

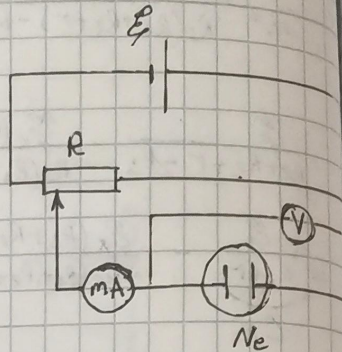
Лабораторная работа №222.
Изучение электрического разряда в
неоновой лампе.
Пробол.

1. Снятие ВАХ неоновой лампы.

90 190

	U, В	I, мА		U, В	I, мА		U, В	I, мА
U _г	129,5	3,1		186,0	14,4		130,0	3,3
	133,7	3,4		190,2	15,6		128,1	2,8
	143,8	5,7	обр-х	185,9	14,7		126,3	2,5
	148,0	6,5		178,6	13,0		129,9	2,2
	153,6	7,5		171,9	11,5		120,2	1,7
	159,2	8,6		166,3	10,3		116,9	1,2
	166,6	10,1		157,4	8,4	U _{г2}	114,2	0
	170,0	10,8		150,2	6,9	U _{г3}	128,8	3,1
	175,5	12,0		142,9	5,5	U _{г3}	129,0	3,2
	182,0	13,5		135,3	4,0	U _{г2}	113,8	0
						U _{г3}	113,8	

Схема:



2. Исследование работы релаксационного генератора на неоновой лампе.

а) Варьирование R (сопротивления)

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
R, кОм	4300	2200	880	660	500	450	350	300	220	
T, мс	420,0	382,0	145,0	118,7	86,0	72,3	64,7	54,0	41,5	
Δt,										

$$C = 0,25 \text{ мкФ}, \quad E = 150,1 \text{ В}$$

б) Варьирование C (ёмкость конденсатора)

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
C, мкФ	0,25	0,33	0,5	0,75	0,88	1,0	1,25	1,33	1,5	
T, с	65,3	84,5	124,0	176,0	194,0	229,3	280,0	302,0	344,0	
Δt,										

$$R = 350 \text{ кОм}, \quad E = 150 \text{ В}$$

б) Варьирование

N°
E, В
T, с
Δt,

Примечание

Контроль

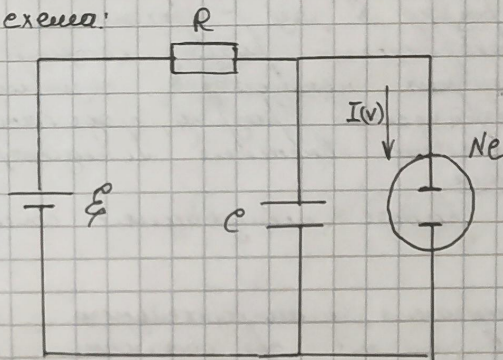
Расчёт
данных
матрицы

6) Варьирование ξ (ЭДС)

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\xi, \text{В}$	140,5	145,2	150,3	155,3	160,1	165,5	170,1	174,9		
$\tau, \text{с}$	100,0	80,5	64,3	56,0	48,5	43,5	40,5	37,0		
$\Delta \xi, \text{В}$										

$$R = 350 \text{ Ом}, C = 0,25 \text{ мкФ}$$

Принципиальная схема:



Кои графических экспериментов
и обработки.

Рисовать осциллограммы
тока по времени, в форме
матрицы

03.12.21

Отчет по лабораторной работе № 222. Искусственный электрический разряд в неоновой лампе.

Цель работы: измерить самостоятельный разряд в лампе.

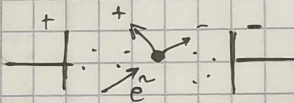
Приборы и оборудование: осциллограф СД5-71022, вольтметр ВДМ-8245, неоновая лампа, резистор, амперметр, источник с регулируемым напряжением и соединительные провода.

Теоретическая часть.

Электрический разряд в газе - прохождение электрического тока через газ в среде. Электрический разряд, который не возможен без воздействия внешних ионизаторов, называется самостоятельным разрядом. Электрический разряд, продолжающийся и после прекращения действия внешнего ионизатора, называется самостоятельным разрядом.

В данной работе измерен самостоятельный разряд.

Принцип зажигания самостоятельного разряда состоит в том, что при достаточно большой напряженности электрического поля электроны на пути свободного пробега приобретают энергию, достаточную для ионизации нейтрального атома.



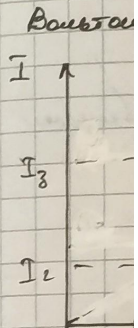
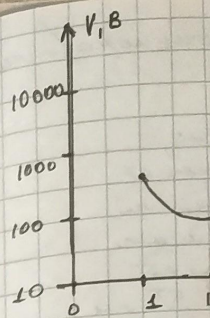
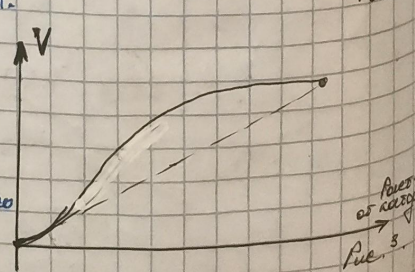
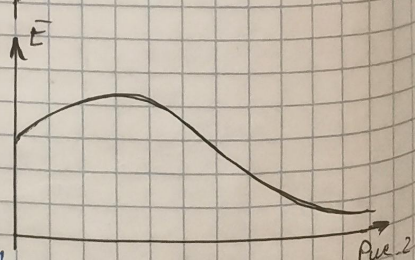
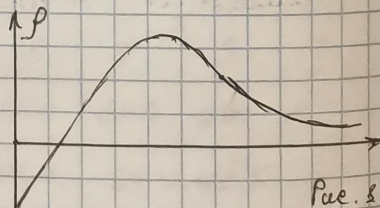
В результате соударения электрона с атомом, возникает положительный ион и еще один вторичный электрон. ~ лавинный механизм.

Но этого недостаточно, нужен механизм, обеспечивающий возникновение первичных электронов в области около катода, т.е. в начале их пути к аноду.

На рис. 1-3 схематично показаны схематичные распределения пространственного заряда, напряженности электрического поля и потенциала в лампе.

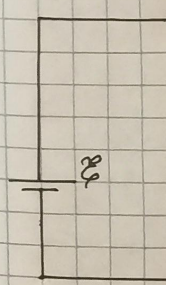
При тлеющем разряде в разрядном пространстве выделяют четыре основных области: катодное темное пространство, приближение свечения, дугарное темное пространство, положительный столб.

Первые три области находятся вблизи катода и образуют катодную часть пространства. Электроны, ускоренные в сильном поле катодного пространства образуют зарядную колонну, положительное поле разгоняется в поле вблизи катода. Но они не могут ионизировать атомы, однако, способны возбуждать электроны с ионизацией катода. Эти электроны, и становится первичными для образования лавины.



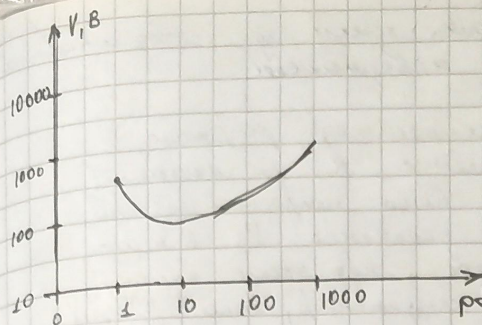
При м...
Ток в лам...
электродом...
устанавлива...
превращает...
Если м...
 $V_2 < V_3$.

Решая



В столб

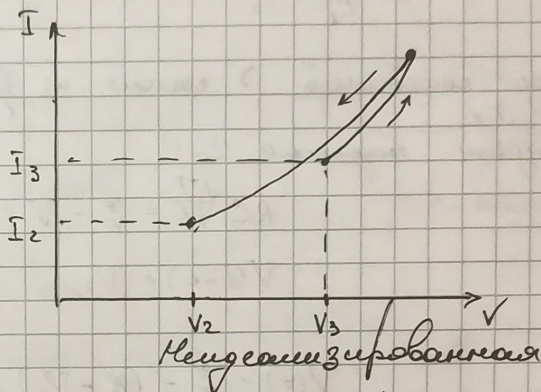
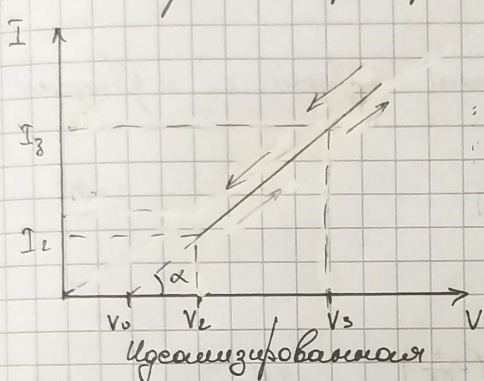
Предста...
график...
Ка...
тока...
и напря...



Потенциал зажигания зависит от
рода газа (энергии ионизации атома) и
материала катода (работы выхода).
Потенциал зажигания зависит также от
плотности газа.

Экспериментально установлено, что
потенциал зажигания V_z зависит от
произведения $p \cdot d$, где p - давление
газа, d - расстояние между плоскими
электродами.

Вольт-амперная характеристика неоновой лампы:



При малых напряжениях лампа практически не пропускает тока.
Ток в лампе возникает только если разность потенциалов между
электродами достигнет "напряжения зажигания" V_z . При этом скачком
устанавливается ток I_z . Дальнейшее увеличение
приводит к возрастанию тока по закону близкому к линейному.
Если напряжение уменьшать, то лампа погаснет лишь при
 $V_L < V_z$.

Релаксационный генератор на неоновой лампе.

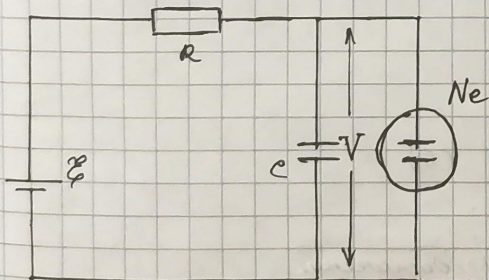


Рис. 4.

Условие, что $V_L < V_z$, позволяет получить
незатухающие колебания в схеме,
содержащей лампу, конденсатор и сопротивле-
ние (рис. 4).

Расчет периода колебаний генератора,
приведенного на рис. 4:
Уравнение цепи:

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

В стационарном режиме:

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

Представление уравнения (2)
графически изображено на рис. 5
на графике решения уравнения
точки пересечения вольт-амперной характеристики
и нагрузочной прямой (2).

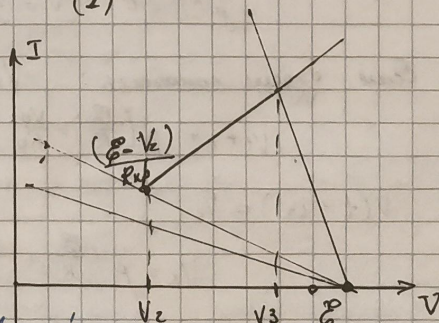
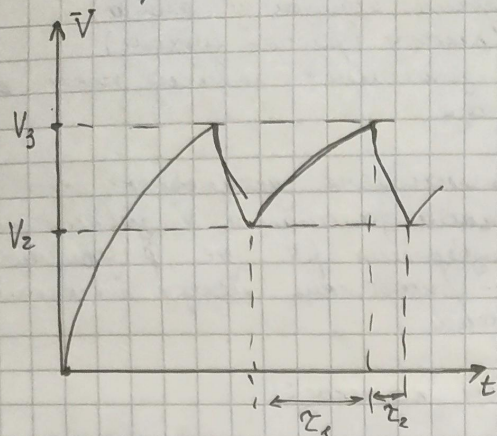


Рис. 5

При $R = R_{кр.} = \frac{\mathcal{E} - V_2}{I_2}$

критическая точка, где стационарный режим невозможен



В начале конденсатор разряжен, через сопротивление R он начинает заряжаться. Когда напряжение на конденсаторе достигнет V_3 в цепи начнет течь ток, при этом будет разряжаться конденсатор, пока V на конденсаторе не достигнет V_2 , после чего он будет снова заряжаться и так циклично.

Период колебаний T состоит из времени зарядки τ_1 и времени разрядки τ_2 .
Найдем сначала τ_1 :

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

$$V(t=0) = V_2$$

$$V(t) = \mathcal{E} - (\mathcal{E} - V_2) \exp\left(-\frac{t}{RC}\right) \quad (4)$$

При $t = \tau_1$, $V = V_3$.

$$V_3 = \mathcal{E} - (\mathcal{E} - V_2) \exp\left(-\frac{\tau_1}{RC}\right)$$

$$\tau_1 = RC \ln \frac{\mathcal{E} - V_2}{\mathcal{E} - V_3} \quad (5)$$

Нахождение τ_2 . Представим идеализированную вольтамперную характеристику в виде:

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

Уз (4):

$$C \frac{dV}{dt} + \frac{V - V_0}{R_0} = \frac{\mathcal{E} - V}{R} \quad (6)$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R_0}$$

переобозначение

$$\rho C \frac{dV}{dt} + V = \rho \left(\frac{\mathcal{E}}{R} + \frac{V_0}{R_0} \right)$$

Если будем считать: $-V(t=0) = V_3$.

$$V(t) = \rho \left(\frac{\mathcal{E}}{R} + \frac{V_0}{R_0} \right) + \left[V_3 - \rho \left(\frac{\mathcal{E}}{R} + \frac{V_0}{R_0} \right) \right] \exp\left(-\frac{t}{\rho C}\right)$$

$$V(t = \tau_2) = V_2$$

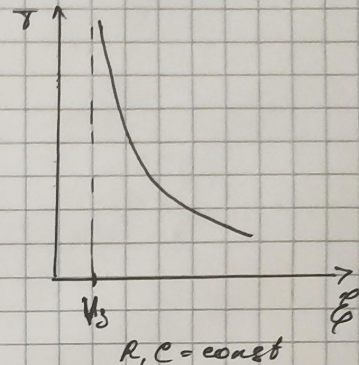
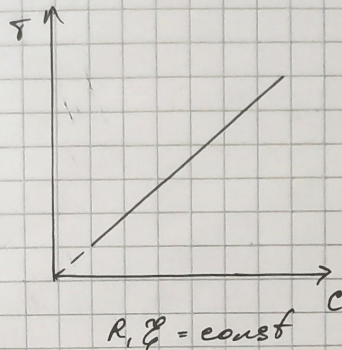
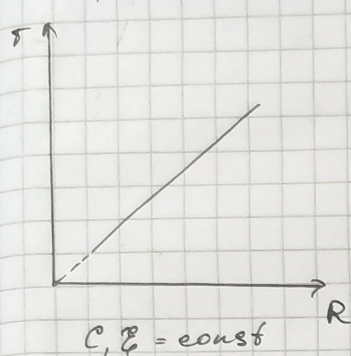
$$V_2 = \rho \left(\frac{\mathcal{E}}{R} + \frac{V_0}{R_0} \right) + \left[V_3 - \rho \left(\frac{\mathcal{E}}{R} + \frac{V_0}{R_0} \right) \right] \exp\left(-\frac{\tau_2}{\rho C}\right)$$

$$\tau_2 = \rho C \ln \frac{(V_3 - V_0)R + (V_3 - \mathcal{E})R_0}{(V_2 - V_0)R + (V_2 - \mathcal{E})R_0} \quad (7)$$

Тогда период колебаний:

$$T = \tau_1 + \tau_2, \text{ где } \tau_1 \text{ и } \tau_2 \text{ определяются равенствами (5), (7)}$$

В реальности $\tau_2 \ll \tau_1$, поэтому мы можем пренебречь. Для построения качественных графиков $T = f_1(R)$, $T = f_2(C)$, $T = f_3(\mathcal{E})$ при фиксированных параметрах это упрощает задачу:

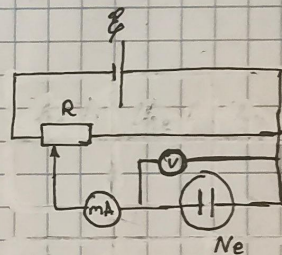


Экспериментальная часть.

1. Снятие вольт-амперной характеристики:

	$U, \text{В}$	$I, \text{мА}$	$\Delta U, \text{В}$	$\Delta I, \text{мА}$
3	129,5	3,1	0,4085	0,0031
	133,7	3,9	0,4211	0,0039
	143,8	5,7	0,4514	0,0057
	148,0	6,5	0,4640	0,0065
	153,6	7,5	0,4808	0,0075
	159,2	8,6	0,4976	0,0086
	166,6	10,1	0,5198	0,0101
	170,0	10,8	0,5300	0,0108
	176,5	12,0	0,5465	0,0120
	182,0	13,5	0,5660	0,0135
	186,0	14,4	0,5780	0,0144
	190,2	15,6	0,5906	0,0156
	185,9	14,7	0,5777	0,0147
	178,6	13,0	0,5558	0,0130
	171,9	11,5	0,5357	0,0115

	$U, \text{В}$	$I, \text{мА}$	$\Delta U, \text{В}$	$\Delta I, \text{мА}$
	186,3	10,3	0,5189	0,0103
	157,4	8,4	0,4922	0,0084
	150,2	6,9	0,4706	0,0069
	142,9	5,5	0,4487	0,0055
	135,3	4,0	0,4259	0,0040
	131,0	3,3	0,413	0,0033
	128,1	2,8	0,4043	0,0028
	126,3	2,5	0,3989	0,0025
	123,9	2,2	0,3917	0,0022
	120,2	1,7	0,3806	0,0017
	116,9	1,2	0,3707	0,0012
Г	114,2	0	0,3626	0
3	128,8	3,1	0,4064	0,0031
Г	113,8	0	0,3614	0
3	129,0	3,2	0,407	0,0032
Г	113,8	0	0,3614	0

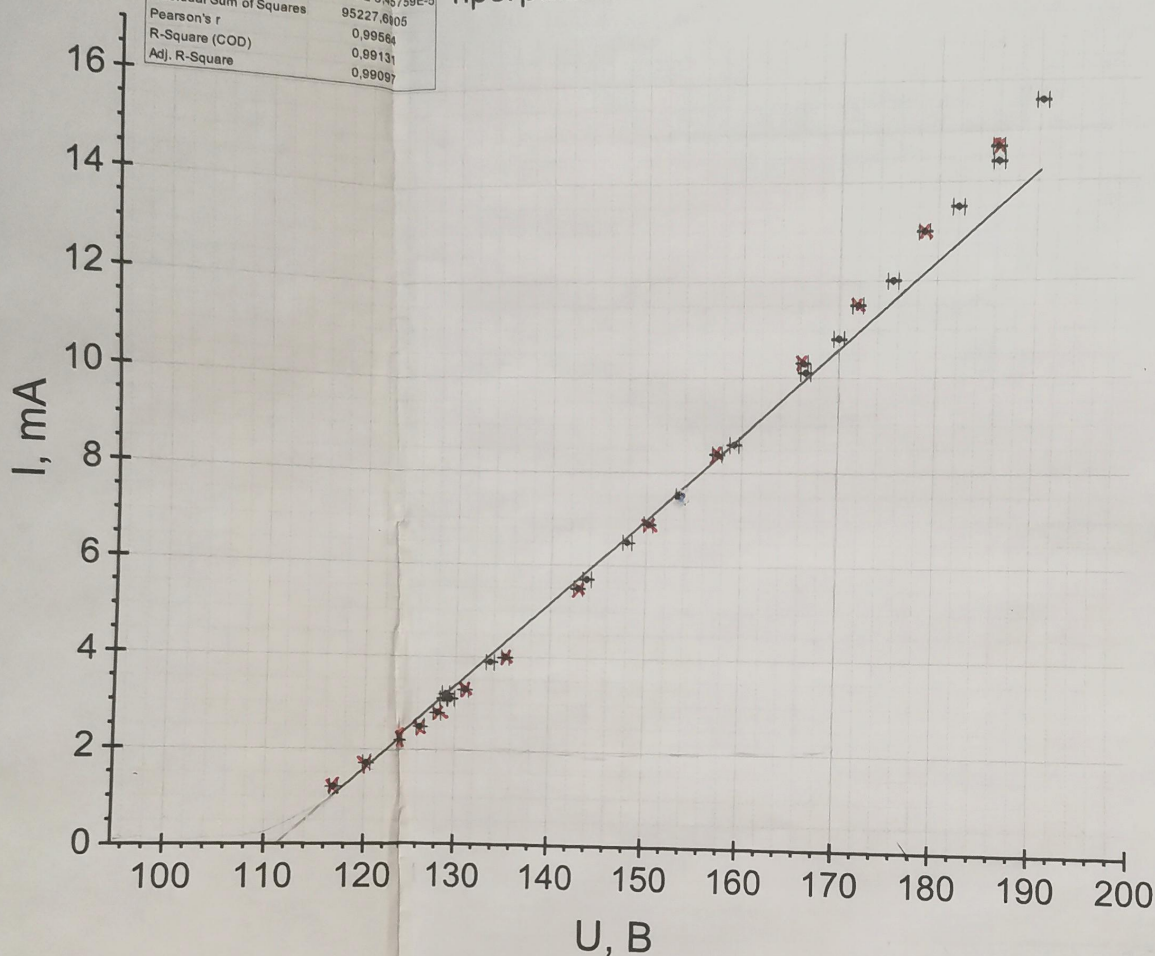


ВАН

Equation	$y = a + b \cdot x$
Plot	I, mA
Weight	Instrumental ($= 1/a^2$)
Intercept	-19.99464 ± 0.00693
Slope	$0.17984 \pm 5.45759E-5$
Residual Sum of Squares	95227.6105
Pearson's r	0.99564
R-Square (COD)	0.99131
Adj. R-Square	0.99087

Аппроксимация программой

x - обратный ход



Определим V_0 и R_0 по графику:

V_0 определяется по точке пересечения с осью абсцисс:

$$\underline{V_0 \approx 111,8 \text{ В.}}$$

R_0 определяется по тангенсу угла наклона:

$$\underline{R_0 = \frac{1}{K} \approx 5,56 \text{ кОм}}$$

Определим среднее значение V_3 и V_2 :

$$\underline{V_3 = \frac{V_{31} + V_{32} + V_{33}}{3} \approx 129,1 \text{ В}}$$

$$\underline{V_2 = \frac{V_{21} + V_{22} + V_{23}}{3} \approx 113,9 \text{ В}}$$

Погрешность среднего вычисляется по формуле:

$$\Delta V_{ср.} = \frac{|V_{ср} - V_1| + |V_{ср} - V_2| + |V_{ср} - V_3|}{3}$$

$$\Rightarrow \Delta V_3 \approx 0,26 \text{ В} ; \Delta V_2 \approx 0,17 \text{ В.}$$

$$\Rightarrow V_3 \approx 129,1 \pm 0,26 \text{ В}$$

$$V_2 \approx 113,9 \pm 0,17 \text{ В.}$$

2. Измерение работы релаксационного элемента на мостовой плате.

а) Варьирование R (сопротивления):

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$R, \text{кОм}$	4300	2200	880	660	500	450	350	300	220
$T, \text{мс}$	420,0	382,0	145,0	118,7	86,0	72,3	64,7	54,0	42,5

$$C = 0,25 \text{ мкФ} ; E = 150,1 \text{ В}$$

б) Варьирование C (ёмкости конденсатора):

N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$C, \text{мкФ}$	0,25	0,33	0,5	0,75	0,88	1,0	1,25	1,33	1,5
$T, \text{мс}$	65,3	84,5	124,0	148,0	194,0	229,3	280,0	302,0	344,0

$$R = 350 \text{ кОм} , E = 150 \text{ В.}$$

б) Варьирование E (24C):

N°	1	2	3	4	5	6	7	8
E, B	140,5	145,2	150,3	155,3	160,1	165,1	170,1	174,9
$T, \mu c$	100,0	80,5	64,3	56,0	48,5	43,5	40,5	37,0

$$R = 350 \text{ кОм}$$

$$C = 0,25 \text{ мкФ}$$

Период можно найти по формуле:

$$T = \tau_1 + \tau_2, \text{ где}$$

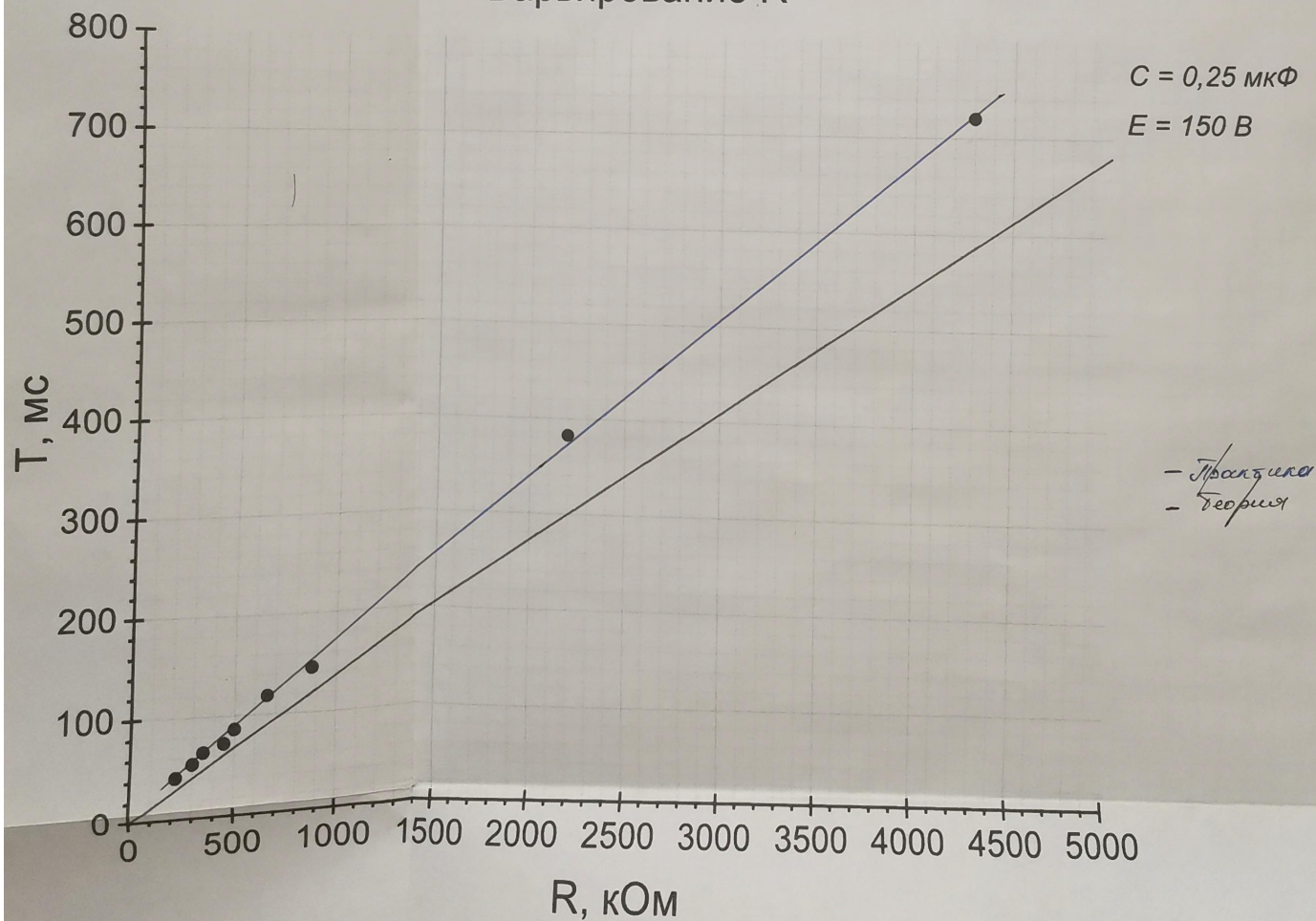
$$\tau_1 = RC \ln \frac{E - V_2}{E - V_3}, \text{ а}$$

$$\tau_2 = \rho C \ln \frac{(V_2 - V_0)R + (V_3 - E)R_0}{(V_2 - V_0)R + (V_2 - E)R_0}, \quad \frac{1}{\rho} = \frac{1}{R} + \frac{1}{R_0}$$

Избавимся, что $\tau_2 \ll \tau_1$:

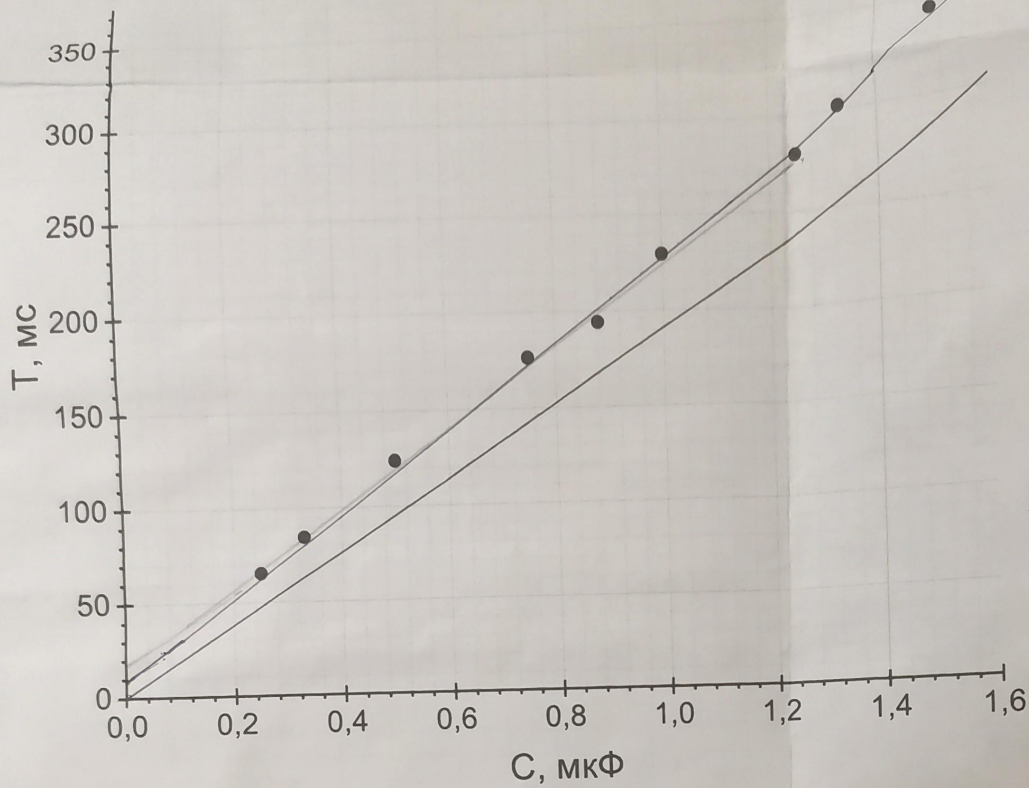
$$T \approx RC \ln \frac{E - V_2}{E - V_3}$$

Варьирование R



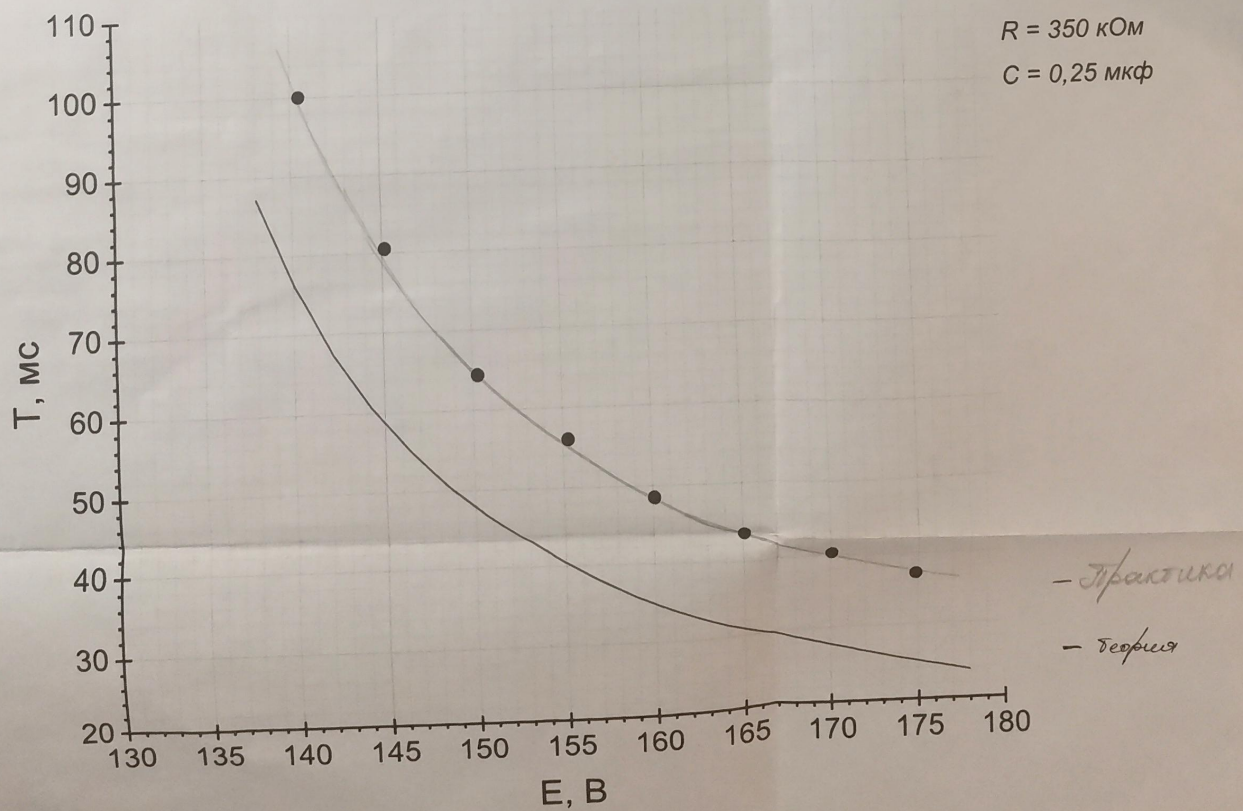
Варьирование C

$R = 350 \text{ кОм}$
 $E = 150 \text{ В}$



Варьирование E

$R = 350 \text{ кОм}$
 $C = 0,25 \text{ мкФ}$



2) Наблюдение осциллограммы напряжения на конденсаторе:

При зарядке зависимость напряжения от времени описывается уравнением:

$$U(t) = \mathcal{E} - (\mathcal{E} - V_2) \exp\left(-\frac{t}{RC}\right)$$

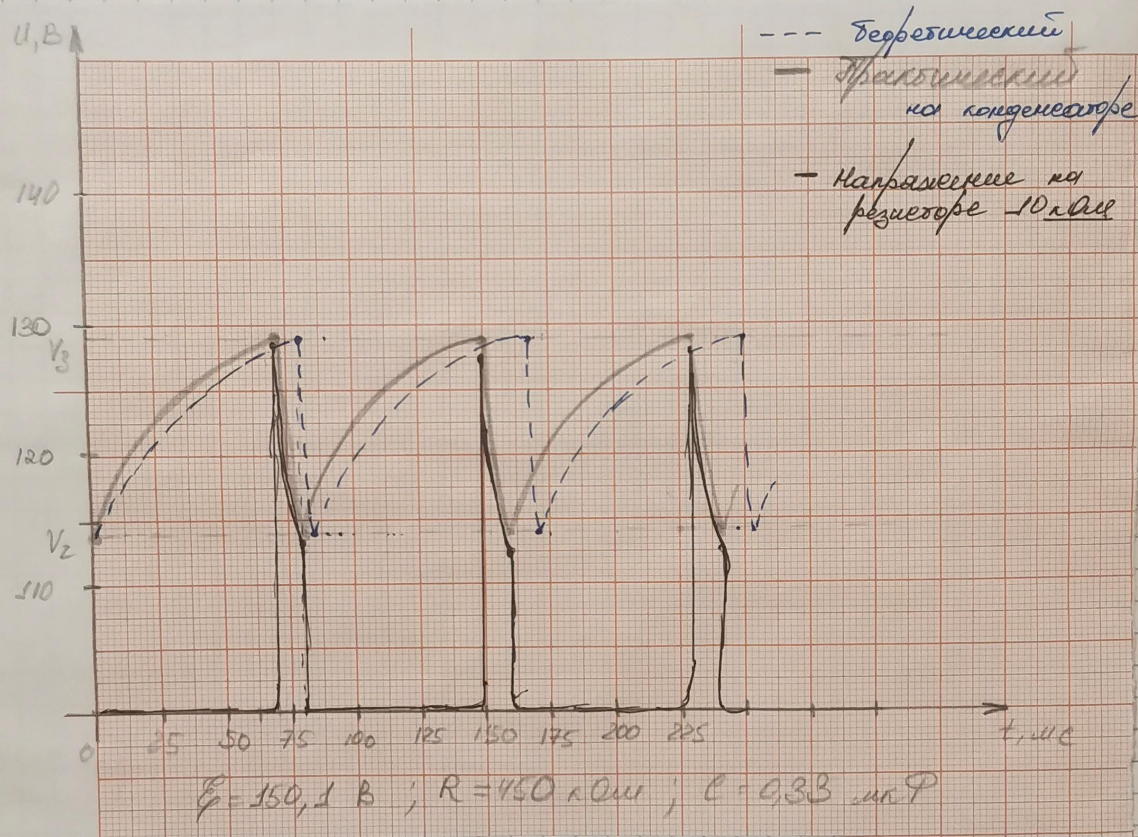
Напряжение при разряде убывает по закону:

$$U(t) = \rho \left(\frac{\mathcal{E}}{R} + \frac{V_0}{R_0} \right) + \left[V_3 - \rho \left(\frac{\mathcal{E}}{R} + \frac{V_0}{R_0} \right) \right] \exp\left(-\frac{t}{\rho C}\right)$$

$$\rho = \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R_0} \right)^{-1} \approx 5,49 \text{ кОм}$$

$$V_0 \approx 115,8 \text{ В} ; R_0 \approx 5,56 \text{ кОм} ; V_3 \approx 129,1 \text{ В} ; V_2 \approx 113,9 \text{ В}$$

$$R = 450 \text{ кОм} ; C = 0,33 \text{ мкФ} ; \mathcal{E} = 150,1 \text{ В}$$



Вывод: 1) Снята вольтамперная характеристика лампы с резистором. По результатам аппроксимации найдены координаты V_0 и R_0 .

$$V_0 \approx 115,8 \text{ В} ; R_0 \approx 5,56 \text{ кОм}$$

Найдены значения напряжений замыкания и зажигания лампы:

$$V_3 \approx (129,1 \pm 0,26) \text{ В}$$

$$V_2 \approx (113,9 \pm 0,17) \text{ В}$$

2) На графиках приведены зависимости $T(R)$, $T(C)$, $T(\mathcal{E})$.

Также на графиках указаны теоретические кривые.

3) С помощью осциллометра сравним, найдем на конденсаторе (практической и теоретической) - п. 2-2).

4) Расхождение в п. 2 теоретических и практических графиков связано с тем, что в теоретических вычислениях в $\tau(R)$, $\tau(C)$, $\tau(\xi)$ мы не учитывали ёмкость самой лампы.

Её можно учесть, например, по графику $\tau(C)$.

$$\tau \approx R(C + C_1) \cdot \ln \frac{\varphi - V_2}{\varphi - V_3} = RC \ln \frac{\varphi - V_2}{\varphi - V_3} + RC_1 \cdot \ln \frac{\varphi - V_2}{\varphi - V_3}$$

По графику:

$$RC_1 \cdot \ln \frac{\varphi - V_2}{\varphi - V_3} = 20 \text{ нс}$$

$$\Rightarrow C_1 \approx 0,094 \text{ нкФ.}$$

Если учесть C_1 в теоретических формулах, то графики будут очень близки.

10.12.21