

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет им. Н.И
Лобачевского»

Отчёт по лабораторной работе
«Изучение электрического разряда в неоновой лампе»

Выполнили студенты группы 10191

Елясин Андрей Алексеевич
Петрова Ирина Александровна

Проверил: Водопьянов Александр Валентинович

Нижний Новгород
2020

Теоретическая часть

Неоновая лампа работает в режиме тлеющего разряда. Тлеющий разряд имеет лавинный характер. Если напряжение между катодом и анодом меньше напряжения зажигания лампы, то соударения свободных зарядов, некоторое количество которых всегда имеется в газе, с атомами носит упругий характер. Как только достигается напряжение зажигания, характер соударений меняется – они становятся неупругими. В этом случае каждый электрон, соударяясь с атомом, выбивает из него еще один электрон, процесс приобретает лавинный характер, возникает тлеющий разряд.

Свечение газа объясняется тем, что при соударении с электроном атом переходит в возбужденное состояние, затем, при переходе назад в невозбужденное состояние, атом испускает фотон. Но объемная ионизация газа свободными электронами еще не достаточна для поддержания самостоятельного разряда. Необходимо, чтобы вблизи катода возникали первичные электроны. Осуществление такого механизма связано со сложной неоднородной структурой поля между электродами вследствие появления объемного заряда.

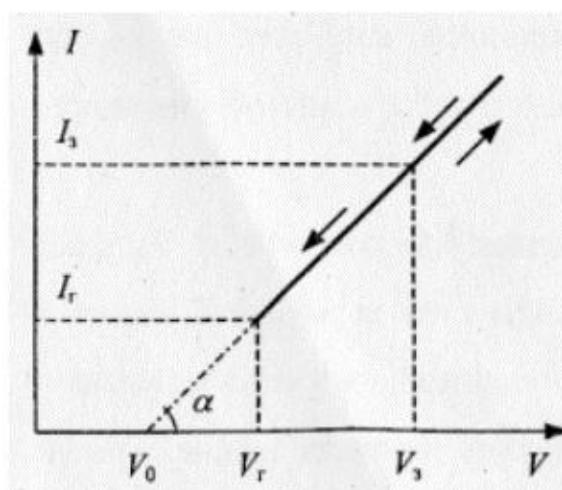


Рисунок 1. Теоретическая идеализированная вольт-амперная характеристика неоновой лампы.

На рисунке 1 показана идеализированная ВАХ неоновой лампы. При малых напряжениях лампа практически не пропускает тока, не горит. Как только разность потенциалов на электродах достигнет напряжения зажигания, лампа загорается. Дальнейшее увеличение напряжения приводит к возрастанию тока, по близкому к линейному закону. Представим идеализированную вольтамперную характеристик в виде:

$$I(V) = \frac{V - V_0}{R_0} \quad (1)$$

Теперь будем уменьшать напряжение на лампе. При достижении V_3 лампа не погаснет, и сила тока будет продолжать уменьшаться. Лампа погаснет только при достижении V_r , которое меньше V_3 .

Свойство лампы, что её напряжение гашения меньше напряжения зажигания, позволяет получить незатухающие колебания в схеме, состоящей из лампы, конденсатора и сопротивления:

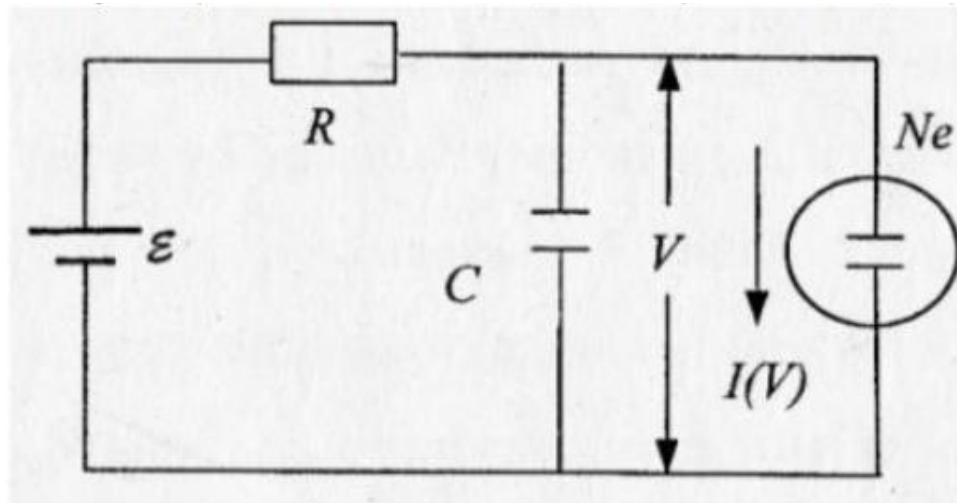


Рисунок 2. Схема экспериментальной установки для измерения зависимости периода автоколебаний от ε , R , C .

Рассчитаем их период. Обозначим ток в лампе через $I(V)$:

$$C \frac{dV}{dt} + I(V) = \frac{\varepsilon - V}{R} \quad (2)$$

Сначала рассмотрим стационарный режим работы: напряжение на конденсаторе (V) – постоянно, тогда $I_{ст} = \frac{\varepsilon - V}{R}$. При условии $R > R_{кр} = \varepsilon - \frac{V_r}{I_r}$ возникают колебания.

Рассмотрим этот момент подробнее. Пусть в начале конденсатор не заряжен. При включении схемы он начнет заряжаться через сопротивление R , напряжение V при этом будет увеличиваться. Как только оно достигнет напряжения зажигания, газ в лампе начнет проводить ток, причем прохождение тока через лампу сопровождается разрядкой конденсатора. Пока лампа горит, конденсатор разряжается, и напряжение на нем падает. Когда оно достигнет напряжения гашения, лампа перестанет проводить ток, конденсатор вновь начнет заряжаться.

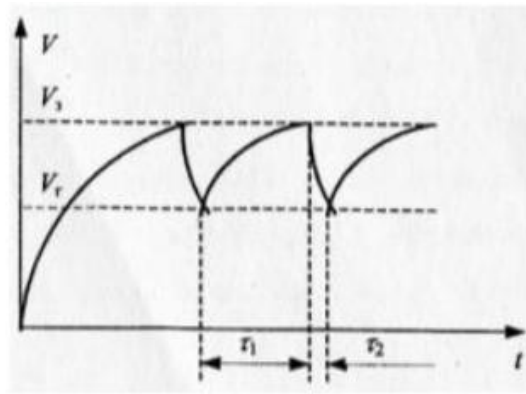


Рисунок 3. Зависимость напряжения на конденсаторе от времени, τ_2 соответствует зарядка конденсатора (лампа не горит), τ_1 - разрядка (горение лампы).

Вычислим период колебаний. Полный период определяется как $T = \tau_1 + \tau_2$.

Найдем τ_1 . Во время зарядки конденсатора лампа не горит.

$$C \frac{dV}{dt} = \frac{\mathcal{E} - V}{R} \quad (3)$$

Примем $V(t = 0) = V_r$. Тогда (3) имеет решение $V(t) = \mathcal{E} - (\mathcal{E} - V_r)e^{(-t/\tau_1)}$ (4). В момент зажигания лампы $t = \tau_1$ напряжение $V = V_3$. Подставляя это в (4) получим $\tau_1 = RC * \ln \frac{\mathcal{E} - V_r}{\mathcal{E} - V_3}$ (5)

Теперь рассмотрим разрядку конденсатора. Подставим в уравнение (2) уравнение (1):

$$C \frac{dV}{dt} + \frac{V - V_0}{R_0} = \frac{\mathcal{E} - V}{R}$$

Введем новое обозначение $\frac{1}{\rho} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R_0}$, тогда $\rho C \frac{dV}{dt} + V = \rho \left(\frac{\mathcal{E}}{R} + \frac{V_0}{R_0} \right)$

При решении этого уравнения удобно сместить начало отсчета к времени момента максимальной зарядки конденсатора ($V(t = 0) = V_3$). Если решить этот дифференциальное уравнение с учетом, что за время $t = \tau_2$ напряжение упадет до V_r , то получим

$$\tau_2 = \rho C * \ln \frac{(V_3 - V_0)R + (V_3 - \mathcal{E})R_0}{(V_r - V_0)R + (V_r - \mathcal{E})R_0} \quad (6) \text{ , откуда}$$

$$T = \tau_1 + \tau_2 = RC * \ln \frac{\mathcal{E} - V_r}{\mathcal{E} - V_3} + \rho C * \ln \frac{(V_3 - V_0)R + (V_3 - \mathcal{E})R_0}{(V_r - V_0)R + (V_r - \mathcal{E})R_0}$$

Практическая часть

Соберём схему на рисунке 4, снимем ВАХ неоновой лампы. Нашли приближённое значение напряжения зажигания и гашения. По результатам эксперимента при напряжении 120,6 В лампа зажглась, при напряжении около 110 В гасла. Из графика сопротивление лампы $R_0 = 4,3 \text{ кОм}$, $V_0 = 107,9 \text{ В}$.

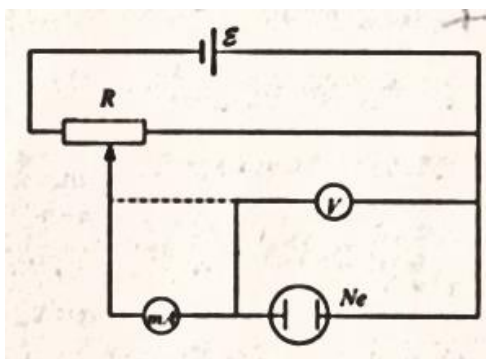


Рисунок 4. Схема экспериментальной установки для снятия ВАХ неоновой лампы.

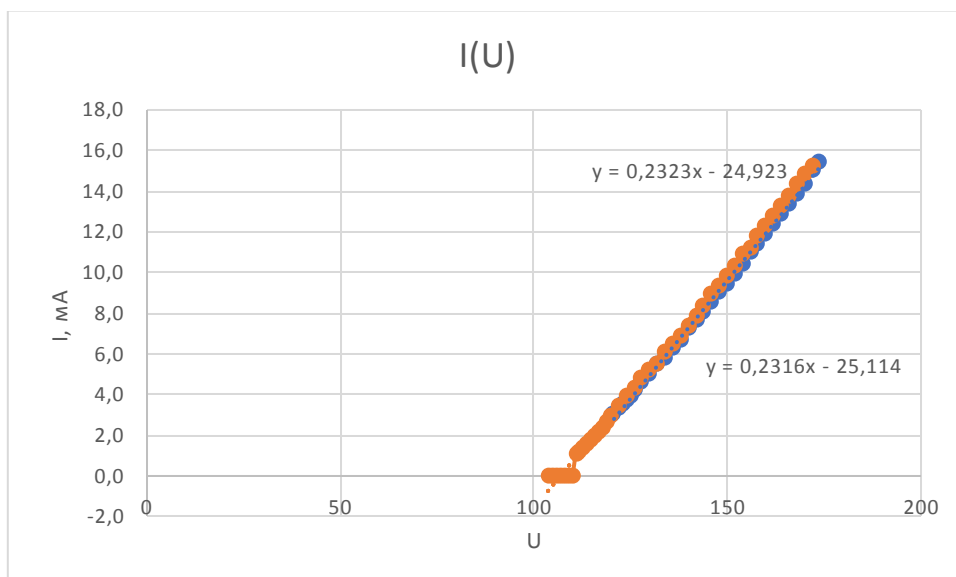


Рисунок 5. ВАХ неоновой лампы.

Исследуем работу релаксационного генератора с неоновой лампой в схеме на рисунке 6.

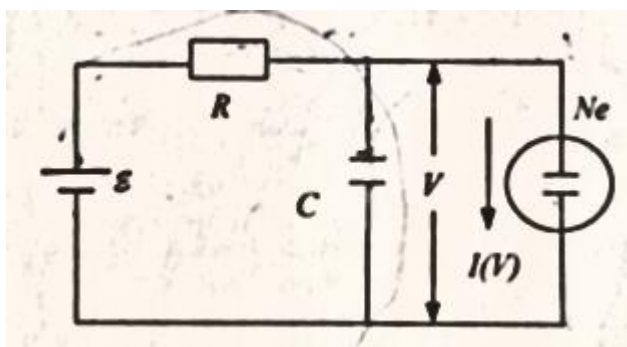
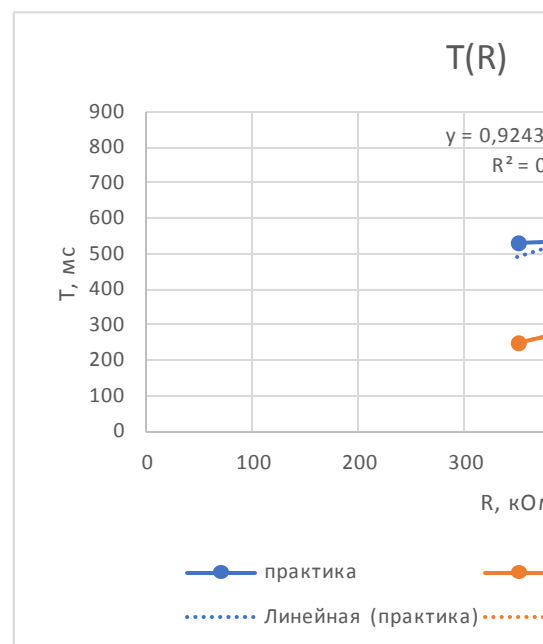


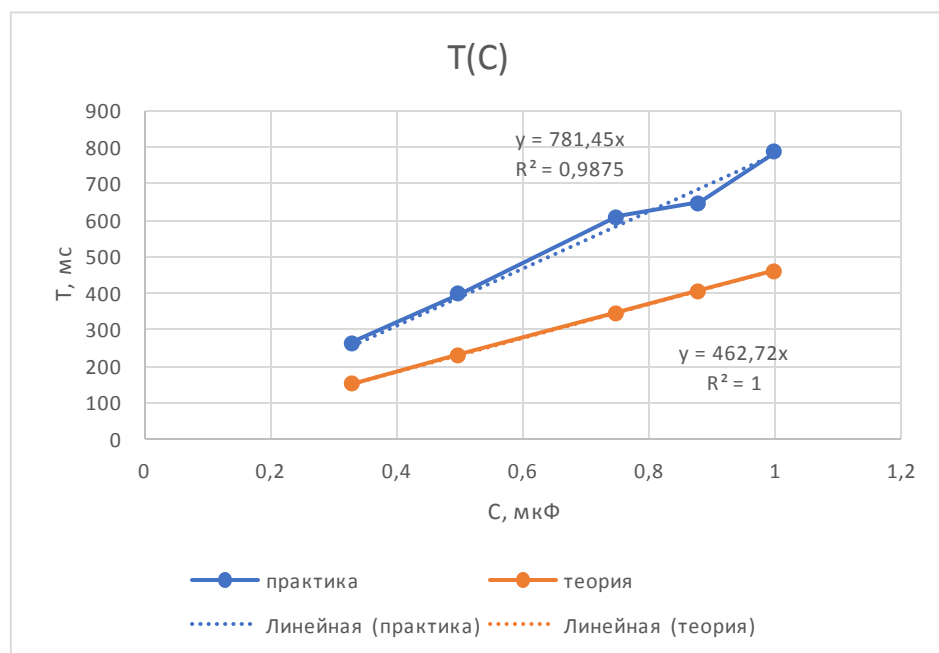
Рисунок 6. Схема релаксационного генератора с неоновой лампой.

Получили колебания для различных R, C, ε. С помощью осциллографа измерили время, за которое наблюдается определенное число вспышек неоновой лампы и время период колебаний.

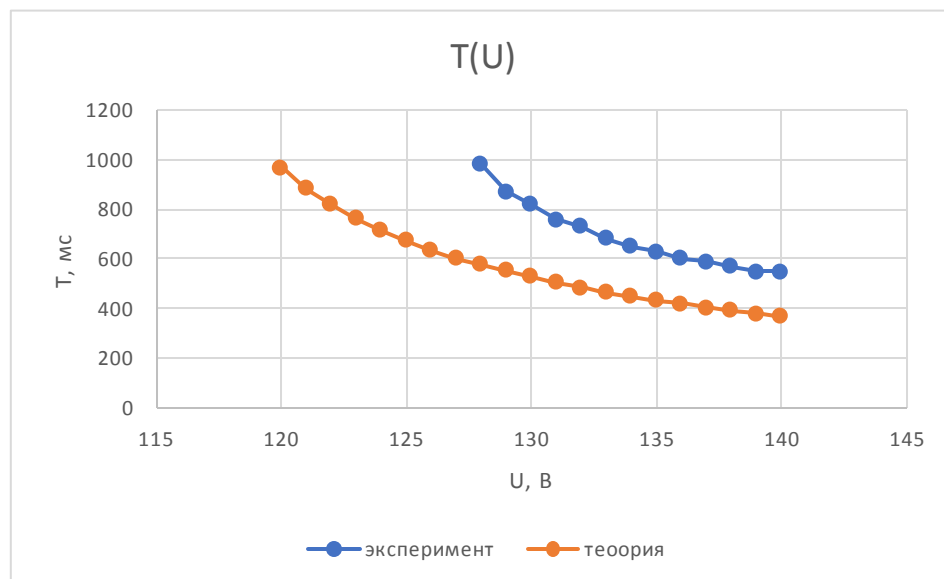
R, кОм	C, мкФ	U, В	T, мс
350	1	128	530
450			540
500			620
660			800



R, кОм	C, мкФ	U, В	T, мс
660	0,33	128	264
	0,50		400
	0,75		610
	0,88		650
	1,00		790



R, кОм	C, мкФ	U, В	T, мс
660	1,25	128	980
		129	870
		130	820
		131	760
		132	730
		133	680
		134	650
		135	630
		136	600



	137	590
	138	570
	139	550
	140	550

Рисунок 7. Таблицы экспериментальных данных и соответствующие им графики периодов и теоретическое предсказание (теор).

Мы получили правильные зависимости, однако есть сильное различие в значениях, это может быть связано с тем, что мы не совсем верно выбрали параметры лампы (напряжение зажигания, гашения и параметры аппроксимирующей прямой) из-за приборной погрешности.

Вывод: В данной работы мы изучили электрический разряд в неоновой лампе. Чтобы добиться включения лампы, нужно достичь напряжения зажигания (120,6 В), при котором происходит резкое увеличение тока, сопровождающееся появлением свечения газа. Причина зажигания состоит в том, что при достаточно большой напряженности электрического поля электрон на длине свободного пробега приобретает энергию, достаточную для ионизации нейтрального атома. Далее в результате упругих соударений электронов с атомами возникает электронная лавина, движущаяся к аноду.

Получили линейную вольтамперную характеристику неоновой лампы.

Исследовали работу релаксационного генератора, в котором роль ключа выполняла неоновая лампа. Получили зависимости периода от различных R , C , ε : вид зависимости периода от R , C , ε , теория предсказала верно: для R и C – линейная, для ε – нелинейная (вероятно, логарифмическая).