

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования

Санкт-Петербургский горный университет

Отчет по лабораторной работе № 3

По дисциплине: Физика
(наименование учебной дисциплины согласно учебному плану)

Тема: Исследование процессов заряда и разряда конденсатора

Автор: студент гр. ИГУ-22-2 _____ /
(группа) (подпись) (Ф.И.О.)

Проверил: _____ / _____ /
(должность) (подпись) (Ф.И.О.)

Санкт-Петербург

2023

1. Цель работы

1 Экспериментальная проверка экспоненциального характера процессов заряда и разряда конденсатора.

2 Экспериментальное определение постоянной времени RC-цепи.

2. Краткое теоретическое содержание

Явление, изучаемое в работе. Электроёмкость.

Определения основных физических понятий, объектов, процессов и величин.

Коэффициент пропорциональности, равный отношению накопленного на проводнике заряда к его потенциалу, называется *электроёмкостью (ёмкостью)* проводника. Электроёмкость характеризует способность проводников накапливать электрический заряд.

Конденсатором называется система из двух изолированных друг от друга проводников, которые называют пластинами (обкладками), хотя они могут иметь любую форму. Пространство между пластинами может быть заполнено диэлектриком.

Ёмкостью конденсатора называется величина:

$$C = \frac{q}{U} \quad (1)$$

где U – разность потенциалов между обкладками конденсатора, $[U] = \text{В}$.

Простейшим конденсатором является *плоский конденсатор*, состоящий из двух плоскопараллельных металлических пластин, линейные размеры которых много больше расстояния между ними.

Конденсаторы могут быть воздушными (вакуумными), бумажными, слюдяными, керамическими, фторопластовыми (тефлоновыми), сегнетоэлектрическими.

Конденсатор накапливает электрические заряды — *заряжается*. Накопление зарядов происходит в том случае, если конденсатор подключить к источнику электрической энергии.

При *разряде* конденсатора «лишние» электроны с левой пластины переместятся по проводам к правой пластине, где их недостает, и когда количество электронов на пластинах конденсатора станет одинаковым, процесс разряда закончится и ток в проводах исчезнет.

Законы и соотношения, использованные при выводе итоговой формулы

1. Второе правило Кирхгофа

$$RI + U_c = U_0 \quad (2)$$

где I – мгновенное значение силы тока в цепи, $[I] = \text{Ом}$, U_c – мгновенное значение напряжения на конденсаторе, $[U_c] = \text{В}$.

2. Определение переменного тока

$$I = \frac{dq}{dt} \quad (3)$$

где q – заряд конденсатора, $[q] = \text{Кл}$; t – время с момента начала заряда, $[t] = \text{с}$.

3. Закон Ома

$$I = \frac{U}{R} \quad (4)$$

где U – приложенное напряжение, $[U] = \text{В}$, R – сопротивление проводника, $[R] = \text{Ом}$

Схема лабораторной установки

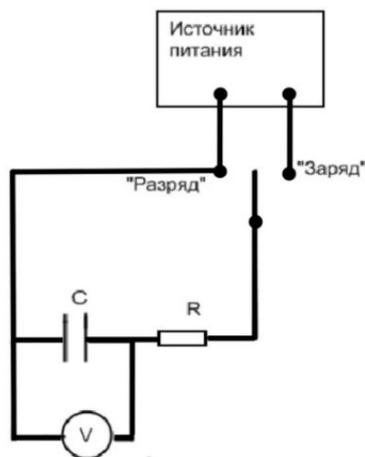


Рисунок 1. Электрическая схема лабораторной установки

Основные расчётные формулы

1. Теоретическое значение напряжения на конденсаторе при заряде, В

$$U_c = U_0 * \left(1 - \exp\left(\frac{-t}{RC}\right)\right) \quad (5)$$

где U_0 - ЭДС источника, $[U_0] = \text{В}$; t - время, $[t] = \text{с}$; R - сопротивление цепи, $[R] = \text{Ом}$; C - ёмкость конденсатора, $[C] = \text{Ф}$.

2. Теоретическое значение емкости конденсатора при разряде, В

$$U_c = U_0 * \exp\left(\frac{-t}{RC}\right) \quad (6)$$

3. Постоянная времени, полученная теоретически и экспериментально, с:

$$\tau_{\text{теор}} = RC \quad (7)$$

$$\tau_{\text{эксп}} = ctg\alpha = \frac{\Delta t}{\Delta \ln\left(\frac{U_0}{U_c}\right)} \quad (8)$$

Формулы погрешностей косвенных измерений

1. Погрешность напряжения при разряде, В

$$\Delta U_c = U_c \left(\frac{\Delta U_0}{U_0} + \frac{\exp(\Delta t)}{\exp(t)} \right) \quad (9)$$

2. Погрешность напряжения при заряде, В

$$\Delta U_c = U_c \left(2 \frac{\Delta U_0}{U_0} + \frac{\exp(\Delta t)}{\exp(t)} \right) \quad (10)$$

Погрешности прямых измерений

$$\Delta t = 0,01 \text{ с}$$

$$\Delta U = 0,01 \text{ В}$$

$$\Delta I = 0,1 \text{ А}$$

Исходные данные

$$C_1 = 470 \text{ мкФ} = 470 * 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$R_1 = 100 \text{ кОм} = 100 * 10^3 \text{ Ом}$$

$$C_2 = 470 \text{ мкФ} = 470 * 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$R_2 = 1 \text{ МОм} = 1 * 10^6 \text{ Ом}$$

$$C_3 = 22 \text{ мкФ} = 22 * 10^{-6} \text{ Ф}$$

$$R_3 = 1 \text{ МОм} = 1 * 10^6 \text{ Ом}$$

$$U_0 = 12,1 \text{ В}$$

Таблица результатов измерений

Опыт 1 - Заряд

Таблица 1.1 - Заряд

<i>t</i>	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
<i>U_c</i>	0,0	1,1	5,6	7,1	7,8	8,5	9,1	9,5	10,0	10,4	10,6	10,8	11,0
	0	1	2	1	9	7	0	4	6	0	3	5	2
<i>U_{теор}</i>	0,0	1,2	2,3	3,2	4,1	4,9	5,6	6,3					
	0	1	0	8	6	5	7	1	6,88	7,40	7,86	8,28	8,66
<i>lnΔ</i>	2,4	2,4	1,8	1,6	1,4	1,2	1,1	0,9					
<i>U</i>	9	0	7	1	4	6	0	4	0,71	0,53	0,39	0,22	0,08

Таблица 1.2 – Заряд

<i>t</i>	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
<i>U_c</i>	11,2	11,4	11,5	11,6	11,7	11,7	11,8	11,8	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9
	5	2	5	5	3	9	4	7	1	4	5	7	8
<i>U_{теор}</i>			10,2	10,5	10,8	11,0	11,2	11,4	11,5	11,6	11,6	11,7	11,8
	9,30	9,82	4	8	5	8	5	0	2	1	9	5	0
<i>lnΔ</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>U</i>	0,16	0,39	0,60	0,80	0,99	1,17	1,35	1,47	1,66	1,83	1,90	2,04	2,12

Таблица 1.3 – Заряд

<i>t</i>	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
<i>U_c</i>	11,9	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
	9	0	0	0	1	1	1	1	2	2	2
<i>U_{теор}</i>	11,8	11,8	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9	11,9
	4	7	0	2	4	5	6	7	8	8	9
<i>lnΔ</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>U</i>	2,21	2,30	2,30	2,30	2,41	2,41	2,41	2,41	2,53	2,53	2,53

Опыт 1 – Разряд

Таблица 2.1 - Разряд

<i>t</i>	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
<i>U_c</i>	12,0	10,5	8,1	7,0	5,9	5,0	4,4	2,7					
	2	0	9	0	6	8	3	4	3,22	2,67	1,64	1,33	1,16
<i>U_{теор}</i>	12,0	10,8	9,7	8,7	7,8	7,0	6,3	5,7					
	1	0	1	3	5	6	4	0	5,13	4,61	4,15	3,73	3,35
<i>ln</i>													
$\frac{U_0}{U_c}$			0,3	0,5	0,7	0,8	1,0	1,4					
	0,01	0,14	9	5	1	7	0	9	1,32	1,51	2,00	2,21	2,34

Таблица 2.2 – Разряд

<i>t</i>	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
<i>U_c</i>	0,93	0,78	0,67	0,57	0,49	0,42	0,36	0,31	0,26	0,23	0,20	0,17	0,15
<i>U_{теор}</i>	2,71	2,19	1,77	1,43	1,16	0,93	0,76	0,61	0,49	0,40	0,32	0,26	0,21
<i>ln</i>													
$\frac{U_0}{U_c}$	2,57	2,74	2,89	3,06	3,21	3,36	3,51	3,66	3,84	3,96	4,10	4,27	4,39

Таблица 2.3 – Разряд

<i>t</i>	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
<i>U_c</i>	0,13	0,11	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04
<i>U_{теор}</i>	0,17	0,14	0,11	0,09	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,02
<i>ln</i>											
$\frac{U_0}{U_c}$	4,53	4,70	4,80	4,90	5,02	5,15	5,31	5,49	5,49	5,71	5,71

Опыт 2 – Заряд

Таблица 3.1 - Заряд

<i>t</i>	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
<i>U_c</i>	0,0	0,1	0,4	1,5	1,7	1,9	2,1	2,3					
	0	5	5	6	8	9	5	4	2,51	2,67	2,88	3,06	3,22
<i>U_{теор}</i>	0,0	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	0,7	0,8					
	0	3	5	8	0	2	4	6	0,98	1,10	1,21	1,33	1,44

$\ln\Delta$	2,2	2,2	2,1	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9					
	3	1	8	5	2	9	7	4	1,92	1,89	1,86	1,83	1,81

Таблица 3.2 – Заряд

t	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
U_c	3,53	3,74	3,96	4,20	4,41	4,59	4,78	4,96	5,15	5,76	5,90	6,04	6,18
U_{teor}	1,66	1,88	2,09	2,30	2,51	2,71	2,90	3,09	3,28	3,47	3,65	3,82	3,99
$\ln\Delta$	1,75	1,72	1,68	1,63	1,59	1,55	1,51	1,47	1,43	1,27	1,23	1,18	1,14

Таблица 3.3 – Заряд

t	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
U_c	6,32	6,45	6,59	6,66	6,75	6,83	6,92	7,00	7,07	7,15	7,23
U_{teor}	4,16	4,33	4,49	4,65	4,80	4,95	5,10	5,25	5,39	5,53	5,67
$\ln\Delta$	1,10	1,05	1,00	0,97	0,94	0,91	0,87	0,84	0,81	0,77	0,73

Опыт 2 – Разряд

Таблица 4.1 - Разряд

t	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
U_c	9,31	9,29	9,08	8,91	8,73	8,53	8,36	8,21	8,06	7,89	7,71	7,56	7,41
U_{teo}	12,0	11,8	11,7	11,6	11,5	11,3	11,2	11,1	11,0	10,9	10,8	10,6	10,5
r	1	8	6	3	1	9	7	5	3	1	0	8	7
$\ln \frac{U_0}{U_c}$	0,26	0,26	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37	0,39	0,41	0,43	0,45	0,47	0,49

Таблица 4.2 – Разряд

t	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
U_c	7,07	6,87	6,74	6,61	6,47	6,25	6,22	6,10	5,99	5,87	5,75	5,64	5,53
U_{teor}	10,3	10,1											
	5	3	9,92	9,71	9,50	9,30	9,11	8,92	8,73	8,54	8,36	8,19	8,02
$\ln \frac{U_0}{U_c}$	0,54	0,57	0,59	0,60	0,63	0,66	0,67	0,68	0,70	0,72	0,74	0,76	0,78

U													
-----	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Опыт 3 – Разряд

Таблица 6.1 - Разряд

t	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
U_c	11,0		4,5	3,2	2,3	1,6	1,2	0,9					
	6	8,40	9	5	5	8	9	7	0,75	0,57	0,45	0,36	0,29
$U_{теор}$	12,0		7,6	6,0	4,8	3,8	3,0	2,4					
	1	9,57	2	7	4	6	7	5	1,95	1,55	1,24	0,99	0,79
ln													
$\frac{U_0}{U_c}$			0,9	1,3	1,6	1,9	2,2	2,5					
	0,09	0,36	7	1	4	7	4	2	2,78	3,06	3,29	3,51	3,73

Таблица 6.2 – Разряд

t	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190
U_c	0,21	0,17	0,14	0,12	0,10	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04
$U_{теор}$	0,50	0,32	0,20	0,13	0,08	0,05	0,03	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
ln													
$\frac{U_0}{U_c}$	4,05	4,27	4,46	4,61	4,80	4,90	5,02	5,15	5,31	5,49	5,49	5,71	5,71

Таблица 6.3 – Разряд

t	200	210	220	230	240	250	260	270	280	290	300
U_c	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
$U_{теор}$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ln											
$\frac{U_0}{U_c}$	5,71	5,71	6,00	6,00	6,00	6,00	6,41	6,41	6,41	6,41	6,41

Примеры расчётов

Для таблицы 1 (аналогично для таблиц 3 и 5)

$$U_{\text{теор}} = 12,1 * \left(1 - \exp \left(\frac{-5}{100 * 10^3 * 470 * 10^{-6}} \right) \right) = 1,21 [B] \quad - \quad \text{теоретический заряд}$$

второго измерения в первом опыте

$$\ln(U_{\text{max}} - U_c) = 12,1 - 1,11 = 2,40$$

Для таблицы 2 (аналогично для таблиц 4 и 6)

$$U_{\text{теор}} = \frac{12,02}{10,50} = 0,14 [B] \quad - \quad \text{теоретический разряд второго измерения в первом}$$

опыте

$$\ln \frac{U_0}{U_c} = \frac{12,1}{10,50} = 0,14$$

$$\Delta U_c = 1,11 * \left(\frac{2 * 0,01}{1,21} + \frac{2,72^{0,01}}{2,72^5} \right) = 0,19 [B] \quad - \quad \text{погрешность косвенных измерений}$$

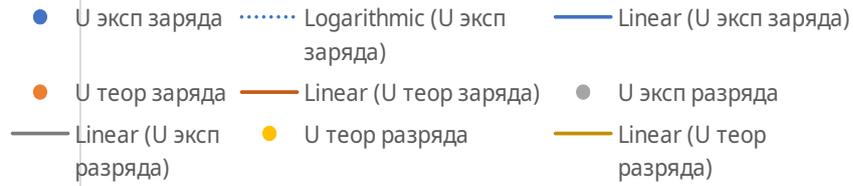
при заряде

$$\Delta U_c = 10,50 * \left(\frac{0,01}{10,80} + \frac{2,72^{0,01}}{2,72^5} \right) = 0,09 [B] \quad - \quad \text{погрешность косвенных измерений}$$

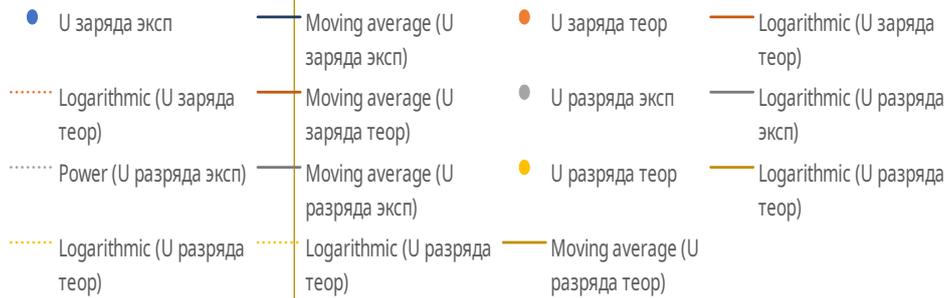
при разряде

Графики зависимостей U_c и $U_{\text{теор}}$ от t

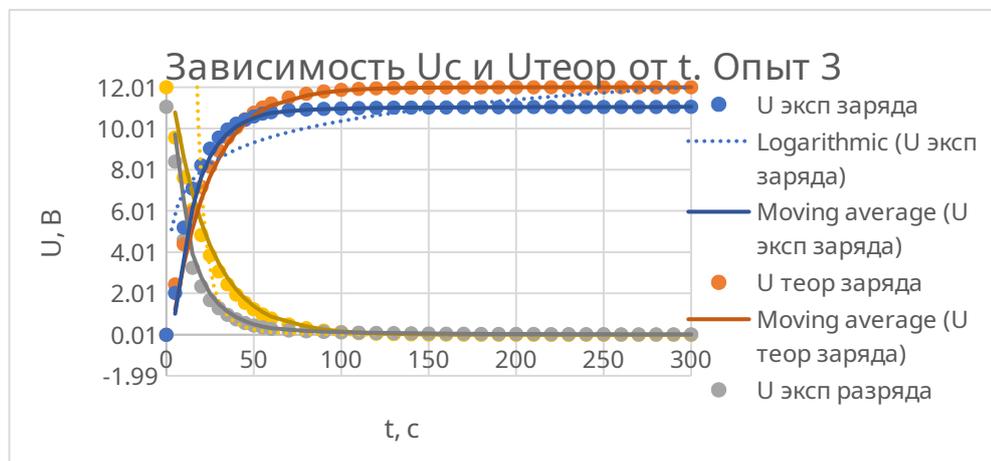
Зависимость U_c и $U_{теор}$ от t . Опыт 2



Зависимость U_c и $U_{теор}$ от t . Опыт 1



Зависимость U_c и $U_{теор}$ от t . Опыт 3



Результаты измерений

Теоретические значения

$$\tau_{теор_1} = 470 * 10^{-6} * 100 * 10^3 = 47 \text{ c}$$

$$\tau_{теор_2} = 470 * 10^{-6} * 1 * 10^6 = 470 \text{ c}$$

$$\tau_{теор_3} = 22 * 10^{-6} * 1 * 10^6 = 22 \text{ c}$$

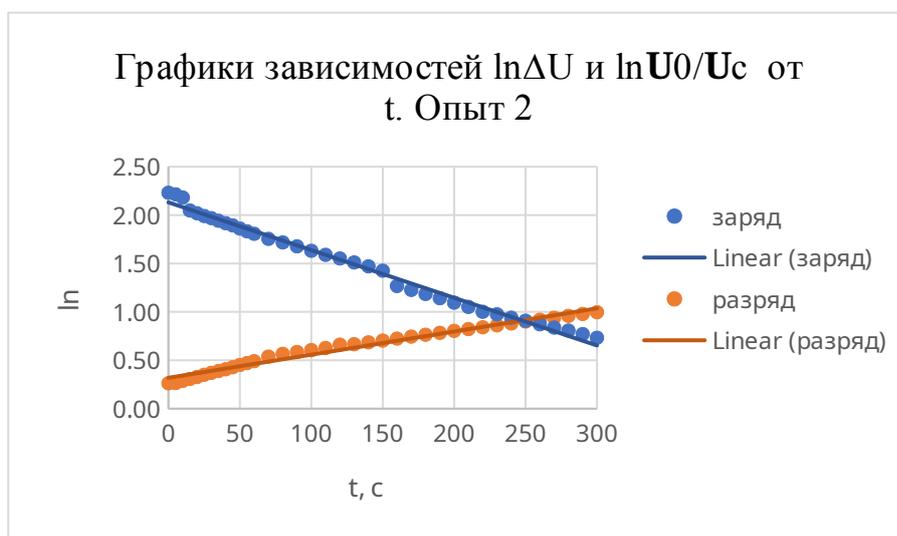
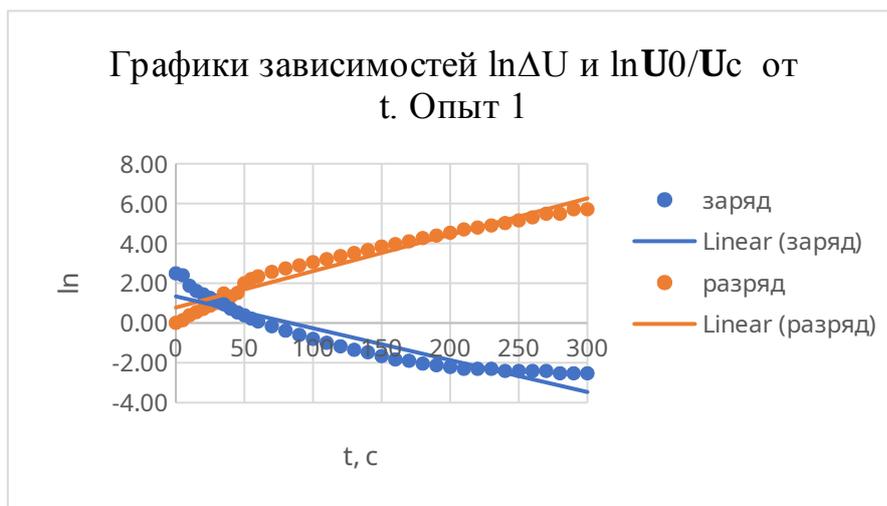
Экспериментальные значения

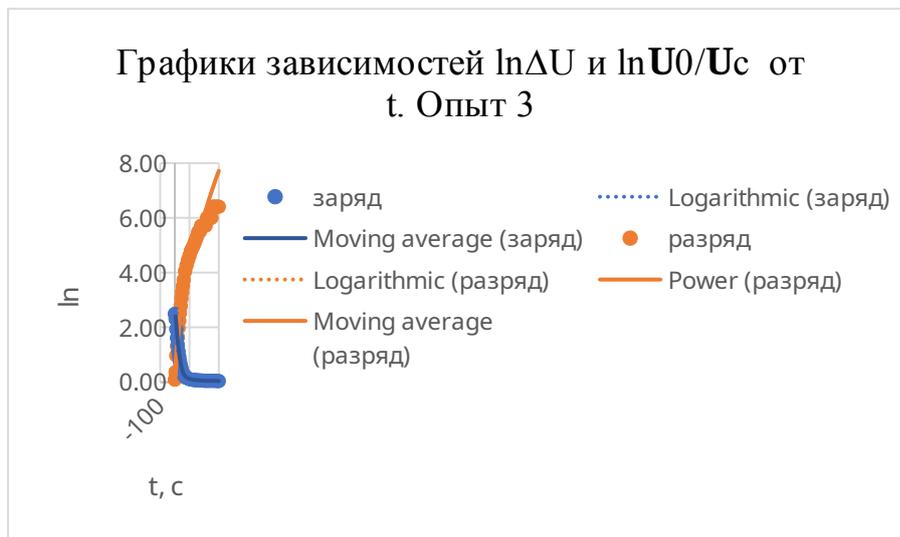
$$\tau_{\text{эксп}_1} = \frac{11,99}{2,72} = 4,40 = 45 \text{ с}$$

$$\tau_{\text{эксп}_2} = \frac{5,67}{2,72} = 2,08 = 90 \text{ с} = \text{в данных условиях невозможно найти значение}$$

$$\tau_{\text{эксп}_3} = \frac{12,01}{2,72} = 4,41 = 30 \text{ с}$$

Графики зависимостей $\ln \Delta U$ и $\ln \frac{U_0}{U_c}$ от t





Выше приведены качественные виды графика, характеризующих зарядные и разрядные характеристики конденсаторов в полулогарифмическом масштабе. С помощью данного графика можно найти котангенс угла наклона прямой к оси t , как отношение

Опыт 1

$$ctg\alpha = \frac{\Delta x}{\Delta y} = \frac{\Delta t}{\Delta \ln\left(\frac{U_0}{U_c}\right)} = \tau$$

Заряд $= 59 \text{ с}$

Несоответствие с теоретическими данными 25%

$$ctg\alpha = \frac{\Delta x}{\Delta y} = \frac{\Delta t}{\Delta \ln\left(\frac{U_0}{U_c}\right)} = \tau$$

Разряд $= 52 \text{ с}$

Несоответствие с теоретическими данными 10%

Опыт 2

$$ctg\alpha = \frac{\Delta x}{\Delta y} = \frac{\Delta t}{\Delta \ln\left(\frac{U_0}{U_c}\right)} = \tau$$

Заряд $= 312 \text{ с}$

Несоответствие с теоретическими данными 25%

$$ctg\alpha = \frac{\Delta x}{\Delta y} = \frac{\Delta t}{\Delta \ln\left(\frac{U_0}{U_c}\right)} = \tau$$

Разряд = 405 с

Несоответствие с теоретическими данными 16%

Опыт 3

$$ctg\alpha = \frac{\Delta x}{\Delta y} = \frac{\Delta t}{\Delta \ln\left(\frac{U_0}{U_c}\right)} = \tau$$

Заряд = 31 с

Несоответствие с теоретическими данными 38%

$$ctg\alpha = \frac{\Delta x}{\Delta y} = \frac{\Delta t}{\Delta \ln\left(\frac{U_0}{U_c}\right)} = \tau$$

Разряд = 28 с

Несоответствие с теоретическими данными 27%

Вывод

Графики, характеризующие процесс разряда и заряда конденсатора имеют экспоненциальный характер. По данным таблиц составлены зарядные и разрядные кривые конденсатора, исходя из них получено экспериментальное значение постоянной RC-цепи, сопоставимое с теоретическим: значения отличаются на 4%, 16%, 36%. Графики, содержащие зарядную и разрядную характеристику конденсатора, выполнены в полулогарифмическом масштабе и имеют вид отрезков прямых. Это говорит о правильности вычислений и построения графиков.