

**Министерство образования Российской Федерации  
УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗАРЯДА И РАЗРЯДА КОНДЕНСАТОРА**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**к лабораторной работе № 37  
по курсу общей физики**

**Уфа 2004**

Министерство образования Российской Федерации  
УФИМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АВИАЦИОННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
Кафедра общей физики

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗАРЯДА И РАЗРЯДА КОНДЕНСАТОРА

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе № 37  
по курсу общей физики

Уфа 2004

Составитель С. В. Тучков

УДК  
ББК

Изучение процессов заряда и разряда конденсатора:  
Методические указания к лабораторной работе № 37 по курсу общей  
физики/ Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. С. В. Тучков – Уфа,  
2004. – 12 с.

Методические указания составлены в соответствии с рабочей  
программой по курсу общей физики для инженерно – технических  
специальностей. Приведена теоретическая часть, описание  
экспериментальной установки, порядок выполнения работы,  
контрольные вопросы.

Предназначены для студентов технических вузов, изучающих  
курс общей физики.

Табл. 1. Ил. 8 . Библиогр.: 3 назв.

Рецензенты: Трофимова Е.В.,  
Кулиш Е.Н.

©Уфимский государственный  
авиационный технический университет, 2004

Составитель ТУЧКОВ Сергей Валерьевич

## ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССОВ ЗАРЯДА И РАЗРЯДА КОНДЕНСАТОРА

### МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе № 37  
по курсу общей физики

Подписано в печать 2004 Формат 60x80 1/16  
Бумага офсетная. Печать плоская. Гарнитура Times New Roman Cyr  
Усл. печт. л. 0,7. Усл. кр.- отт. 0,7. Уч. –изд.л. 0,6.  
Тираж 300 экз. заказ №  
Уфимский государственный авиационный технический университет  
Редакционно-издательский комплекс УГАТУ  
450000, Уфа-центр, ул. К. Маркса, 12

## Содержание

1. Цель работы.....	4
2. Теоретическая часть.....	4
3. Экспериментальная часть.....	9
3.1. Приборы и оборудование.....	9
3.2. Описание установки.....	9
3.3. Порядок выполнения работы.....	10
4. Контрольные вопросы.....	12
Список литературы.....	12

## Лабораторная работа № 37

### Изучение процессов заряда и разряда конденсатора

#### 1. Цель работы

Целью данной работы является изучение заряда и разряда конденсатора при различных параметрах электрической цепи и вычисление времени релаксации.

#### 2. Теоретическая часть

Многие характеристики постоянного тока сохраняются и для квазистационарных токов. Квазистационарные токи – это медленно меняющиеся токи. Величина таких медленно меняющихся токов в каждый момент времени остается одинаковой во всех сечениях неразветвленной проводящей цепи. Мгновенное состояние квазистационарных токов достаточно точно определяется законом Ома и правилами Кирхгофа и тем точнее, чем медленнее меняются токи.

В качестве примера квазистационарных токов рассмотрим процессы заряда и разряда конденсатора в электрической цепи, содержащей последовательно соединенные конденсатор  $C$ , сопротивление  $R$  (включающее и внутреннее сопротивление источника) и источник ЭДС  $\mathcal{E}$  (рис. 2.1).

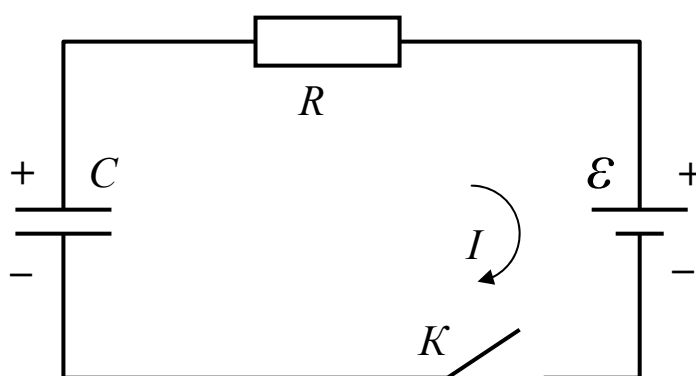


Рис. 2.1

Пусть  $I$ ,  $q$ ,  $U$  – мгновенные значения тока, заряда и разности потенциалов между обкладками конденсатора. Так как токи и

напряжения удовлетворяют условиям квазистационарности, то соотношение  $I$ ,  $q$  и  $U$  такое же, как и в цепях постоянного тока.

Рассмотрим сначала процесс заряда конденсатора. В начальный момент времени ( $t = 0$ ) замкнем ключ  $K$  и в цепи пойдет ток, заряжающий конденсатор. Применим закон Ома к цепи (рис. 2.1):

$$IR = \mathcal{E} - U. \quad (2.1)$$

Учитывая, что разность потенциалов на пластинах конденсатора  $U = q/C$  и сила тока  $I = dq/dt$ , то выражение (2.1) можно записать в виде:

$$\frac{dq}{dt} = \frac{\mathcal{E} - q/C}{R}, \quad (2.2)$$

где  $q$  – заряд конденсатора. Разделим переменные и проинтегрируем это уравнение с учетом начального условия: при  $t = 0$ ,  $q = 0$ :

$$\int_0^q \frac{R dq}{\mathcal{E} - q/C} = \int_0^t dt,$$

$$RC \ln(q - \mathcal{E}C) = -t,$$

отсюда

$$q = q_m (1 - e^{-\frac{t}{RC}}), \quad (2.3)$$

где  $q_m = \mathcal{E}C$  – максимальная величина заряда на конденсаторе.

Напряжение на конденсаторе будет изменяться по закону:

$$U = \frac{q}{C} = \mathcal{E} (1 - e^{-\frac{t}{RC}}).$$

$$(2.4)$$

Закон изменения тока в цепи можно получить дифференцированием (2.3) по времени:

$$I = \frac{dq}{dt} = I_0 e^{-\frac{t}{RC}}, \quad (2.5)$$

где  $I_0 = \mathcal{E}/R$ . Графики зависимостей  $q(t)$  и  $I(t)$  представлены на рисунке 2.2, из которого видно, что сила тока имеет наибольшее значение в начальный момент времени и асимптотически стремится к нулю в процессе заряда, а заряд на обкладках конденсатора возрастает от нуля до максимального значения.

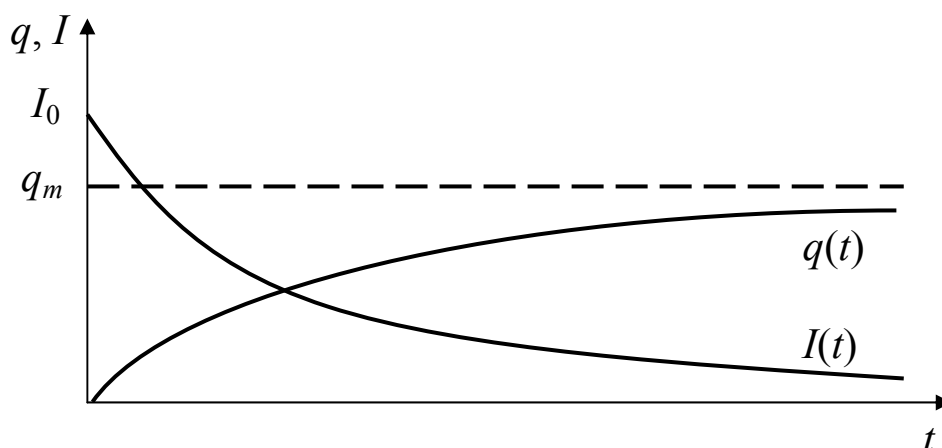


Рис. 2.2

Рассмотрим процесс заряда конденсатора емкостью  $C$ , пластины которого замкнуты сопротивлением  $R$  (рис. 2.3).

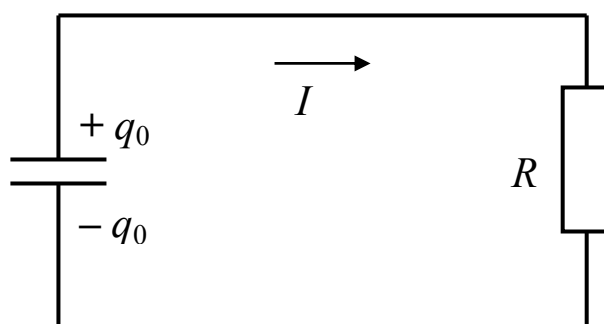


Рис. 2.3

Пусть  $dq$  – уменьшение заряда конденсатора за время  $dt$ . При разряде конденсатора в цепи протекает ток  $I = -dq/dt$ . В это выражение входит знак минус, так как выбранное нами положительное направление тока соответствует уменьшению заряда конденсатора. Известно, что  $q = CU$ , где  $U$  – разность потенциалов на конденсаторе, а следовательно, и на сопротивлении  $R$ . По закону Ома имеем  $U = IR$ , тогда:

$$-\frac{dq}{dt} = \frac{U}{R} = \frac{q}{CR}. \quad (2.6)$$

Это выражение показывает, что скорость уменьшения заряда конденсатора пропорциональна величине заряда. Интегрируем (2.6) при начальных условиях  $t = 0$ ,  $q = q_0$ , получим:



$$\int_{q_0}^q \frac{dq}{q} = -\frac{1}{RC} \int_0^t dt,$$

откуда

$$q = q_0 e^{-\frac{t}{RC}}. \quad (2.7)$$

Зависимость заряда от времени является экспоненциальной и график этой зависимости приведен на рисунке 2.4. Закон изменения напряжения на конденсаторе в процессе разряда аналогичен (2.7):

$$U(t) = \frac{q}{C} = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}, \quad (2.8)$$

где  $U_0 = q_0 / C$ . Отсюда видно, что напряжение на конденсаторе уменьшается и асимптотически стремится к нулю. Таков же характер изменения тока при разряде.

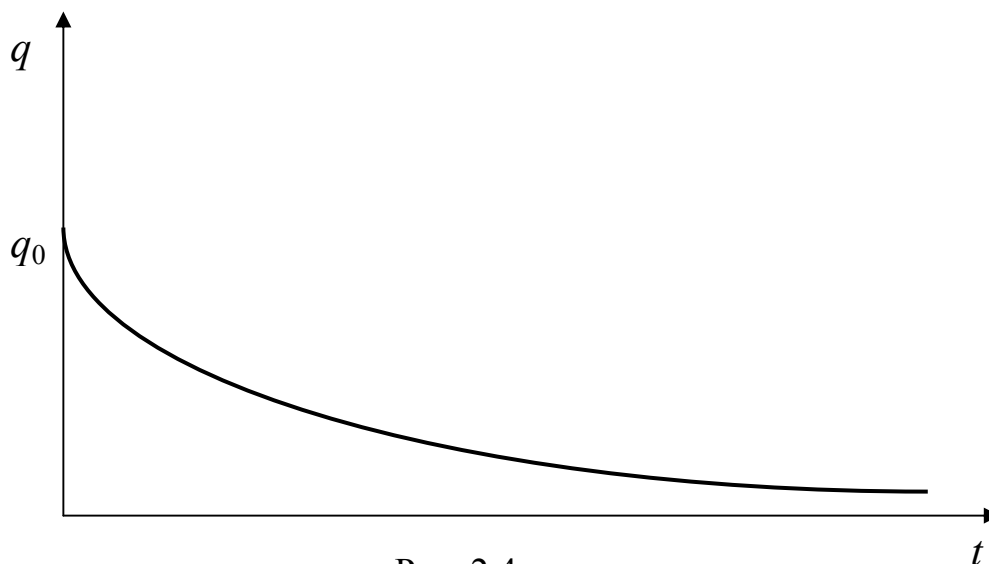


Рис. 2.4

Полученные выражения показывают, что процессы заряда и разряда происходят не мгновенно, а с конечной скоростью. Для рассмотрения контура, содержащего сопротивление и емкость, скорость установления зависит от произведения  $\tau = RC$ , которое имеет размерность времени и называется постоянной времени или временем релаксации  $\tau$ . Постоянная времени показывает, через какое время после выключения ЭДС напряжение и заряд конденсатора уменьшится в  $e$  раз. Если  $R$  и  $C$  выразить в единицах системы СИ (омах и фарадах), то  $\tau$  будет выражено в секундах.

Для определения  $\tau$  необходимо измерить время, за которое величина заряда уменьшится до половины первоначального значения  $t_{1/2}$ . Это время определяется из выражения:

$$e^{-\frac{t_{1/2}}{RC}} = 1/2. \quad (2.9)$$

Прологарифмировав обе части уравнения (2.9), получим

$$t_{1/2} = RC \ln 2 = 0,693 RC. \quad (2.10)$$

Т.е., чтобы определить постоянную времени, нужно измерить  $t_{1/2}$  и умножить полученную величину на 1,44.

Так как экспонента асимптотически приближается к оси абсцисс, то точно установить окончание процесса разряда конденсатора (так же как и процесса заряда) не удастся. Поэтому следует измерить время  $t_{1/2} = 0,693 RC$ , за которое заряд на обкладках конденсатора уменьшился в 2 раза (рис. 2.5).

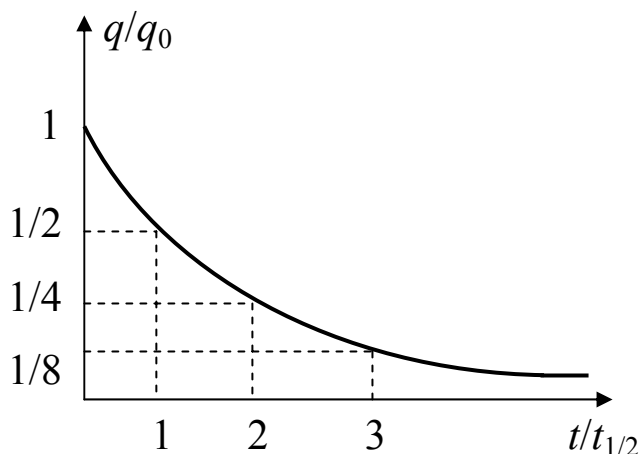


Рис. 2.5

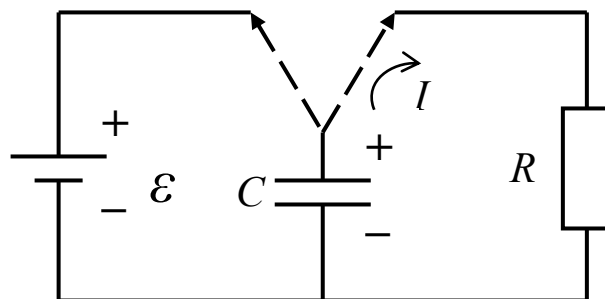


Рис. 2.6

Если обкладки конденсатора попеременно подключать к источнику тока и к сопротивлению  $R$  (рис. 2.6), то график заряда – разряда конденсатора будет иметь вид, показанный на рисунке 2.7. Эти процессы можно наблюдать с помощью осциллографа, подавая на вход  $Y$  напряжение конденсатора  $C$ .

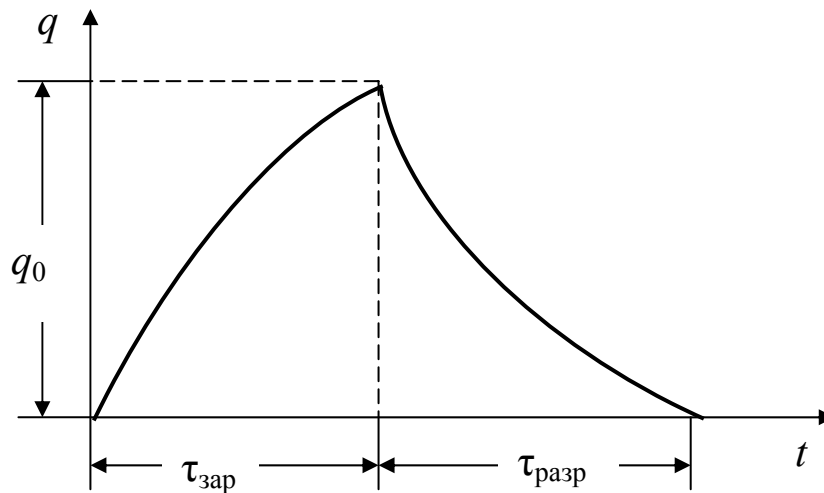


Рис. 2.7

### 3. Экспериментальная часть

#### 3.1. Приборы и оборудование

1. ИП – источник питания.
2. PQ – звуковой генератор.
3. MC – магазин сопротивлений.
4. ME – магазин емкостей.
5. PO – электронный осциллограф.

#### 3.2. Описание установки

Схема состоит из источника постоянного тока ИП, генератора низкочастотных импульсов (звукового генератора), двух магазинов сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$ , магазина емкостей  $C$  и электронного осциллографа.

Подаваемый с выхода генератора прямоугольный импульс через магазин сопротивлений  $R_2$  подается на магазин емкостей  $C$ . Конденсатор заряжается. Время заряда конденсатора  $C$  можно изменять сопротивлением  $R_2$ . В момент паузы происходит разряд конденсатора по цепи  $R_1 R_2 C$ . Время разряда определяется параметрами этой цепи.

Визуально процесс заряда – разряда конденсатора можно наблюдать на экране осциллографа. Наиболее устойчивый режим работы данной схемы обеспечивается при изменении номинальной величины элементов цепи в следующих пределах:

$$C = 0,02 \dots 0,04 \text{ мкФ};$$

$$\nu_{\text{ген}} = 2 \text{ кГц};$$

$$R_1 = 0,3 \div 0,5 \text{ кОм};$$

$$R_2 = 4 \div 6 \text{ кОм}.$$

Наблюдаемые при этом кривые заряда и разряда изображены на рисунке 2.7.

### 3.3. Порядок выполнения работы

1. Собрать электрическую схему согласно рис. 3.1.

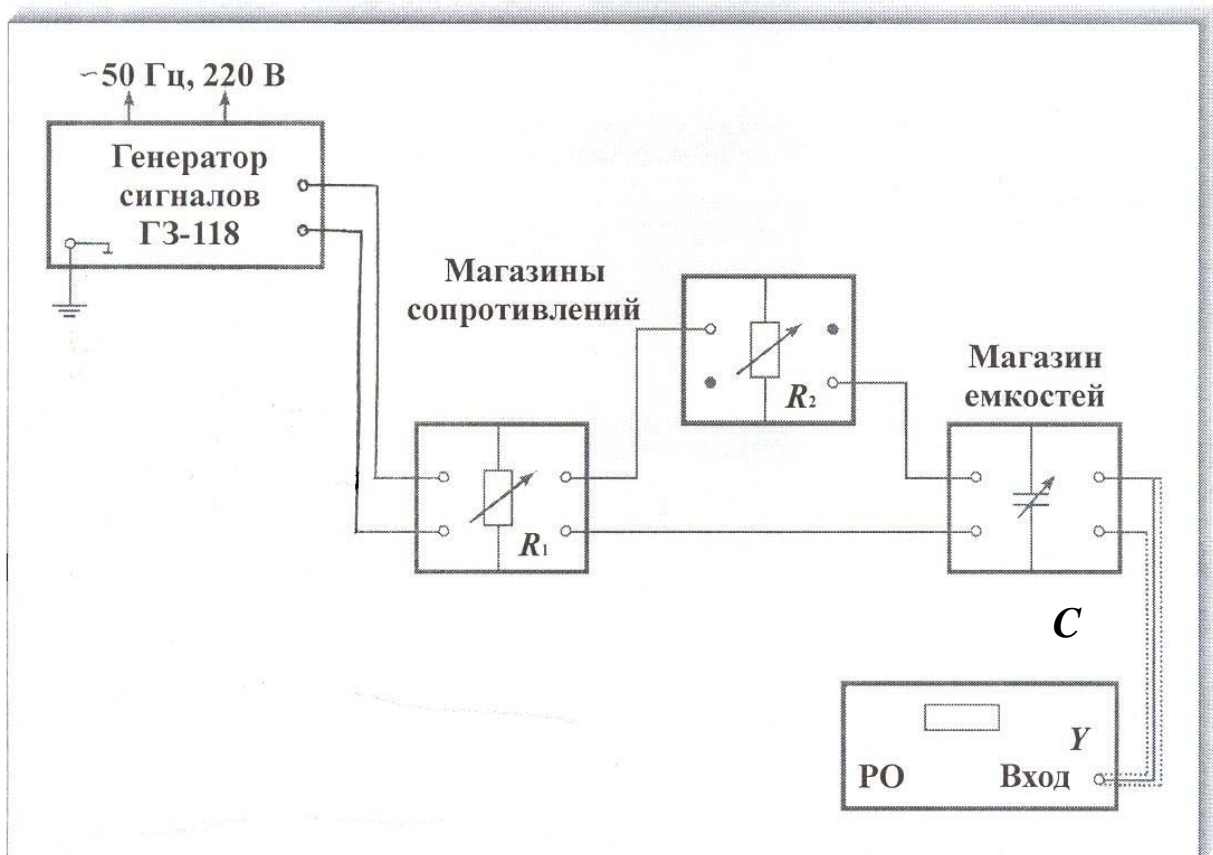


Рис. 3.1

2. Подготовить звуковой генератор и электронный осциллограф к работе:

- а) установить на генераторе частоту 2 кГц;
- б) включить развертку электронного усилителя канала  $Y$  осциллографа и установить частоту развертки, удобную для наблюдения сигналов частотой 2 кГц;
- в) установить время горизонтальной развертки луча таким, чтобы на экране помещалось 1 – 2 периода напряжения с этой же частотой;
- г) установить на экране осциллографа устойчивую картину.

3. Установить на магазине сопротивлений  $R_1$  значение  $R_1 = 300 \text{ Ом}$ .

4. Установить на магазине сопротивлений  $R_2$  значение  $R_2 = 4 \text{ кОм}$ .

5. Установить на магазине емкостей значение  $C = 2 \cdot 10^{-3} \text{ мкФ}$ .

6. Установить частоту развертки, чтобы на экране уместилась полная кривая заряда и разряда конденсатора.

7. Совместить начало кривой заряда с началом шкалы осциллографа.

8. Снять зависимость  $Y = f(x)$ , измеряя  $x$  в секундах, а  $Y$  в вольтах. Записать 8 – 10 значений  $x$  и  $Y$  для кривой заряда и столько же для кривой разряда конденсатора. Результаты занести в таблицу. Построить кривые заряда и разряда конденсатора.

9. По кривым заряда и разряда конденсатора определить время, за которое величина напряжения падает до половины первоначального значения и по формуле (2.10) вычислить время релаксации  $\tau = RC$ .

10. Не изменяя усиление каналов осциллографа, получить на экране кривые заряда и разряда конденсатора при других значениях  $R_2$  и  $C$ , оставляя неизменной величину сопротивления  $R_1$ .

Значения  $R_2$  и  $C$  выбрать по указанию преподавателя.

Измерить по наблюдаемым на экране осциллографа кривым релаксации время  $t_{1/2}$  в делениях шкалы, а затем перевести в секунды.

11. Вычислить постоянную времени  $RC$ , используя значение параметров  $RC$  – цепи. Учесть, что при заряде конденсатора  $R = R_2$ , а при разряде  $R = R_1 + R_2$ . Рассчитать отношение  $t_{1/2}$  к  $RC$  для всех случаев по формуле:

$$A = \frac{t_{1/2}}{RC}. \quad (2.11)$$

12. Сравнить величину  $A$  с теоретическим значением, равным  $\ln 2 = 0,693$ .

13. Логарифмируя формулу (2.8), получим  $\ln \frac{U_0}{U(t)} = \frac{t}{RC}$ . По

данным из таблицы, построить логарифмическую зависимость, характеризующую изменение напряжения на конденсаторе от времени  $t$  при разряде конденсатора. Котангенс угла наклона полученной прямой есть характеристическое время релаксации заряда или постоянная времени  $RC$ :

$$\operatorname{ctg} \alpha = \tau = R C. \quad (2.12)$$

Сравнить результаты, полученные для значений  $\tau$  первым и вторым способами.

	Заряд конденсатора	Разряд конденсатора
$x$		
$t, \text{с}$		
$Y$		
$U, \text{В}$		
$\ln \frac{U_0}{U}$	X	

где  $x$  – координата точки по оси  $x$ ;  $t = K_x x$ ,  $K_x$  – цена деления шкалы осциллографа, устанавливаемая переключателем «Время/дел»;  $y$  – координата точки по оси  $y$ ;  $U = K_y y$ ,  $K_y$  – цена деления шкалы осциллографа, устанавливаемая переключателем «V/дел»;  $U_0$  – наибольшее значение напряжения на конденсаторе.

#### 4. Контрольные вопросы

1. Какие токи называются квазистационарными?
2. Что такое кривая релаксации заряда?
3. Получить зависимость заряда конденсатора от времени при его разряде, заряде.
4. Как определяется время релаксации  $\tau$ ?
5. Описать блок – схему установки.
6. Какова зависимость напряжения на конденсаторе  $U$  и тока в цепи  $I$  от времени, т.е.  $U(t)$  и  $I(t)$ , в процессе заряда и разряда конденсатора?

#### Список литературы

1. Савельев И.В. Курс общей физики. Кн. 2. – М.: Наука, 1999.
2. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 1998.
3. Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. – М.: Высшая школа, 1998.