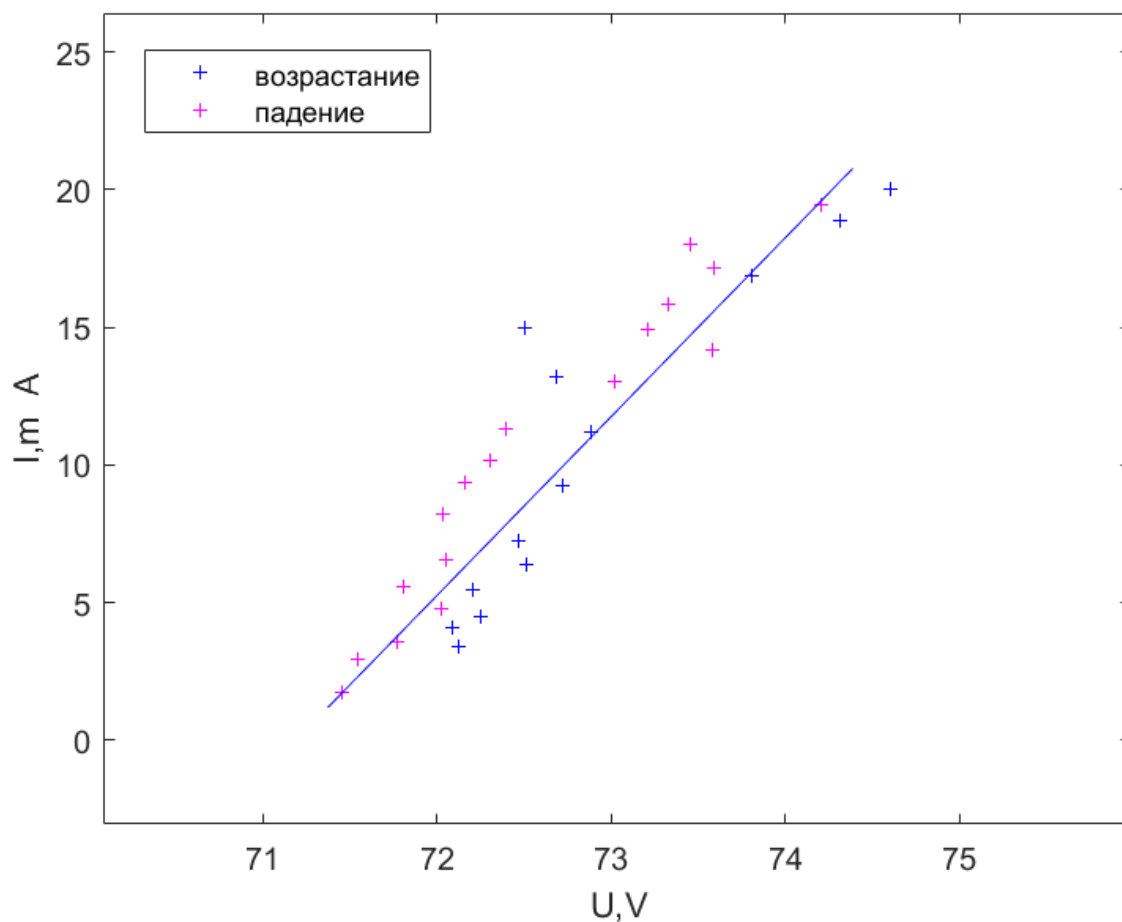


Рисунок 7 – ВАХ без внешнего сопротивления r

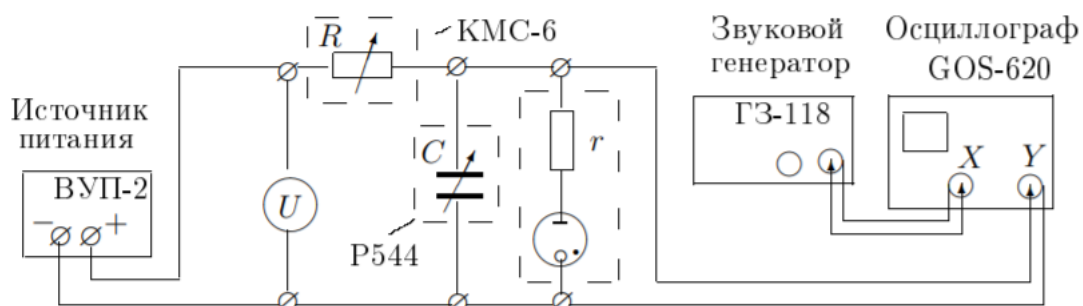


Рисунок 8 – Схема установки для исследования релаксационных колебаний

сопротивление оказалось равным примерно 17000 Ом, что меньше чем на порядок отличается от экспериментального. Колебания также пропадали при увеличении напряжения при постоянном сопротивлении.

3 Фигуры Лиссажу и частота колебаний

При поддерживаемом постоянным напряжении 110 В, были получены зависимости периода колебаний от C (рисунок 10) и от R (рисунок 11).

Наклоны экспериментальных и теоретических прямых отличаются на гра-

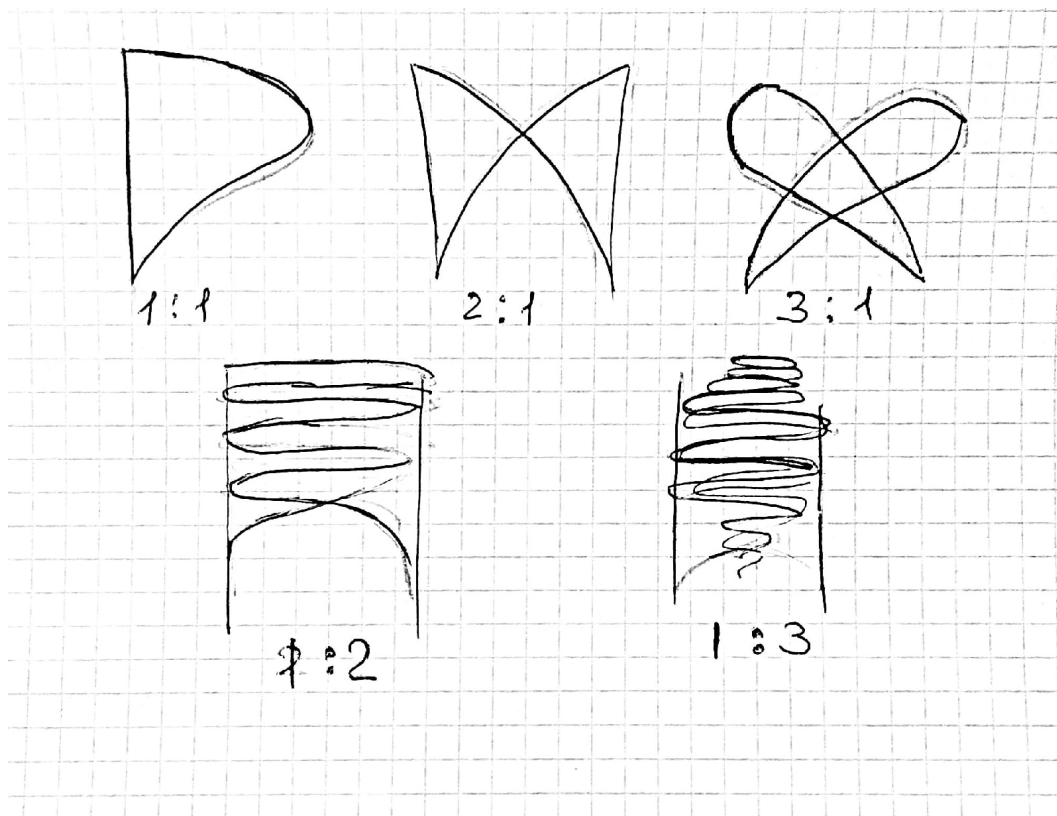


Рисунок 9 – Фигуры Лиссажу для разных отношений частот

фигуре, но с помощью МНК было посчитано, что по порядку величины они одинаковые.

Для первого графика

$$k_{theor} = 0.13 \pm 0.04 \text{ с/мкФ}$$

$$k_{exp} = 0.41 \pm 0.05 \text{ с/мкФ}$$

Для второго

$$k_{theor} = (1.8 \pm 0.6) \cdot 10^{-5} \text{ с/кОм}$$

$$k_{exp} = (6.6 \pm 0.3) \cdot 10^{-5} \text{ с/кОм}$$

4 Вывод

В ходе лабораторной работы были получены вольт-амперные характеристики нормального тлеющего заряда и исследованы релаксационные колебания генератора.

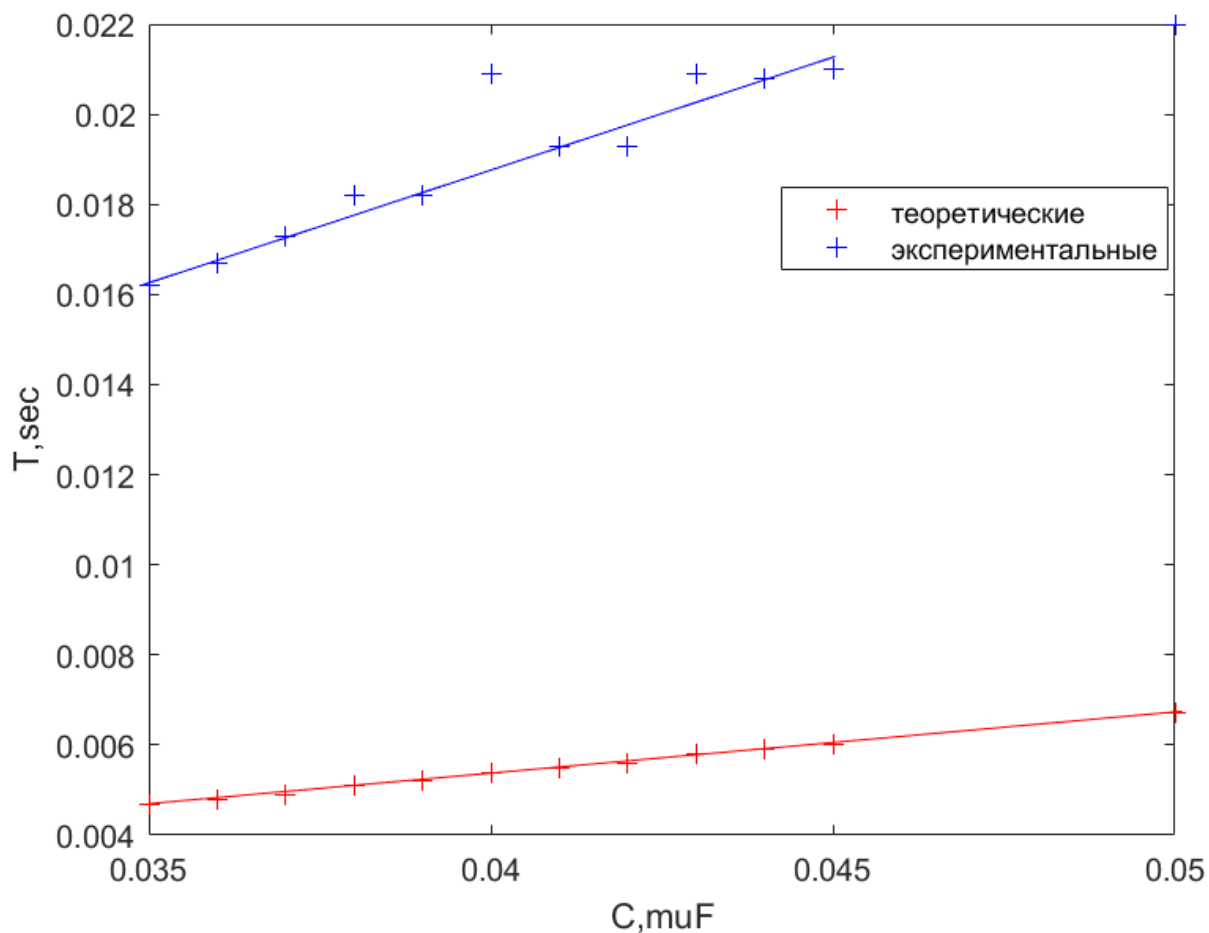


Рисунок 10 – График зависимости $T(C)$

5 Литература

1. Лабораторный практикум по общей физике: Учебное пособие в трех томах. Т. 2. Электричество и магнетизм. 2-е изд., перераб и дополн. / Никулин М.Г., Попов П.В, Нозик А.А. и др.; Под ред. А.В. Максимычева, М.Г. Никулина. – М.: МФТИ, 2019. – 370 с
2. 3.5.3 (46) Релаксационные колебания. Дополнительное описание

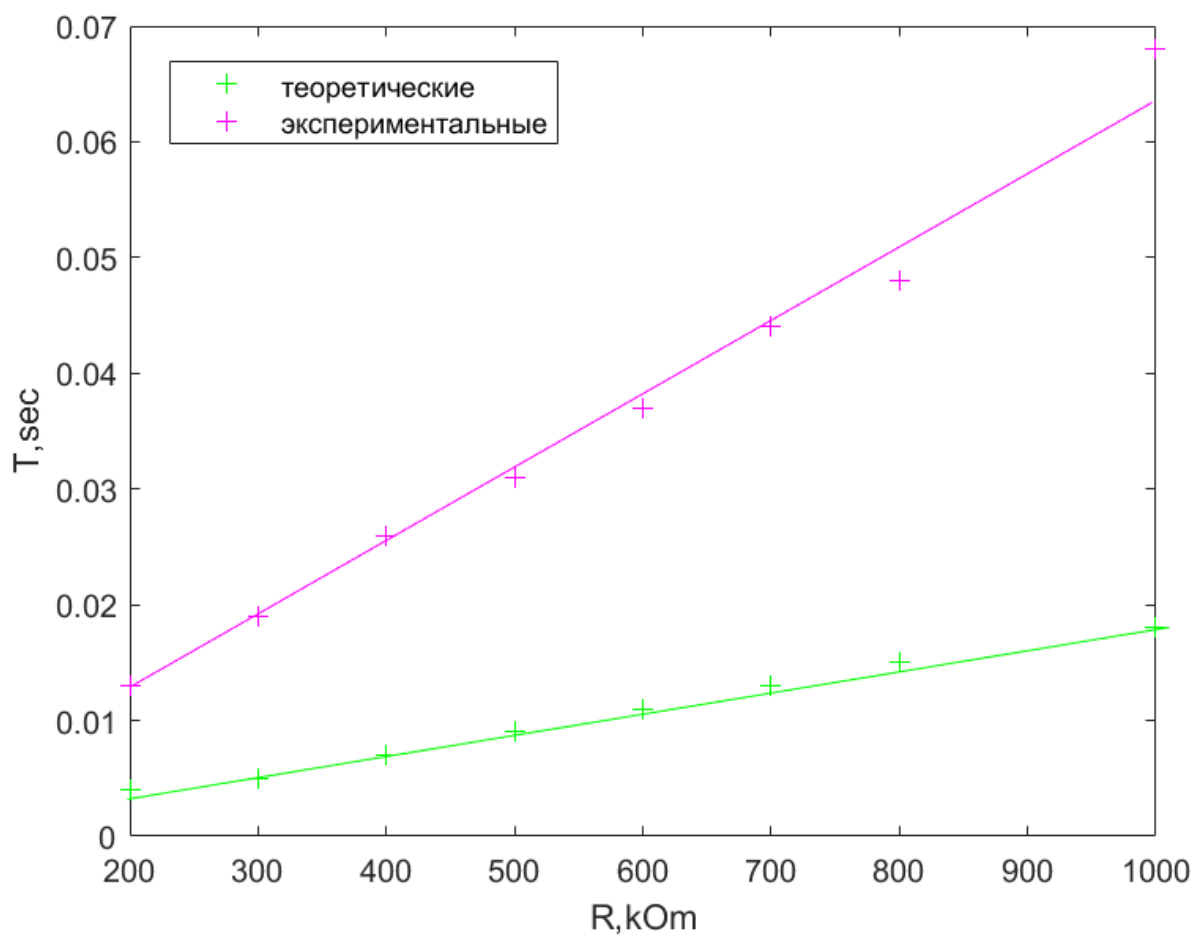


Рисунок 11 – График зависимости $T(R)$