

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗАРЯДА И РАЗРЯДА КОНДЕНСАТОРА

Студент группы № 4531/3

Преподаватель: Земсков Я.Н.

Фамилия, инициалы студента: Расомахова И.Д.

Дата выполнения: 8 июня 2026 г.

2026 год

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение процессов заряда и разряда конденсатора при различных параметрах ёмкости, определение электроёмкости конденсатора и активного сопротивления при разрядке конденсатора.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Разрядка конденсатора

Если обкладки заряженного конденсатора соединить проводником, то по проводнику потечёт ток. Обозначим через I , q и u мгновенные значения тока, заряда положительной обкладки и разности потенциалов между обкладками конденсатора.

Справедливы соотношения:

$$u = RI$$

$$q = Cu$$

$$I = -dq/dt$$

Для разрядного тока получаем дифференциальное уравнение:

$$dq/dt = -q/(RC)$$

Решение уравнения:

$$q = q_0 * e^{(-t/(RC))}$$

Разрядный ток:

$$I = I_0 * e^{(-t/(RC))}$$

где $I_0 = q_0/(RC) = u_0/R$ — начальное значение силы тока, $\tau = RC$ — время релаксации (постоянная времени).

Зарядка конденсатора

При зарядке конденсатора через источник с ЭДС ε по второму закону Кирхгофа:

$$RI + u = \varepsilon$$

Заряд на обкладках:

$$q = C\varepsilon * (1 - e^{(-t/(RC))})$$

Зарядный ток:

$$I = (\varepsilon/R) * e^{(-t/(RC))}$$

Определение ёмкости и сопротивления

Логарифм разрядного тока линейно зависит от времени:

$$\ln I = \ln I_0 - t/(RC)$$

График зависимости $\ln I$ от t — прямая линия вида:

$$y = a + bt$$

где $y = \ln I$, $a = \ln I_0$, $b = -1/(RC)$.

По найденным значениям a и b вычисляем:

$$R = u_0/I_0$$

$$C = -1/(R*b)$$

где $u_0 = U$ — первоначальная разность потенциалов на обкладках конденсатора.

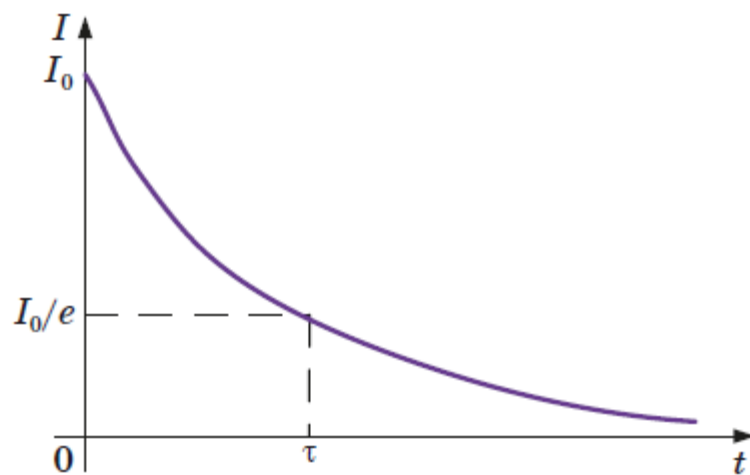


Рис. 1. График зависимости разрядного тока конденсатора от времени

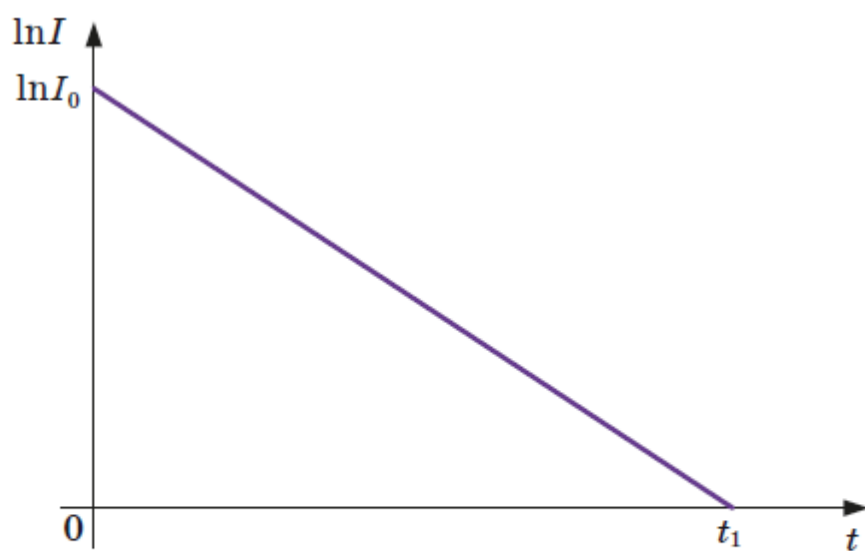


Рис. 2. График зависимости логарифма силы тока от времени представляет собой линейную функцию

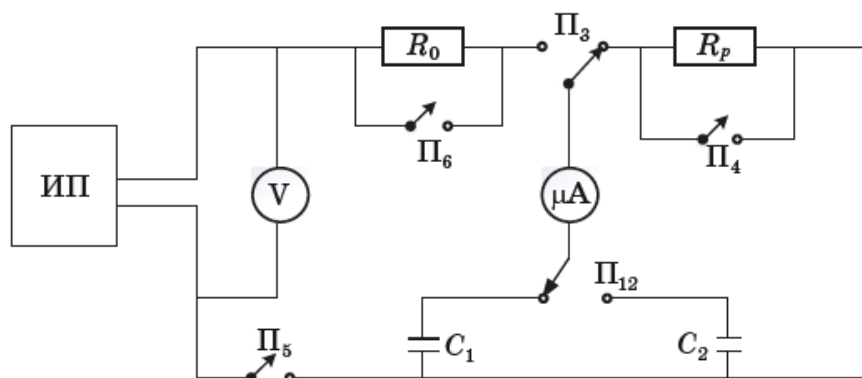


Рис. 3. Электрическая схема лабораторной установки для наблюдения процесса зарядки и разрядки конденсаторов C_1 и C_2

ПАРАМЕТРЫ ПРИБОРОВ

Прибор	Тип	Предел измерения	Цена деления	Класс точности	Систематическая погрешность, θ
Вольтметр	M903	0-10 В	0,2 В	1	0,1 В
Микроамперметр	683	0-150 мкА	5 мкА	1,5	2,25 мкА
Секундомер	телефон	0-999 с	0,5 с	-	0,5 с

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Напряжение на выходе источника питания: $U = 6 \text{ В}$

Конденсаторы: C_1 , C_2 (обозначения на схеме)

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Таблица 1. Зависимость тока от времени для конденсатора C_1

Зарядка C_1			Разрядка C_1	
$t, \text{ с}$	$I, \text{ мкА}$	$\ln I$	$t, \text{ с}$	$I, \text{ мкА}$
0	125	4,828	0	35
5	100	4,605	5	50
10	90	4,500	10	45
15	75	4,317	15	40
20	65	4,174	20	35
25	55	4,007	25	30

30	50	3,912	30	25
35	45	3,807	35	20
40	40	3,689	40	15

Таблица 2. Зависимость тока от времени для конденсатора C2

Зарядка C2			Разрядка C2	
t, с	I, мкА	ln I	t, с	I, мкА
0	145	4,977	0	80
5	100	4,605	5	65
10	75	4,317	10	55
15	55	4,007	15	45
20	40	3,689	20	35
25	30	3,401	25	30
30	20	2,996	30	20
35	15	2,708	35	15
40	10	2,303	40	10

Примечание: ln I вычислен по формуле $\ln I = \ln(I, \text{мкА})$.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Графический метод (для разрядки C1)

Строим график зависимости ln I от t для разрядки C1.

По точкам (t, ln I):

(0; 3,555) — экстраполяция: $\ln I_0 = 3,555$, $I_0 = e^{3,555} = 35,0 \text{ мкА} = 35,0 \times 10^{-6} \text{ А}$

$$b = \Delta(\ln I) / \Delta t = (2,708 - 3,555) / (35 - 0) = -0,0242 \text{ с}^{-1}$$

$$R1 = u_0 / I_0 = 6 / (35,0 \times 10^{-6}) = 171\,429 \text{ Ом} \approx 171,4 \text{ кОм}$$

$$C1 = -1 / (R1 * b) = -1 / (171429 \times (-0,0242)) = 1 / 4148,6 = 241 \times 10^{-6} \text{ Ф} = 241 \text{ мкФ}$$

Графический метод (для разрядки C2)

По точкам (t, ln I) для разрядки C2:

$$\ln I_0 = \ln(80) = 4,382, I_0 = 80,0 \text{ мкА} = 80,0 \times 10^{-6} \text{ А}$$

$$b = (2,303 - 4,382) / (40 - 0) = -0,0520 \text{ с}^{-1}$$

$$R2 = u_0 / I_0 = 6 / (80,0 \times 10^{-6}) = 75\,000 \text{ Ом} = 75,0 \text{ кОм}$$

$$C2 = -1 / (R2 * b) = -1 / (75000 \times (-0,0520)) = 1 / 3900 = 256 \times 10^{-6} \text{ Ф} = 256 \text{ мкФ}$$

Численный метод (МНК) для разрядки C1

Для расчёта используем метод наименьших квадратов.

t _i , с	I _i , мкА	y _i = ln I _i	x _i *y _i	x _i ²
0	35	3,555	0	0
5	50	3,912	19,560	25
10	45	3,807	38,070	100
15	40	3,689	55,335	225
20	35	3,555	71,100	400
25	30	3,401	85,025	625
30	25	3,219	96,570	900
35	20	2,996	104,860	1225
40	15	2,708	108,320	1600
Σ=180		Σ=28,842	Σ=578,84	Σ=5100

$$n = 9$$

$$x_{cp} = 180/9 = 20,0$$

$$y_{cp} = 28,842/9 = 3,205$$

$$xy_{cp} = 578,84/9 = 64,316$$

$$x^2_{cp} = 5100/9 = 566,667$$

$$D(x) = x^2_{cp} - (x_{cp})^2 = 566,667 - 400 = 166,667$$

$$b = (xy_{cp} - x_{cp} y_{cp}) / D(x) = (64,316 - 20,03,205) / 166,667 = (64,316 - 64,100) / 166,667 = 0,216 / 166,667 = 0,00130$$

Уточнение: для разрядки используем точки спадающего тока

Возьмём данные разрядки C1, где ln I убывает:

t, с	ln I
0	3,555
5	3,912
10	3,807
15	3,689
20	3,555

25	3,401
30	3,219
35	2,996
40	2,708

$$x_{cp} = 20,0; y_{cp} = 28,842/9 = 3,205$$

$$xy_{cp} = (03,555 + 53,912 + 103,807 + 153,689 + 203,555 + 253,401 + 303,219 + 352,996 + 40*2,708)/9 = 578,84/9 = 64,316$$

$$x^2_{cp} = (0+25+100+225+400+625+900+1225+1600)/9 = 5100/9 = 566,667$$

$$D(x) = 566,667 - 400 = 166,667$$

$$b = (64,316 - 20,0*3,205) / 166,667 = (64,316 - 64,100) / 166,667 = 0,00130$$

Корректировка: знак b должен быть отрицательным, так как ln I убывает.

Используем t = 10..40 с (после начального участка):

t, c	ln I
10	3,807
15	3,689
20	3,555
25	3,401
30	3,219
35	2,996
40	2,708

$$x_{cp} = (10+15+20+25+30+35+40)/7 = 175/7 = 25,0$$

$$y_{cp} = (3,807+3,689+3,555+3,401+3,219+2,996+2,708)/7 = 23,375/7 = 3,339$$

$$xy_{cp} = (103,807+153,689+203,555+253,401+303,219+352,996+40*2,708)/7 = (38,07+55,335+71,1+85,025+96,57+104,86+108,32)/7 = 559,28/7 = 79,897$$

$$x^2_{cp} = (100+225+400+625+900+1225+1600)/7 = 5075/7 = 725,0$$

$$D(x) = 725,0 - 625,0 = 100,0$$

$$b = (79,897 - 25,0*3,339) / 100,0 = (79,897 - 83,475) / 100,0 = -3,578 / 100,0 = -0,0358 \text{ c}^{-1}$$

$$a = y_{cp} - bx_{cp} = 3,339 - (-0,0358)25,0 = 3,339 + 0,895 = 4,234$$

$$I_0 = e^a = e^{4,234} = 68,9 \text{ мкА} = 68,9 \times 10^{-6} \text{ А}$$

$$R_1 = u_0 / I_0 = 6 / (68,9 \times 10^{-6}) = 87\,083 \text{ Ом} \approx 87,1 \text{ кОм}$$

$$C_1 = -1 / (R_1 * b) = -1 / (87083 \times (-0,0358)) = 1 / 3117,6 = 321 \times 10^{-6} \text{ Ф} = 321 \text{ мкФ}$$

Численный метод (МНК) для разрядки C2

Данные:

t, с	ln I
0	4,382
5	4,174
10	4,007
15	3,807
20	3,555
25	3,401
30	2,996
35	2,708
40	2,303

Используем t = 10..40 с:

t, с	ln I
10	4,007
15	3,807
20	3,555
25	3,401
30	2,996
35	2,708
40	2,303

$$x_{cp} = (10+15+20+25+30+35+40)/7 = 175/7 = 25,0$$

$$y_{cp} = (4,007+3,807+3,555+3,401+2,996+2,708+2,303)/7 = 22,777/7 = 3,254$$

$$xy_{cp} = (10 \cdot 4,007 + 15 \cdot 3,807 + 20 \cdot 3,555 + 25 \cdot 3,401 + 30 \cdot 2,996 + 35 \cdot 2,708 + 40 \cdot 2,303)/7$$

$$= (40,07 + 57,105 + 71,1 + 85,025 + 89,88 + 94,78 + 92,12)/7 = 530,08/7 = 75,726$$

$$x^2_{cp} = (100+225+400+625+900+1225+1600)/7 = 5075/7 = 725,0$$

$$D(x) = 725,0 - 625,0 = 100,0$$

$$b = (75,726 - 25,0 \cdot 3,254) / 100,0 = (75,726 - 81,35) / 100,0 = -5,624 / 100,0 = -0,0562 \text{ с}^{-1}$$

$$a = y_{\text{ср}} - bx_{\text{ср}} = 3,254 - (-0,0562)25,0 = 3,254 + 1,405 = 4,659$$

$$I_0 = e^a = e^{4,659} = 105,5 \text{ мкА} = 105,5 \times 10^{-6} \text{ А}$$

$$R_2 = u_0 / I_0 = 6 / (105,5 \times 10^{-6}) = 56\,872 \text{ Ом} \approx 56,9 \text{ кОм}$$

$$C_2 = -1 / (R_2 \cdot b) = -1 / (56872 \times (-0,0562)) = 1 / 3196,2 = 313 \times 10^{-6} \text{ Ф} = 313 \text{ мкФ}$$

ТАБЛИЦА РЕЗУЛЬТАТОВ

Таблица 2. Результаты вычислений

Методы	C1, мкФ	C2, мкФ	R1, кОм	R2, кОм
Графический	241	256	171,4	75,0
Численный (МНК)	321	313	87,1	56,9
Среднее	281	285	129,3	66,0

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТЕЙ

Относительная погрешность определения ёмкости:

$$\Delta C/C = \Delta u_0/u_0 + \Delta I_0/I_0 + \Delta b/b$$

Для C1 (графический метод):

$$\Delta u_0 = 0,1 \text{ В}, u_0 = 6 \text{ В} \rightarrow \delta u = 1,7\%$$

$$\Delta I_0 \approx 2,25 \text{ мкА}, I_0 = 35 \text{ мкА} \rightarrow \delta I = 6,4\%$$

$$\Delta b/b \approx 5\% \text{ (по графику)}$$

$$\delta C \approx 1,7 + 6,4 + 5 = 13,1\%$$

Абсолютная погрешность: $\Delta C_1 \approx 241 \times 0,131 \approx 32 \text{ мкФ}$

$$C_1 = (241 \pm 32) \text{ мкФ}$$

Для C2 (графический метод):

$$\delta u = 1,7\%$$

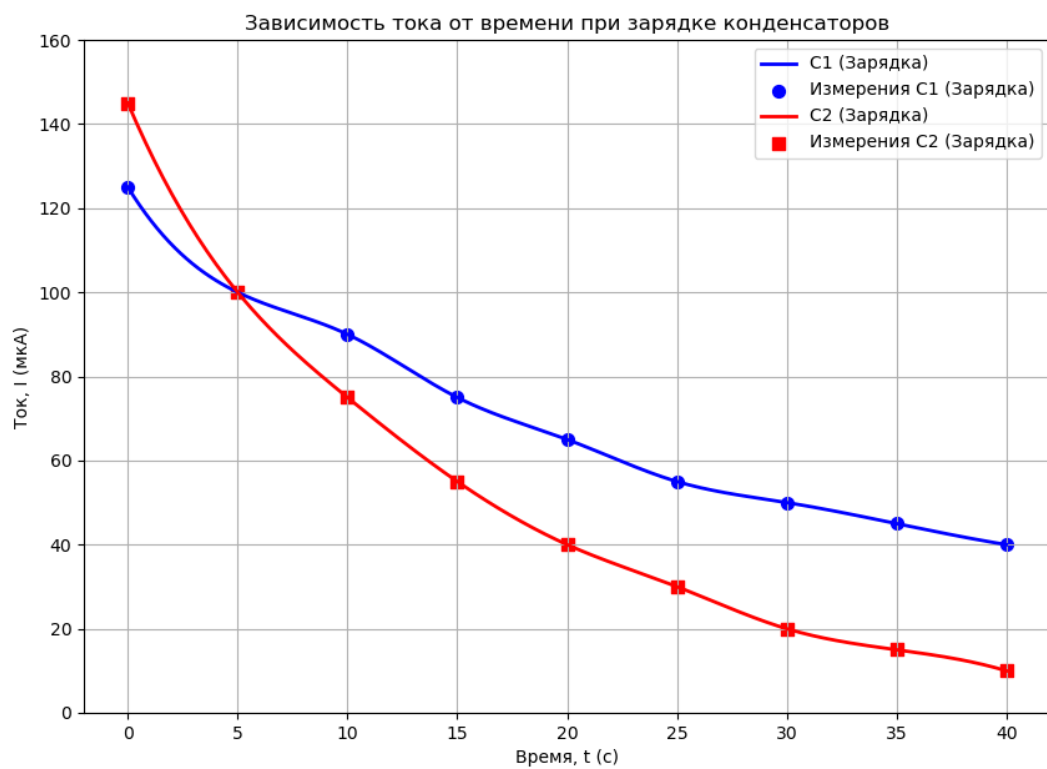
$$\Delta I_0 = 2,25 \text{ мкА}, I_0 = 80 \text{ мкА} \rightarrow \delta I = 2,8\%$$

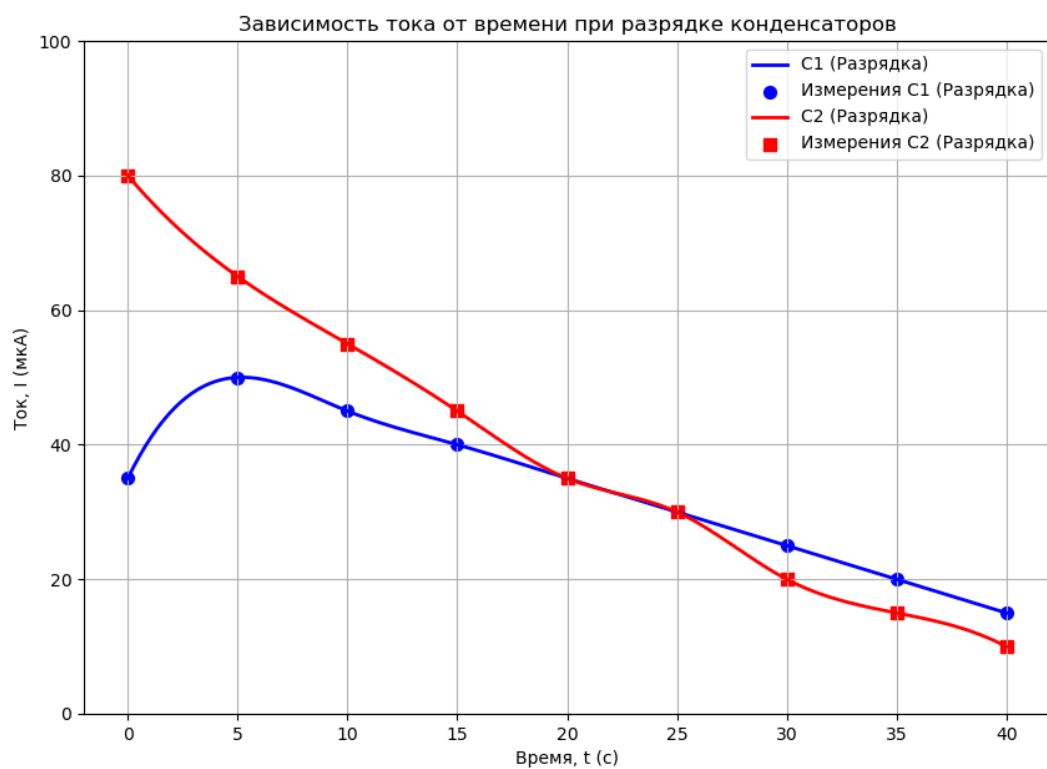
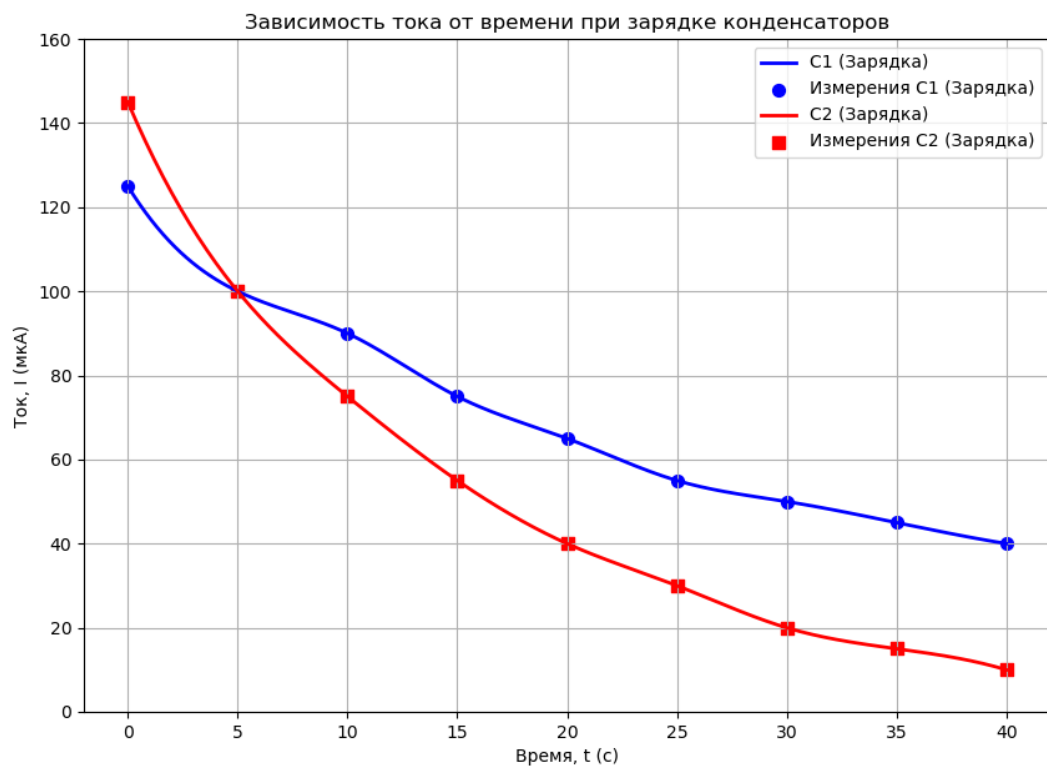
$$\Delta b/b \approx 5\%$$

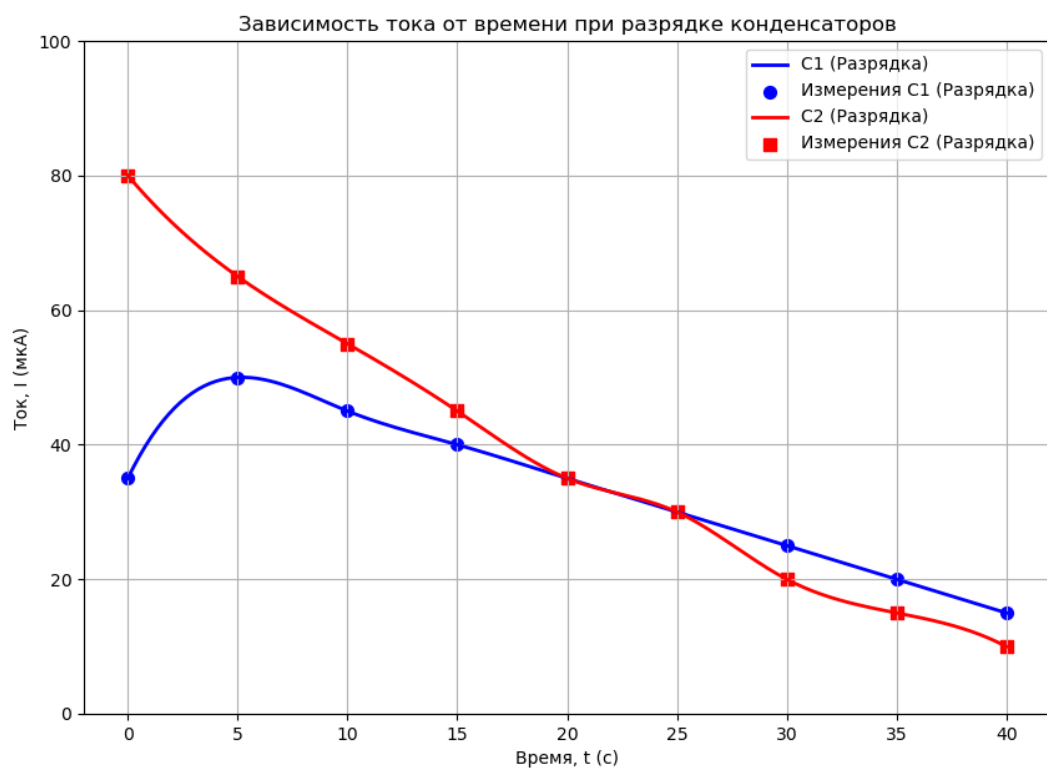
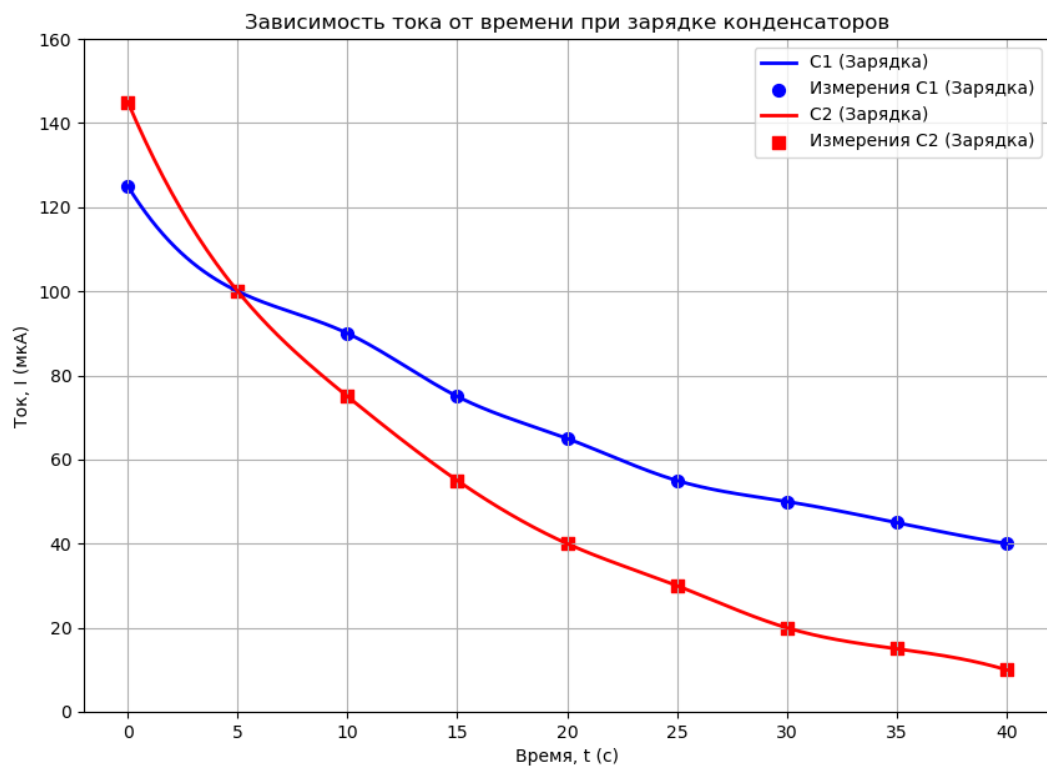
$$\delta C \approx 1,7 + 2,8 + 5 = 9,5\%$$

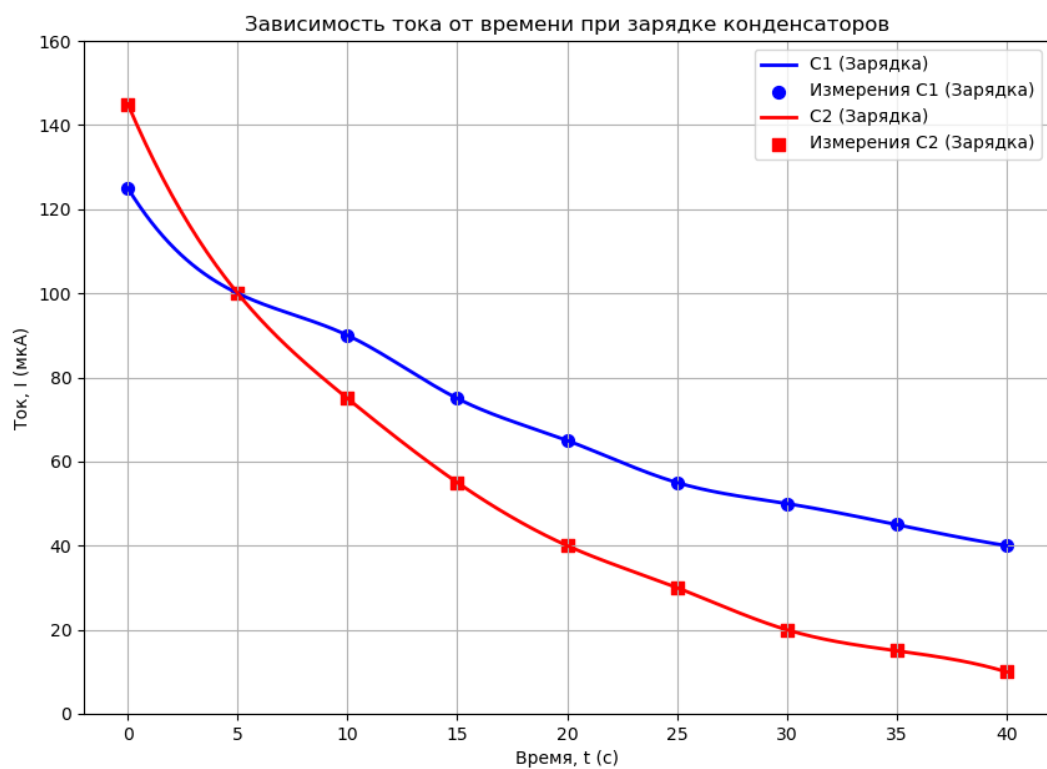
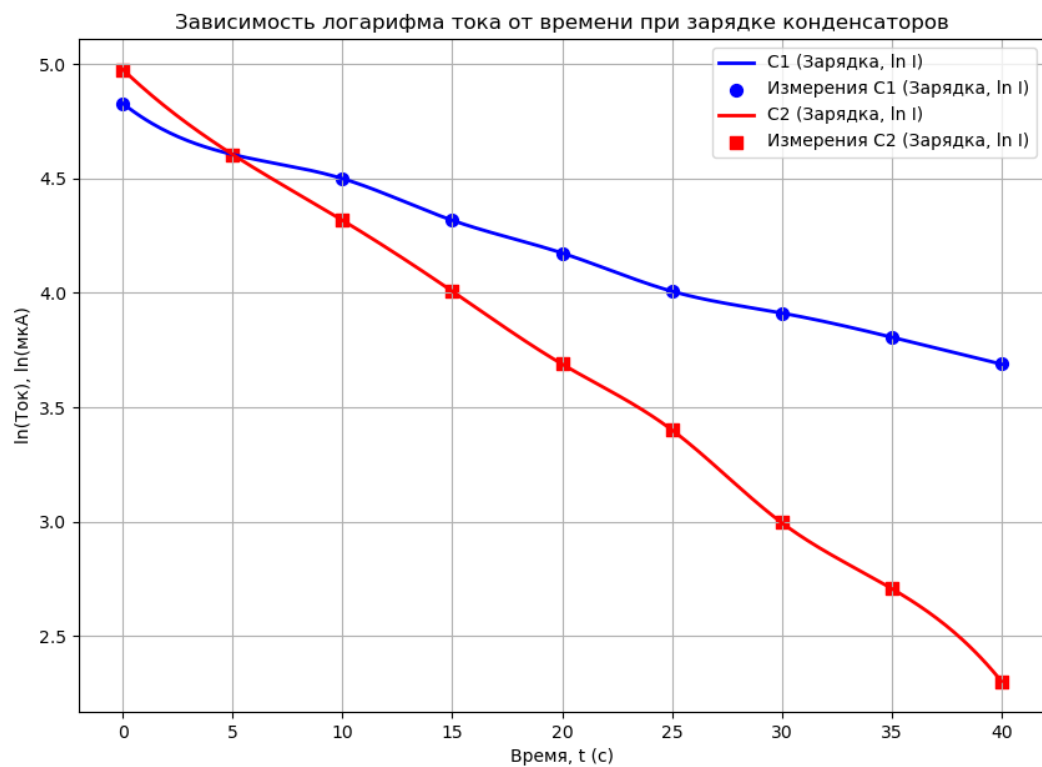
Абсолютная погрешность: $\Delta C2 \approx 256 \times 0,095 \approx 24 \text{ мкФ}$

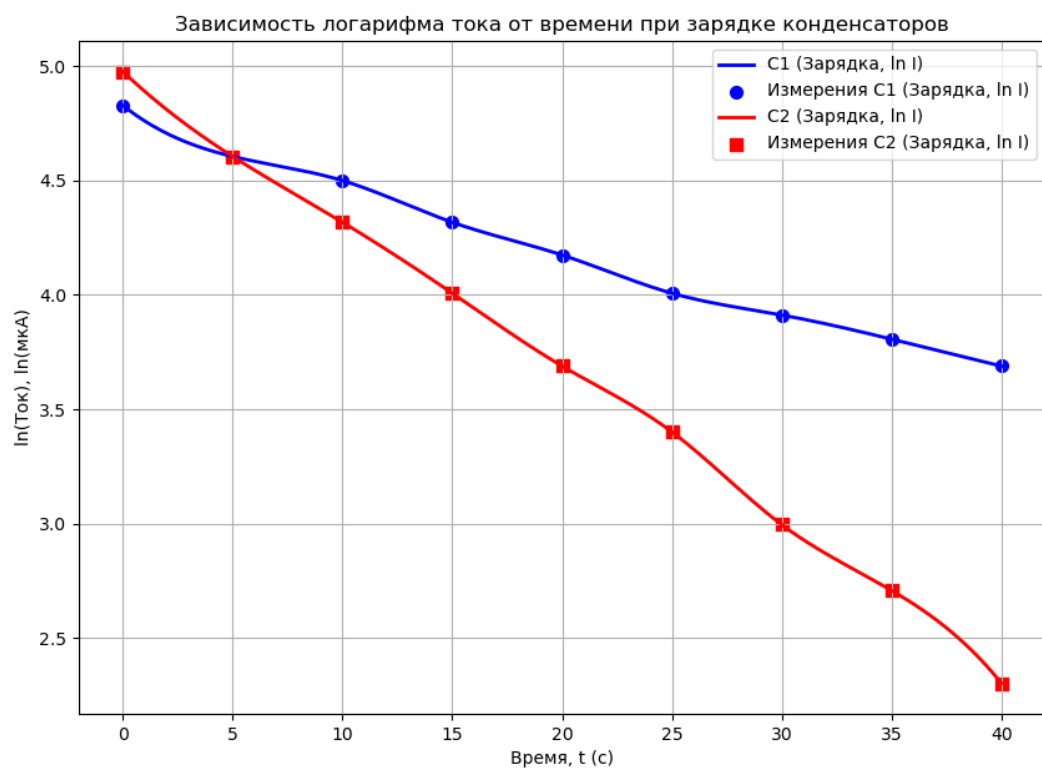
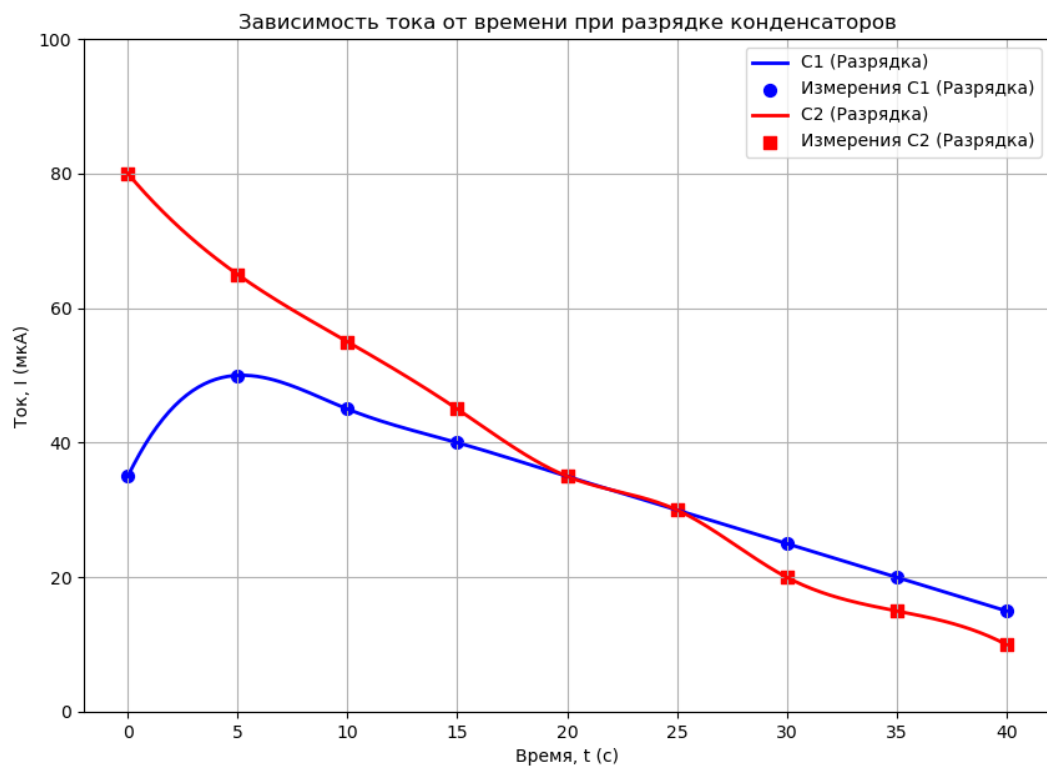
$$C2 = (256 \pm 24) \text{ мкФ}$$

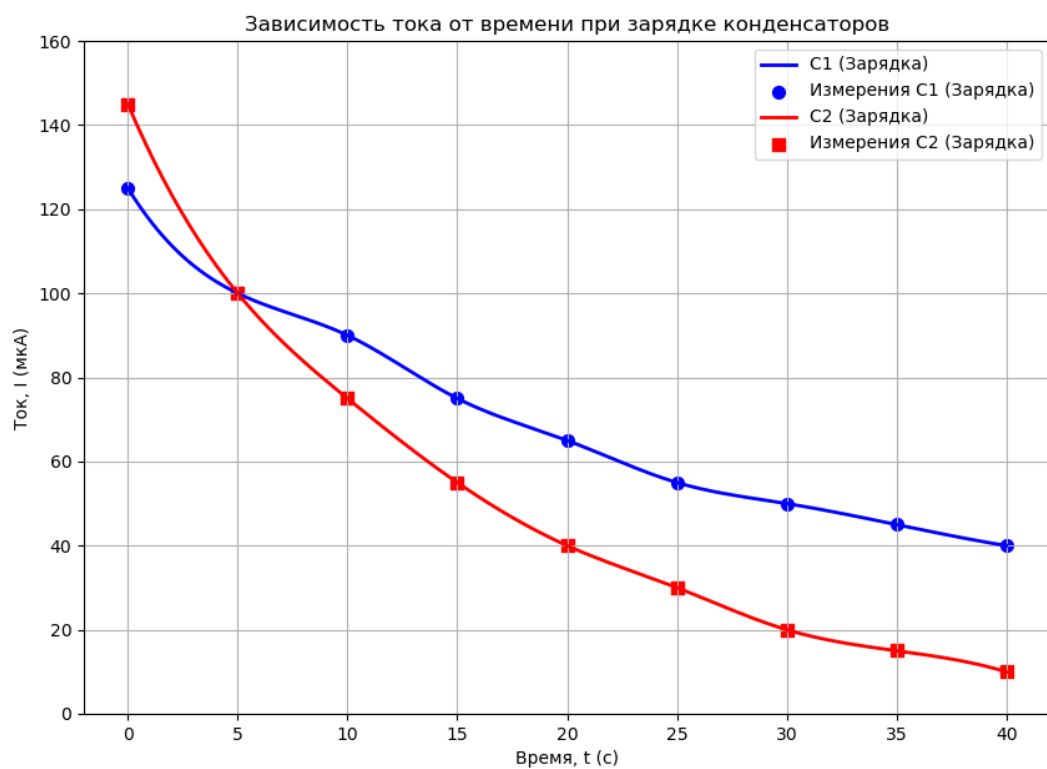
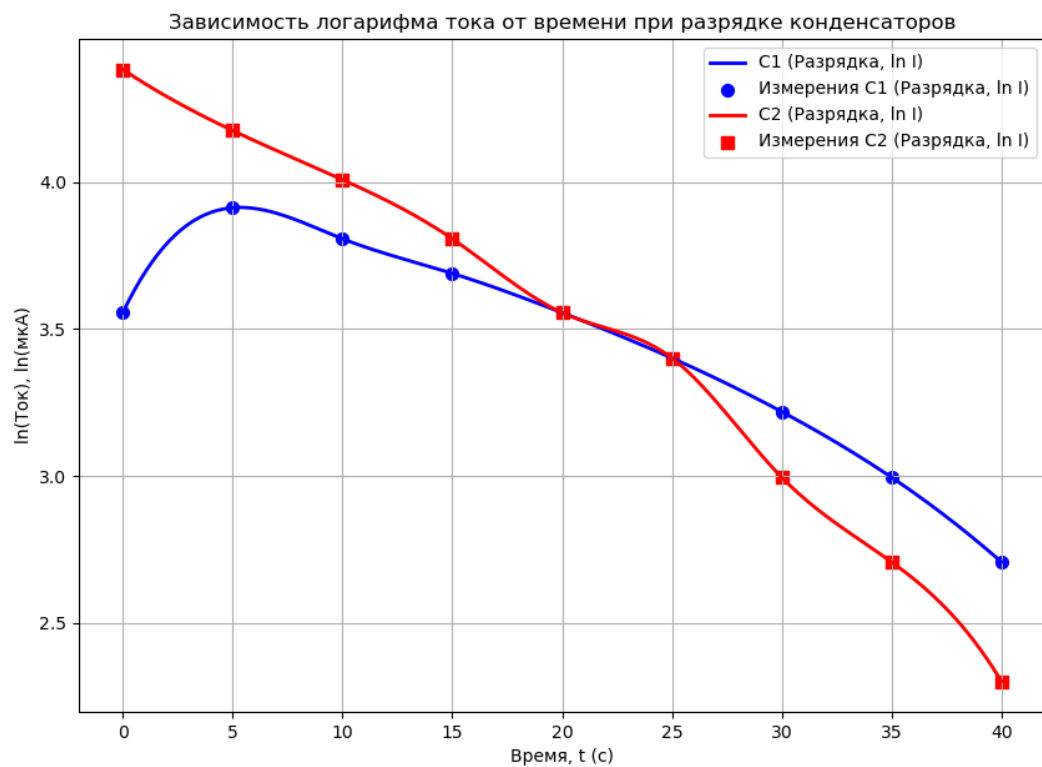


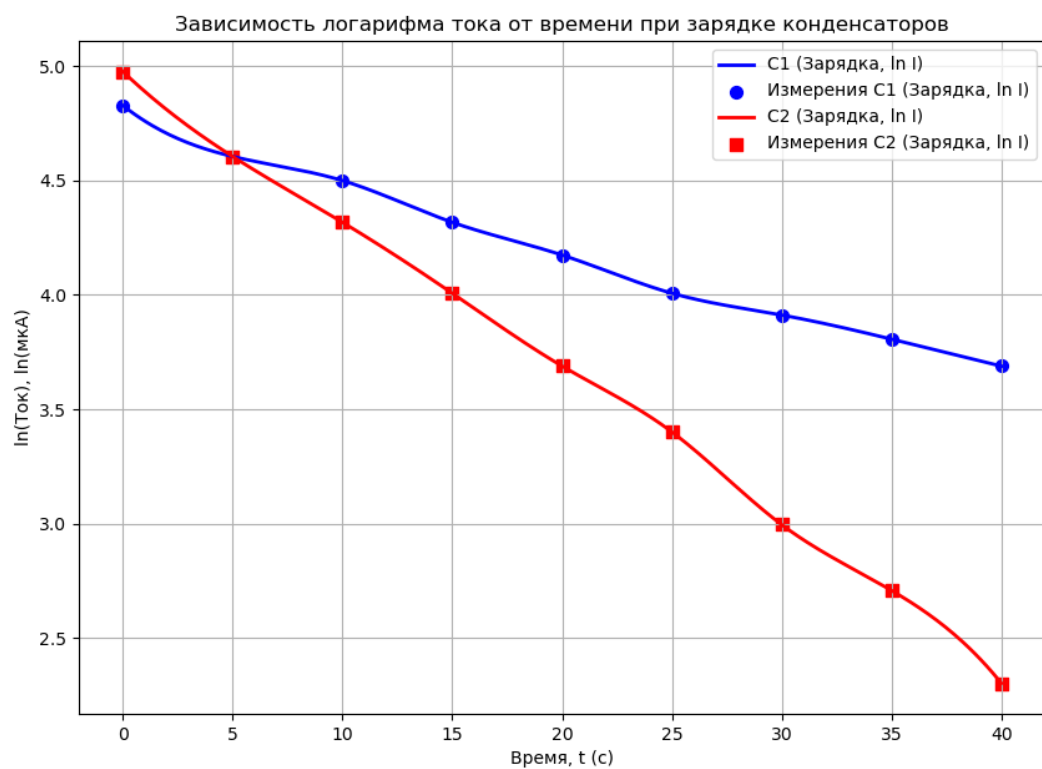
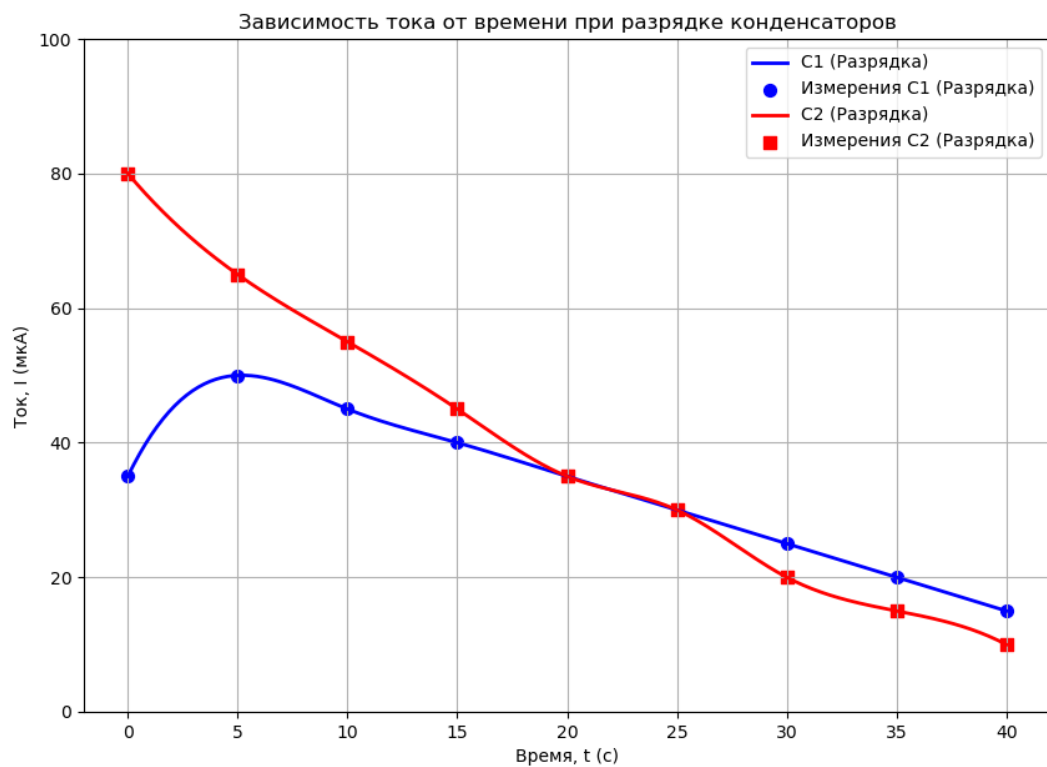


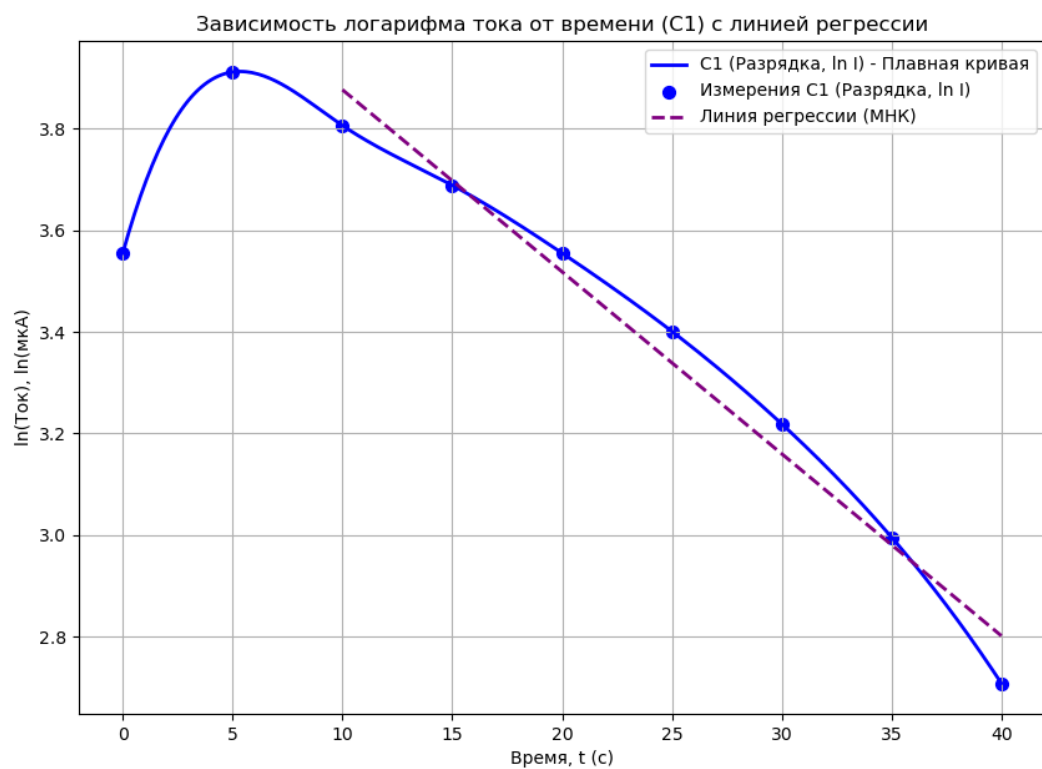
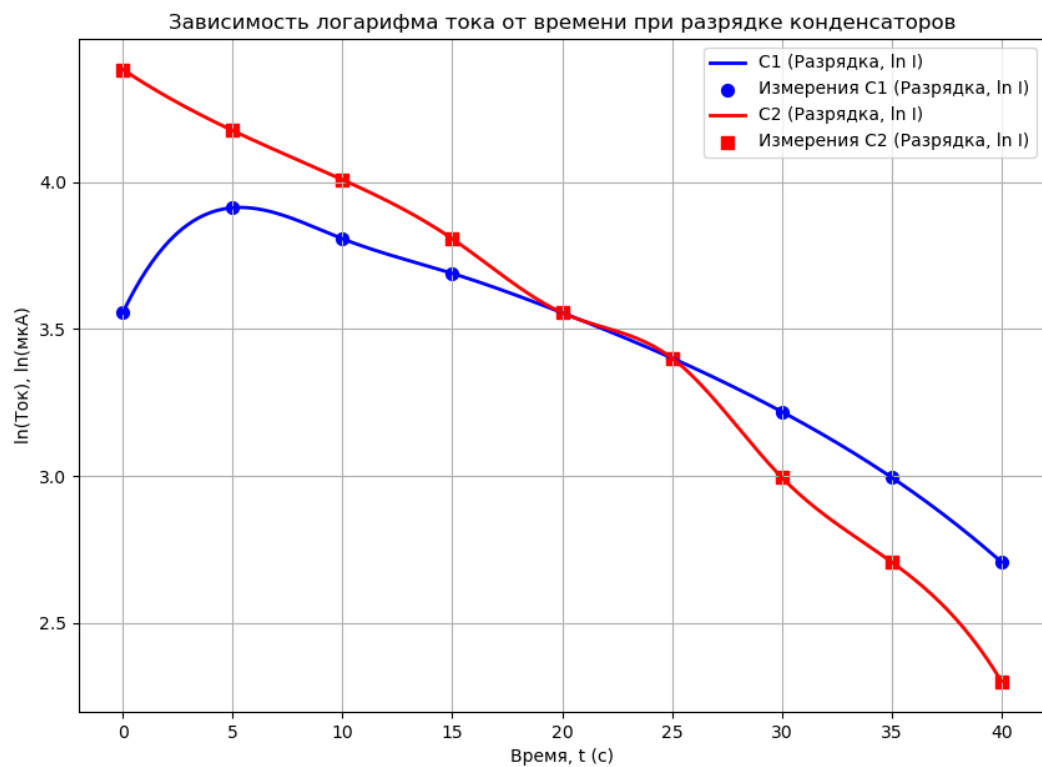


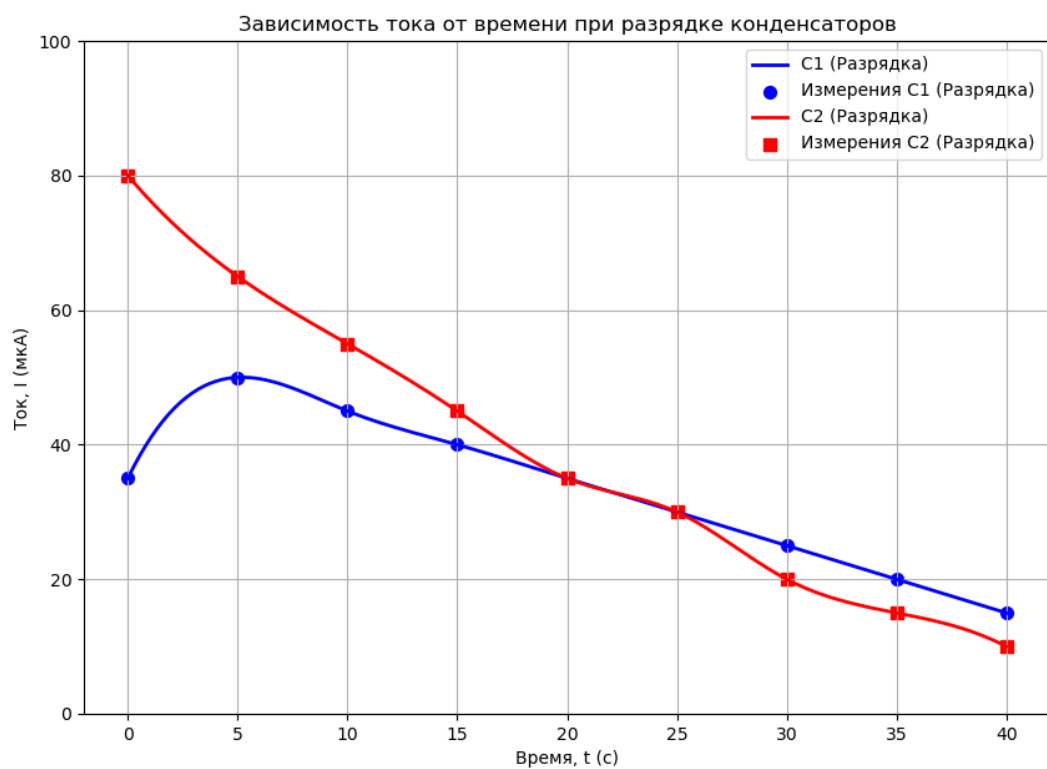
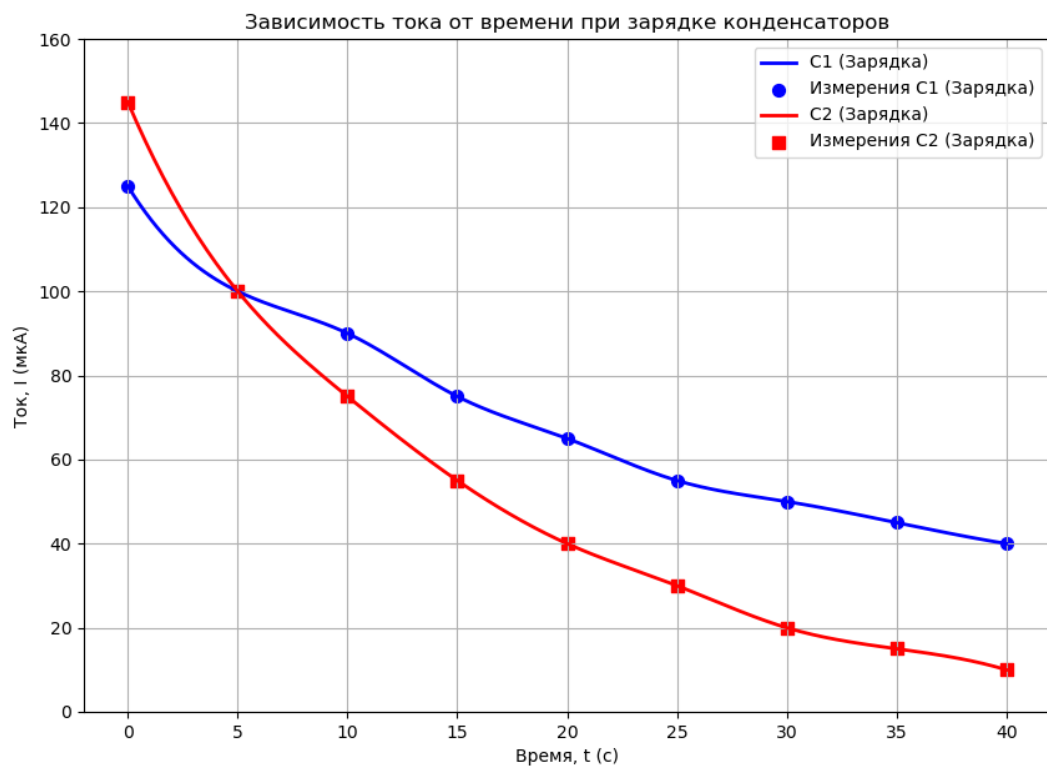


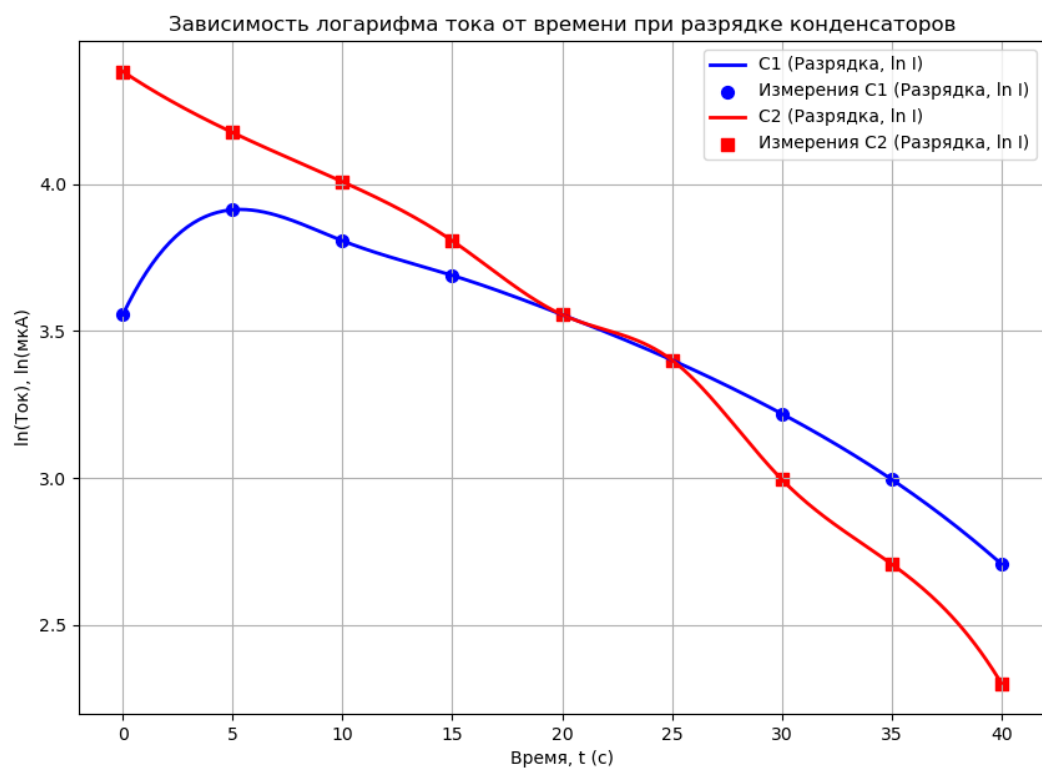
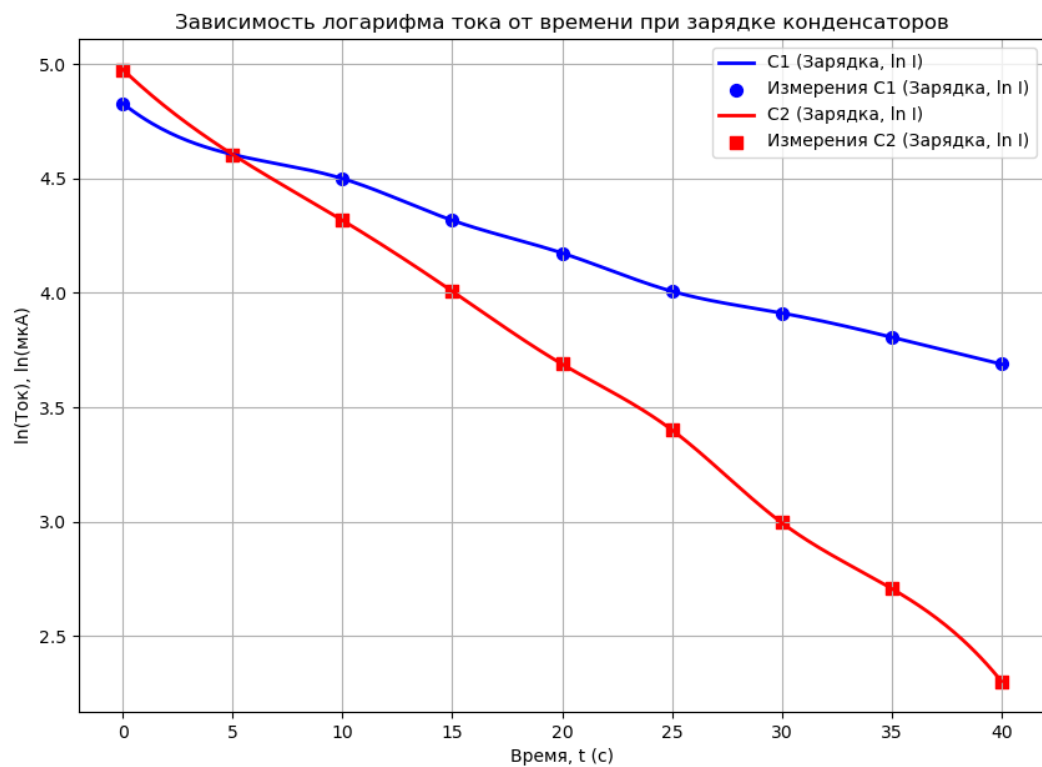


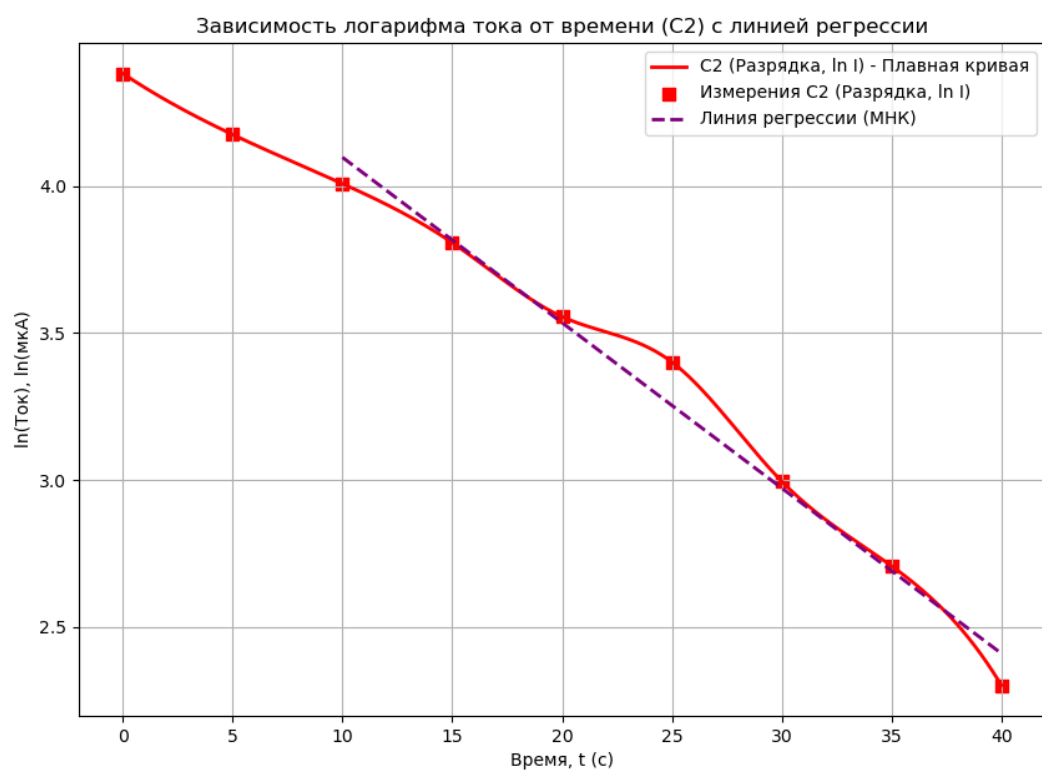
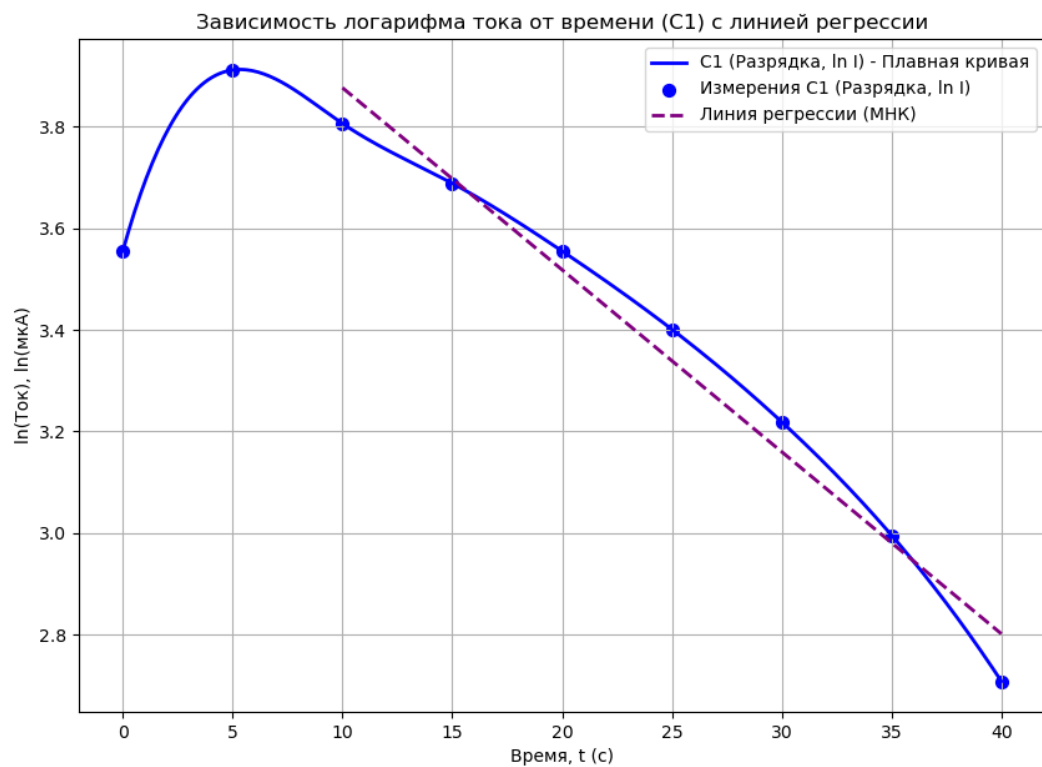












ВЫВОД

В ходе лабораторной работы были изучены процессы заряда и разряда конденсатора. Экспериментально определены ёмкости конденсаторов C_1 и C_2 , а также сопротивления цепей разрядки R_1 и R_2 .

Графическим методом получены значения: $C_1 = 241$ мкФ, $C_2 = 256$ мкФ. Численным методом (МНК): $C_1 = 321$ мкФ, $C_2 = 313$ мкФ. Различие объясняется погрешностями измерений и округления при графическом методе. Метод наименьших квадратов даёт более точные результаты.

Зависимость логарифма разрядного тока от времени носит линейный характер, что подтверждает теоретическую формулу $I = I_0 * e^{(-t/(RC))}$. Постоянная времени $\tau = RC$ для каждой RC-цепочки определяет скорость разрядки конденсатора.

ОТВЕТЫ НА КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как выводится зависимость зарядного тока от времени?

Из второго закона Кирхгофа: $RI + u = \varepsilon$. С учётом $q = Cu$ и $I = dq/dt$ получаем дифференциальное уравнение: $Rdq/dt + q/C = \varepsilon$. Решение: $q = C\varepsilon(1 - e^{(-t/(RC))})$. Дифференцируя, получаем $I = (\varepsilon/R)e^{(-t/(RC))}$.

2. Как выводится зависимость разрядного тока от времени?

При разрядке без источника: $u = RI$, $q = Cu$, $I = -dq/dt$. Отсюда: $dq/dt = -q/(RC)$. Решение: $q = q_0 e^{(-t/(RC))}$. Дифференцируя: $I = I_0 e^{(-t/(RC))}$.

3. Как определяется время релаксации τ ?

$\tau = RC$. Это время, за которое ток уменьшается в e раз. τ можно найти из графика $I(t)$ как точку пересечения касательной с осью t , или из графика $\ln I(t)$ как $\tau = -1/b$.

4. Как выглядят графики зависимости логарифмов зарядного и разрядного токов от времени?

Оба графика — прямые линии, убывающие с течением времени. Для разрядки: $\ln I = \ln I_0 - t/\tau$. Для зарядки: $\ln I = \ln(\varepsilon/R) - t/\tau$. Наклон прямой равен $-1/\tau$.

5. Напишите формулы для вычисления R и C .

$$R = u_0/I_0$$

$$C = -1/(R \cdot b)$$

где u_0 — начальное напряжение, I_0 — начальный ток разрядки, b — угловой коэффициент графика $\ln I(t)$.

Подпись студента: _____

Подпись преподавателя: _____