

Отчет по лабораторной работе №222
Изучение разряда неоновой лампы

Выполнили студенты 420 группы
Понур К.А., Сарафанов Ф.Г., Сидоров Д.А.

Нижний Новгород, 2017

Содержание

| | |
|--|-----------|
| Введение | 2 |
| 1 Исследование неоновой лампы | 3 |
| 1.1 Снятие ВАХ неоновой лампы | 3 |
| 1.2 Исследование работы релаксационного генератора | 5 |
| 1.2.1 Варьирование R | 5 |
| 1.2.2 Варьирование C | 6 |
| 1.2.3 Варьирование \mathcal{E} | 7 |
| 2 Вывод формул | 8 |
| 3 Ответы на вопросы | 11 |
| 3.1 №1 | 11 |
| 3.2 №5 | 12 |
| 4 Вывод | 13 |

Введение

В данной работе исследуется самостоятельный разряд в неоновой лампе ТН-30-2. Лампа представляет собой стеклянный баллон, заполненный неоном при давлении порядка 10-20 торр. Электроды у лампы в форме дисков, причём расстояние между электродами меньше диаметра электрода. Внутри лампы последовательно с электродами впаян балластный резистор с сопротивлением $R_{Ne} = 10$ кОм. Целью данной работы является успешная сдача зачета по общефизу

1. Исследование неоновой лампы

1.1. Снятие ВАХ неоновой лампы

Таблица 1: Снятие вольт-амперной характеристики (ВАХ) неоновой лампы

| U , В | I , мА | U , В | I , мА | U , В | I , мА | U , В | I , мА | U , В | I , мА |
|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|---------|----------|
| 119.52 | 0.918 | 144.16 | 2.78 | 227.75 | 9.74 | 140.75 | 2.71 | 115.47 | 0.766 |
| 120.71 | 1.004 | 146.94 | 3 | 229.7 | 9.97 | 139.25 | 2.6 | 115.22 | 0.747 |
| 120.98 | 1.025 | 150.1 | 3.24 | 225.47 | 9.69 | 138.2 | 2.51 | 114.9 | 0.721 |
| 121.14 | 1.036 | 153.35 | 3.5 | 221.22 | 9.31 | 137.6 | 2.46 | 114.49 | 0.689 |
| 122.13 | 1.111 | 157.41 | 3.81 | 219.32 | 9.16 | 136.5 | 2.38 | 114.07 | 0.657 |
| 123.34 | 1.201 | 160.17 | 4.04 | 215.25 | 8.82 | 135.25 | 2.28 | 113.94 | 0.646 |
| 123.66 | 1.224 | 163.55 | 4.29 | 214 | 8.71 | 133.36 | 2.13 | 113.01 | 0.573 |
| 125.99 | 1.398 | 167.85 | 4.63 | 210.02 | 8.38 | 132.64 | 1.975 | 112.81 | 0.556 |
| 126.1 | 1.407 | 169.76 | 4.78 | 206 | 8.03 | 131.48 | 1.971 | 112.61 | 0.539 |
| 126.77 | 1.457 | 173.73 | 5.11 | 200.44 | 7.57 | 130.86 | 1.927 | 112.49 | 0.529 |
| 127.56 | 1.515 | 176.24 | 5.39 | 195.9 | 7.18 | 130.19 | 1.873 | 112.18 | 0.504 |
| 127.9 | 1.54 | 179.99 | 5.61 | 192.97 | 6.94 | 129.23 | 1.803 | 111.74 | 0.465 |
| 128.14 | 1.578 | 182.86 | 5.84 | 187.7 | 6.49 | 128.58 | 1.751 | 111.41 | 0.437 |
| 128.81 | 1.609 | 184.56 | 5.98 | 182.6 | 6.07 | 127.79 | 1.686 | 111.32 | 0.427 |
| 129.16 | 1.641 | 189.32 | 6.37 | 175.42 | 5.46 | 126.21 | 1.574 | 111.21 | 0.414 |
| 129.76 | 1.68 | 193.22 | 6.7 | 171.24 | 5.16 | 125.25 | 1.504 | 110.19 | 0.313 |
| 130.94 | 1.77 | 197.42 | 7.06 | 167.3 | 4.8 | 124.55 | 1.449 | 109.78 | 0.241 |
| 131.74 | 1.828 | 200.28 | 7.3 | 164.43 | 4.57 | 122.82 | 1.32 | | |
| 131.93 | 1.841 | 203.9 | 7.61 | 161.8 | 4.31 | 121.42 | 1.217 | | |
| 132.4 | 1.874 | 209.75 | 8.09 | 157.21 | 4 | 121.09 | 1.191 | | |
| 132.7 | 1.898 | 214.4 | 8.52 | 154.05 | 3.75 | 120.7 | 1.162 | | |
| 135.88 | 2.15 | 216.72 | 8.72 | 149.94 | 3.42 | 119.7 | 1.086 | | |
| 136.89 | 2.23 | 218.18 | 8.87 | 145.66 | 3.09 | 118.9 | 1.027 | | |
| 138.14 | 2.33 | 222.76 | 9.28 | 144.2 | 2.87 | 117.22 | 0.946 | | |
| 141.97 | 2.62 | 226.52 | 9.62 | 142.2 | 2.82 | 116.33 | 0.834 | | |

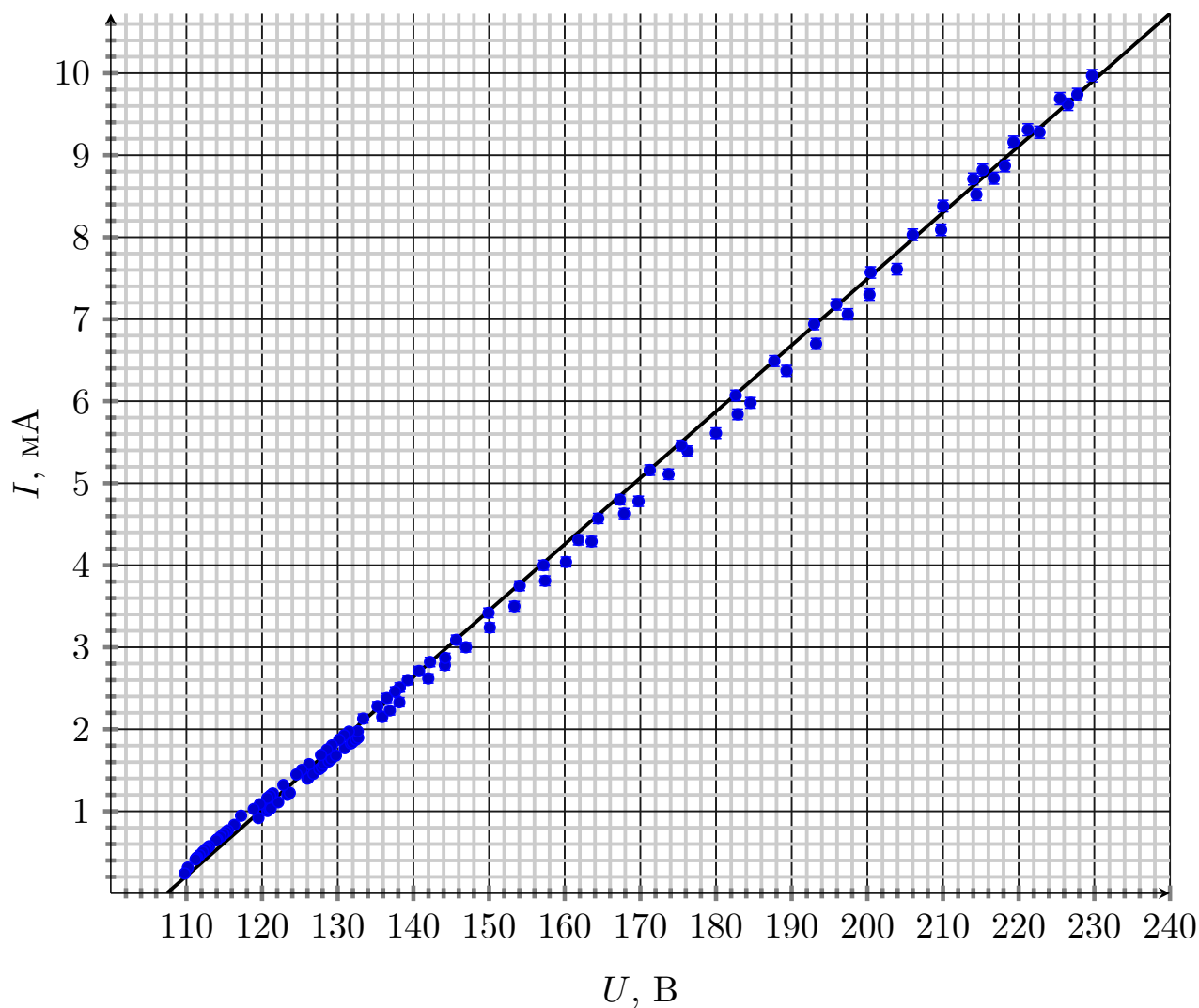


Рис. 1: Ход вольт-амперной характеристики неоновой лампы

Идеальная ВАХ системы из последовательно соединенных неоновой лампы и резистора

$$I = \frac{U - U_0}{R_0}, \quad (1)$$

где по результатам аппроксимации с помощью MATLAB найдены коэффициенты

$$U_0 = (107 \pm 1) \text{ В} \quad (2)$$

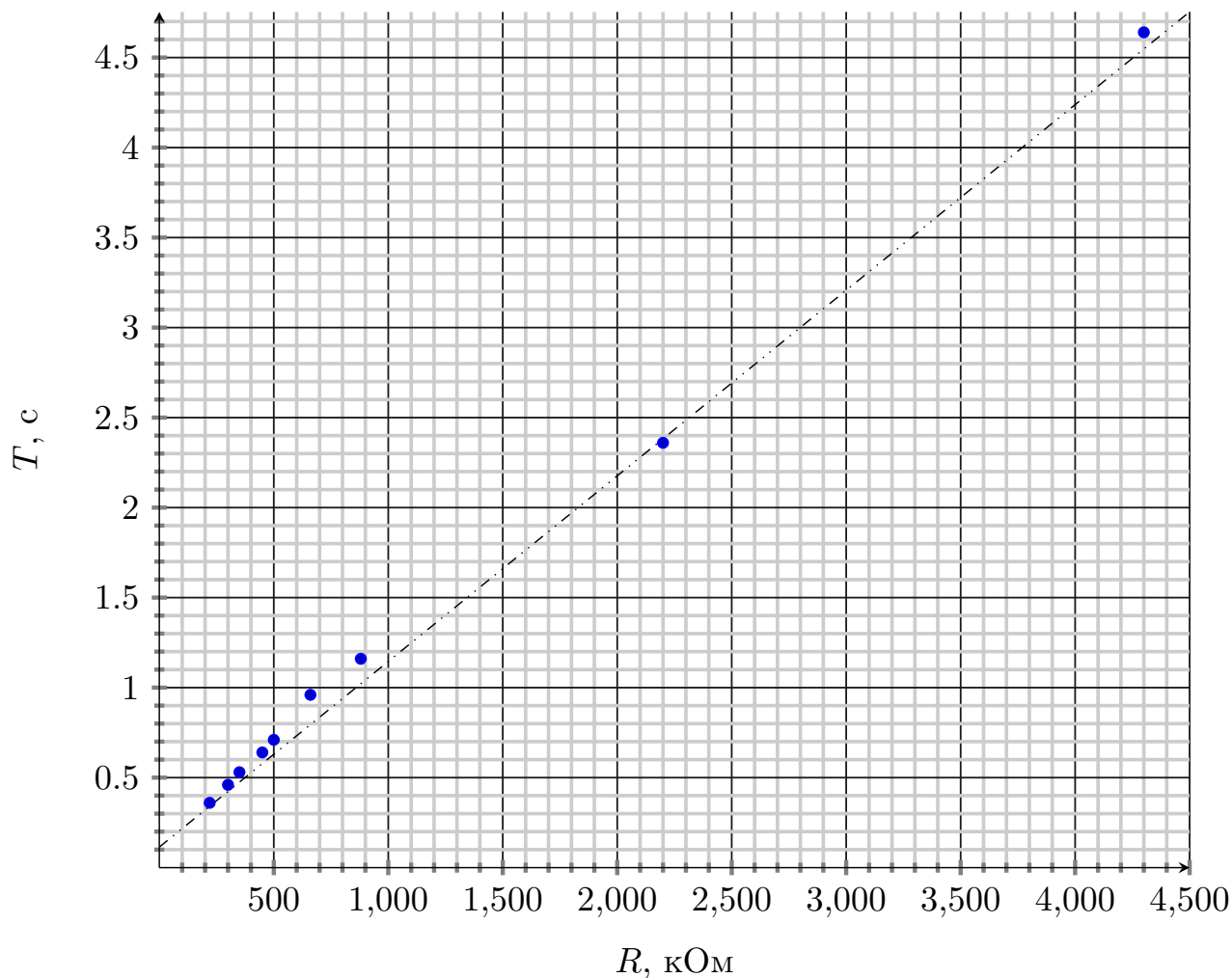
$$R_0 = (12.36 \pm 0.09) \text{ кОм} \quad (3)$$

1.2. Исследование работы релаксационного генератора

1.2.1 Варьирование R

Таблица 2: Снятие вольт-амперной характеристики (ВАХ) неоновой лампы

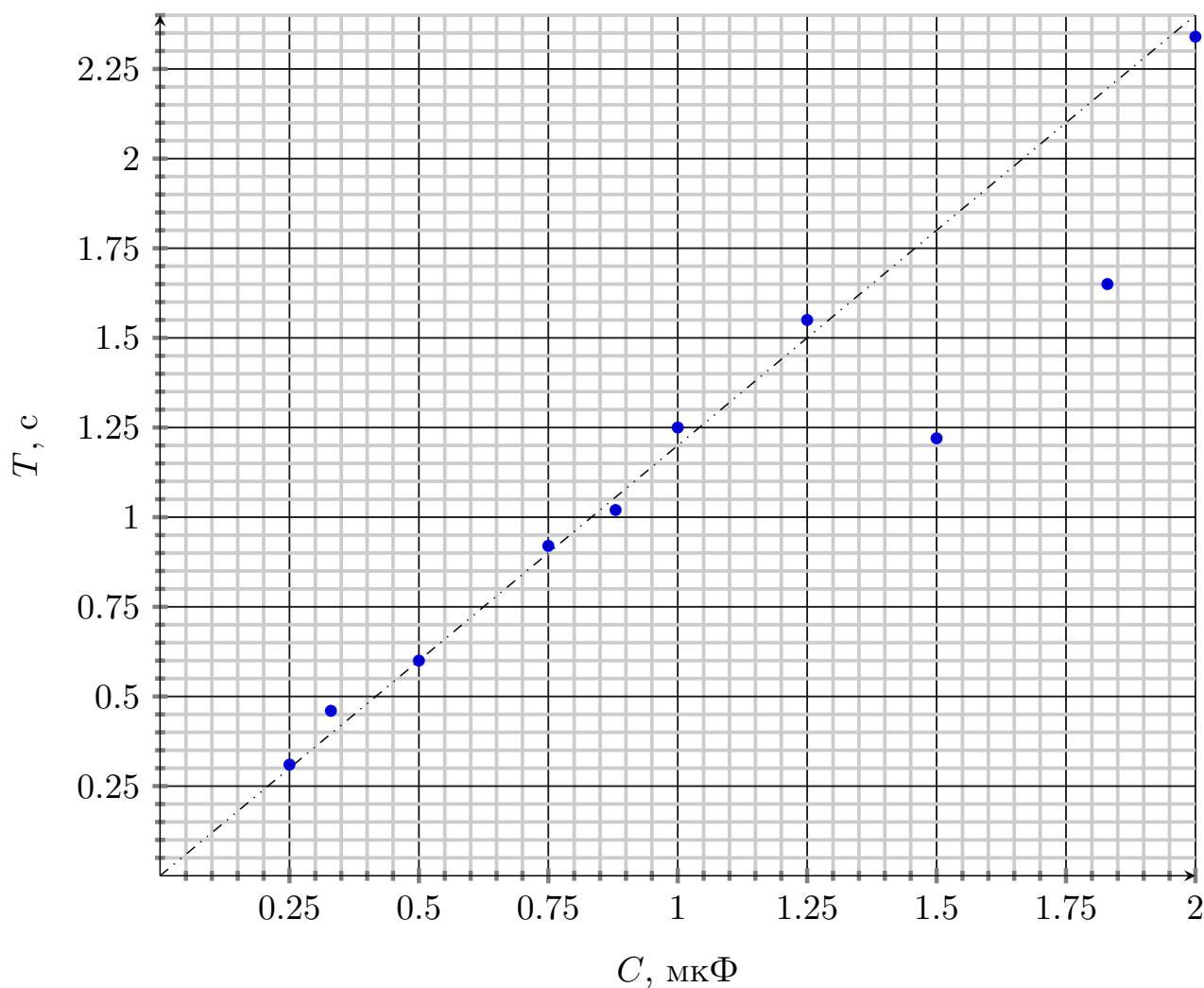
| R , кОм | t , сек | n , периодов | T , с | R , кОм | t , сек | n , периодов | T , с |
|-----------|-----------|----------------|---------|-----------|-----------|----------------|---------|
| 220 | 18.1 | 50 | 0.36 | 660 | 19.2 | 20 | 0.96 |
| 300 | 22.7 | 50 | 0.46 | 880 | 11.56 | 10 | 1.16 |
| 350 | 26.37 | 50 | 0.53 | 2 200 | 11.8 | 5 | 2.36 |
| 450 | 32.23 | 50 | 0.64 | 4 300 | 29.2 | 5 | 5.84 |
| 500 | 14.2 | 20 | 0.71 | | | | |

Рис. 2: Зависимость периода колебаний от сопротивления R

1.2.2 Варьирование C

Таблица 3: Снятие вольт-амперной характеристики (ВАХ) неоновой лампы

| C , мкФ | t , сек | n , периодов | T , с | C , мкФ | t , сек | n , периодов | T , с |
|-----------|-----------|----------------|---------|-----------|-----------|----------------|---------|
| 0.25 | 15.91 | 50 | 0.31 | 1 | 37.5 | 30 | 1.25 |
| 0.33 | 23.2 | 50 | 0.46 | 1.25 | 46.5 | 30 | 1.55 |
| 0.5 | 18.2 | 30 | 0.6 | 1.83 | 49.4 | 30 | 1.65 |
| 0.75 | 27.7 | 30 | 0.92 | 1.5 | 36.6 | 30 | 1.22 |
| 0.88 | 30.6 | 30 | 1.02 | 2 | 23.4 | 10 | 2.34 |

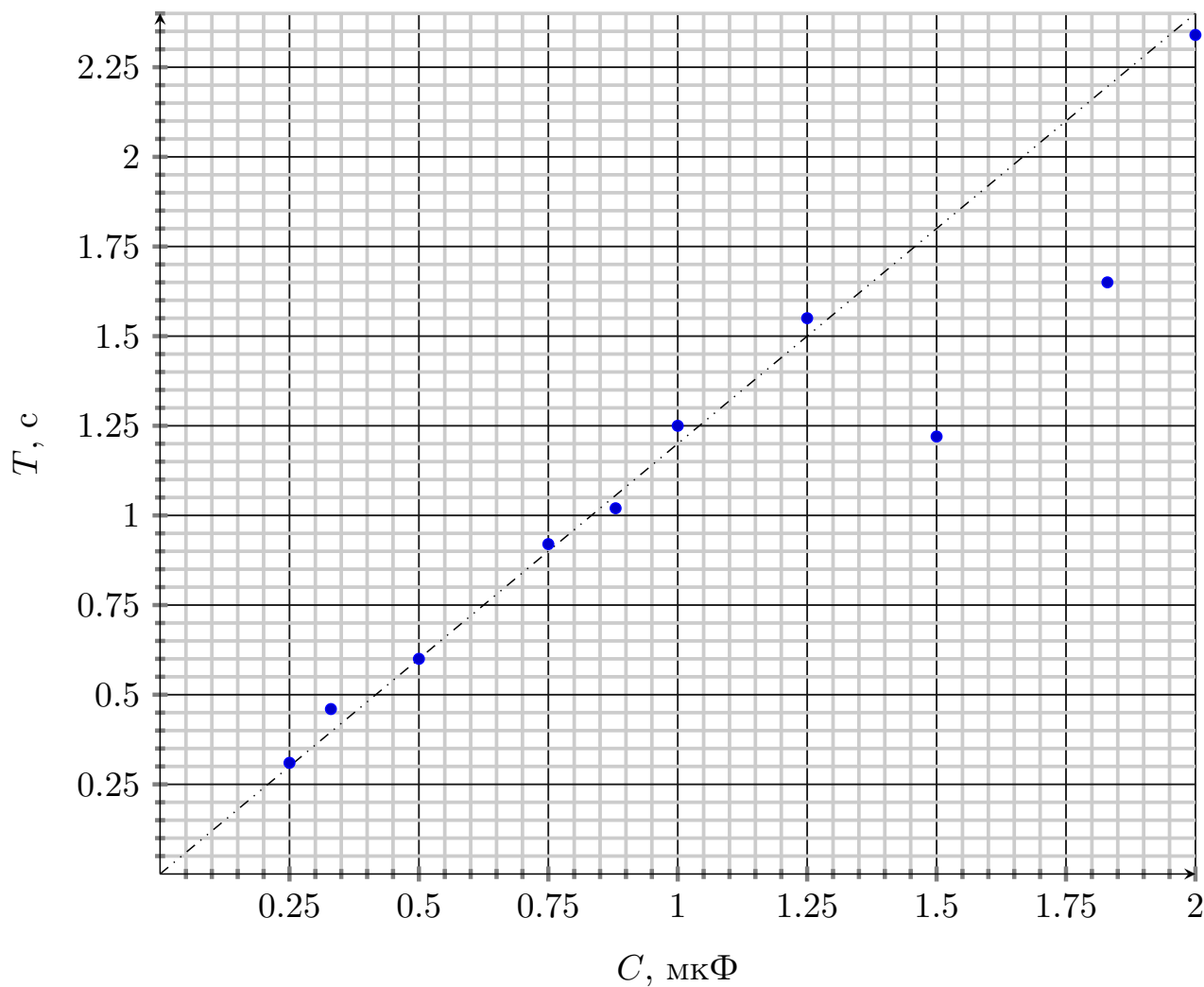
Рис. 3: Зависимость периода колебаний от емкости C

1.2.3 Варьирование \mathcal{E}

Таблица 4: Снятие вольт-амперной характеристики (ВАХ) неоновой лампы

| \mathcal{E} , В | t , сек | n , периодов | T , с |
|-------------------|-----------|----------------|---------|
| 130 | 30.52 | 10 | 3.052 |
| 140 | 18.5 | 10 | 1.85 |
| 150 | 13.231 | 10 | 1.32 |
| 160 | 17.29 | 15 | 1.15 |
| 170 | 19.27 | 20 | 0.96 |
| 180 | 17.05 | 20 | 0.85 |

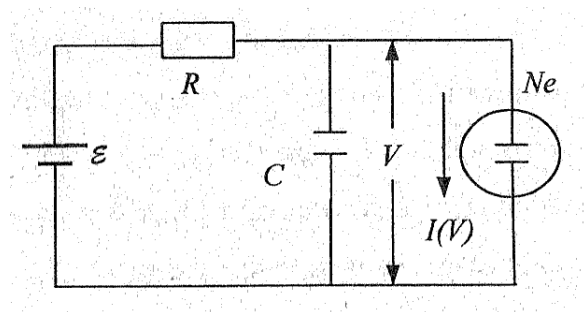
| \mathcal{E} , В | t , сек | n , периодов | T , с |
|-------------------|-----------|----------------|---------|
| 190 | 18.32 | 25 | 0.73 |
| 200 | 19.79 | 30 | 0.64 |
| 210 | 18.17 | 30 | 0.61 |
| 220 | 16.87 | 30 | 0.56 |
| 230 | 15.88 | 30 | 0.53 |
| 240 | 14.83 | 30 | 0.49 |

Рис. 4: Зависимость периода колебаний от напряжения \mathcal{E}

2. Вывод формул

Рассчитаем период колебаний генератора, схема которого представлена на рисунке.

$$\frac{dU}{dt} + I(V) = \frac{\mathcal{E} - U}{R}, \text{ где } I(U) - \text{ток в лампе} \quad (4)$$



Рассмотрим стационарный режим (напряжение U на конденсаторе постоянно). Сила тока в таком случае определяется уравнением

$$I_{\text{ст}} = \frac{\mathcal{E} - U}{R} \quad (5)$$

Стационарный режим работы схемы определяется путём совместного решения уравнения (5) и уравнения $I = I(U)$, описывающего ВАХ лампы. Очевидно, что точка пересечения существует не при всех R . Случай, когда

$$R = R_{\text{кр}} = \frac{\mathcal{E} - U}{I_{\text{г}}} \quad (6)$$

является критическим, при дальнейшем увеличении сопротивления R стационарный режим оказывается невозможным. Именно в этом случае ($R > R_{\text{кр}}$) в системе устанавливаются колебания.

Рассмотрим, как происходит колебательный процесс. Пусть вначале конденсатор не заряжен. При включении схемы он начнет заряжаться через сопротивление R , напряжение U при этом будет увеличиваться. Как только оно достигнет напряжения зажигания $U_{\text{з}}$, газ в лампе начнет проводить ток, причем прохождение тока через лампу сопровождается разрядкой конденсатора. Действительно, нагрузочная прямая в этом случае не пересекается с характеристикой лампы, и значит, батарея \mathcal{E} , включенная через сопротивление R , не может поддерживать необходимую для горения лампы величину тока. Пока лампа горит, конденсатор разряжается, и напряжение на нем падает. Когда оно достигнет напряжения гашения $U_{\text{г}}$, лампа перестанет проводить ток, и конденсатор вновь начнет

заряжаться. Очевидно, амплитуда колебаний равна $U_3 - U_r$. Как ясно из предыдущего, условие возникновения колебаний имеет вид

$$R > R_{\text{кр}} = \frac{\mathcal{E} - U}{I_r} \quad (7)$$

Вычислим период колебаний. Полное время одного колебания T будет складываться из времени зарядки τ_1 и времени разрядки τ_2 . Во время зарядки конденсатора лампа не горит (и врут календари), ток через нее $I(V) = 0$, и уравнение (5) принимает вид

$$RC \frac{dU}{dt} = \mathcal{E} - U \quad (8)$$

Если отсчитывать время от момента гашения лампы, то

$$U(t = 0) = U_r, \quad (9)$$

и уравнение (5) имеет решение

$$U(t) = \mathcal{E} - (\mathcal{E} - U_r) \exp \left[-\frac{t}{RC} \right] \quad (10)$$

Отсюда получаем время зарядки

$$\tau_1 = RC \cdot \ln \frac{\mathcal{E} - U_r}{\mathcal{E} - U_3} \quad (11)$$

Мы будем представлять ВАХ лампы в виде:

$$I(U) = \frac{U - U_0}{R_0} \quad (12)$$

При этом уравнение (4) примет вид

$$C \frac{dU}{dt} + \frac{U - U_0}{R_0} = \frac{\mathcal{E} - U}{R} \quad (13)$$

Переобозначим

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R_0} \quad (14)$$

С учётом (14) получим

$$C \frac{dU}{dt} + U \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_0} \right) = \left(\frac{\mathcal{E}}{R} + \frac{U_0}{R_0} \right) \quad (15)$$

$$\rho C \frac{dU}{dt} + U = \rho \left(\frac{\mathcal{E}}{R} + \frac{U_0}{R_0} \right) \quad (16)$$

Будем полагать, что при $t = 0$ напряжение $U = U_3$.

Решая линейное неоднородное дифференциальное уравнение (16), получаем:

$$U(t) = \rho \left(\frac{\mathcal{E}}{R} + \frac{U_0}{R_0} \right) + \left[U_3 - \rho \left(\frac{\mathcal{E}}{R} + \frac{U_0}{R_0} \right) \right] \exp \left(-\frac{t}{\rho C} \right) \quad (17)$$

За время $t = \tau_2$ напряжение упадет до U_r :

$$U_r = \rho \left(\frac{\mathcal{E}}{R} + \frac{U_0}{R_0} \right) + \left[U_3 - \rho \left(\frac{\mathcal{E}}{R} + \frac{U_0}{R_0} \right) \right] \exp \left(-\frac{\tau_2}{\rho C} \right) \quad (18)$$

И, окончательно, это нам даст время разрядки

$$\tau_2 = \rho C \ln \frac{(U_3 - U_0)R + (U_3 - \mathcal{E})R_0}{(U_r - U_0)R + (U_r - \mathcal{E})R_0} \quad (19)$$

Таким образом, мы, зная из уравнений (11) и (19) соответственно τ_1 и τ_2 , сможем найти период колебаний

$$T = \tau_1 + \tau_2 \quad (20)$$

3. Ответы на вопросы

3.1. №1

Механизм зажигания самостоятельного разряда состоит в том, что при достаточно большой напряженности электрического поля электрон на длине свободного пробега приобретает энергию, достаточную для ионизации нейтрального атома. В результате соударения электрона с атомом, которое в этом случае становится неупругим, возникает положительный ион и еще один, вторичный, электрон. Уже два электрона устремляются к аноду, ионизируя на пути встречные атомы. Таким образом, возникает лавина электронов, движущихся к аноду. Но сама по себе объемная ионизация электронами еще недостаточна для поддержания самостоятельного разряда. Необходим также механизм, обеспечивающий возникновение первичных электронов в области около катода, т.е. в начале их пути к аноду.

Положительные ионы разгоняются по пути к катоду. Имея большую массу, они не могут ионизовать атомы, но способны, однако, выбивать электроны из металлического катода. Эти электроны становятся первичными для новых лавин, что и обеспечивает самостоятельность разряда.

3.2. №5

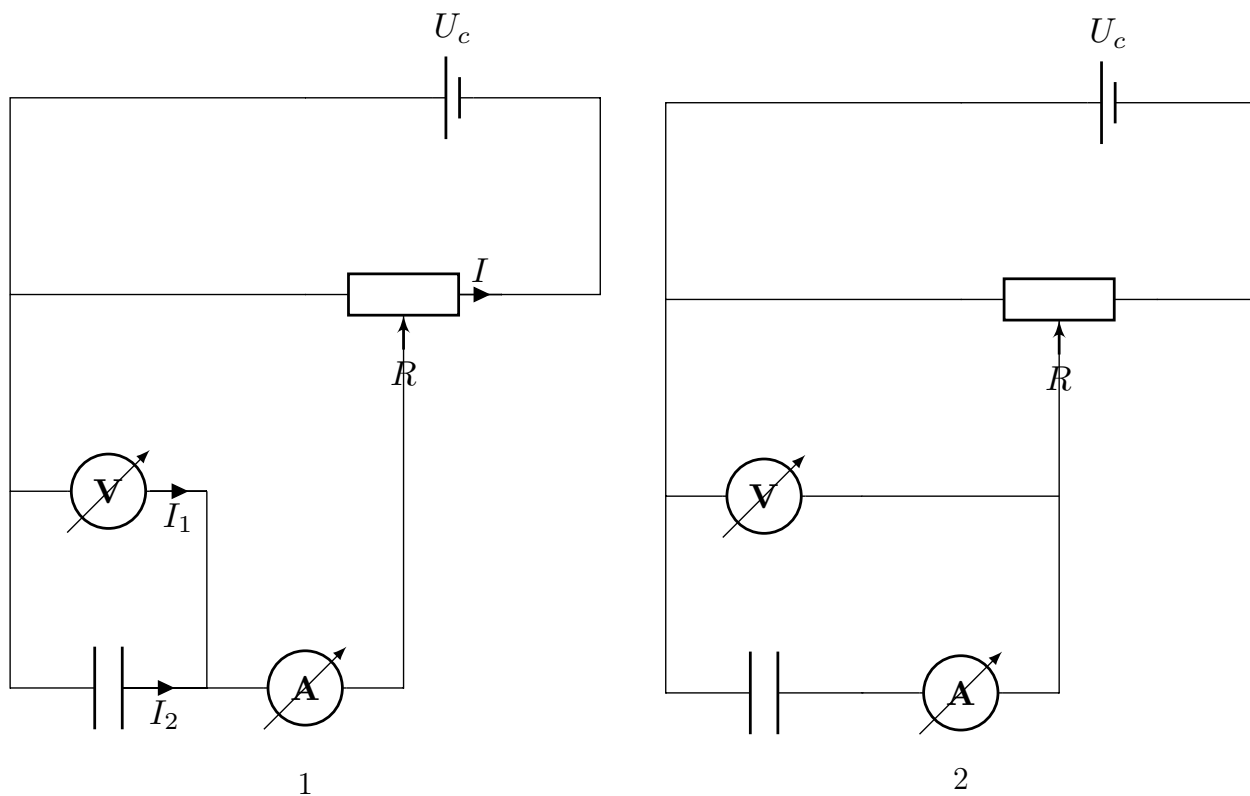


Рис. 5: Схемы

В первой схеме амперметр показывает значение тока, равное $I_a = I_1 + I_2$. Поскольку нам нужен только ток I_2 , то ток I_1 и будет вносить погрешность в измерение.

$$\delta I = \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}. \quad (21)$$

Подставляя известные значения сопротивлений ($R_v = 10 \text{ МОм}$, $R_a = 10 \text{ Ом}$, $R_{Ne} = 10 \text{ кОм}$), получаем:

$$\delta I = \frac{10 \cdot 10^3 \cdot \text{Ом}}{10 \cdot \text{МОм}} = 10^{-3} \quad (22)$$

Рассмотрим вторую схему. В этом случае вольтметр показывает не напряжение на лампе, а $U = U_a + U_{Ne}$.

То есть

$$\delta U = \frac{U_a}{U_{Ne}} = \frac{R_a}{R_{Ne}} = 10^{-3} \quad (23)$$

4. Вывод

Мы сняли ВАХ неоновой лампы, эксперимент в рамках погрешностей совпал с теоретической моделью.

Были определены коэффициенты $U_0 = (107 \pm 1) \text{ В}$ и $R_0 = (12.36 \pm 0.09) \text{ кОм}$