

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего профессионального образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель
Отделения
Экспериментальной
физики ТПУ

А. М. Лидер

« __ »
2023 г.

ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРОЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ

Методические указания к выполнению лабораторной работы 2-10 по
курсу «Общая физика» для студентов всех направлений и
специальностей

Составители: Н.В. Чистякова

Издательство

Томского политехнического университета

2023

УДК 53(076.5)

Измерение емкости конденсаторов: Методические указания к выполнению лабораторной работы 2-10/ Н.В. Чистякова, – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2023. – 19 с.

Методические указания рассмотрены и рекомендованы

к изданию методическим семинаром

Отделения Экспериментальной Физики.

« ____ » _____ 2023 г.

Председатель

учебно-методической комиссии _____

А. М. Лидер

Рецензент

Кравченко Надежда Степановна

ИЗМЕРЕНИЕ ЭЛЕКТРОЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ

Цели работы: Изучить методы измерения емкости конденсаторов.

Приборы и принадлежности: Цифровой осциллограф Hantek DSO5102P, мультиметр, монтажная панель, набор резисторов, набор конденсаторов.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Конденсатор

Конденсатор – важный и самый распространенный компонент любой электрической схемы. Устроен конденсатор просто – он состоит из двух проводников (обкладок), разделенных диэлектриком. Конденсатор может накапливать электрический заряд, поэтому его главная характеристика – емкость. Емкость – коэффициент пропорциональности между накопленным зарядом и напряжением на конденсаторе:

$$q = CU \quad (1)$$

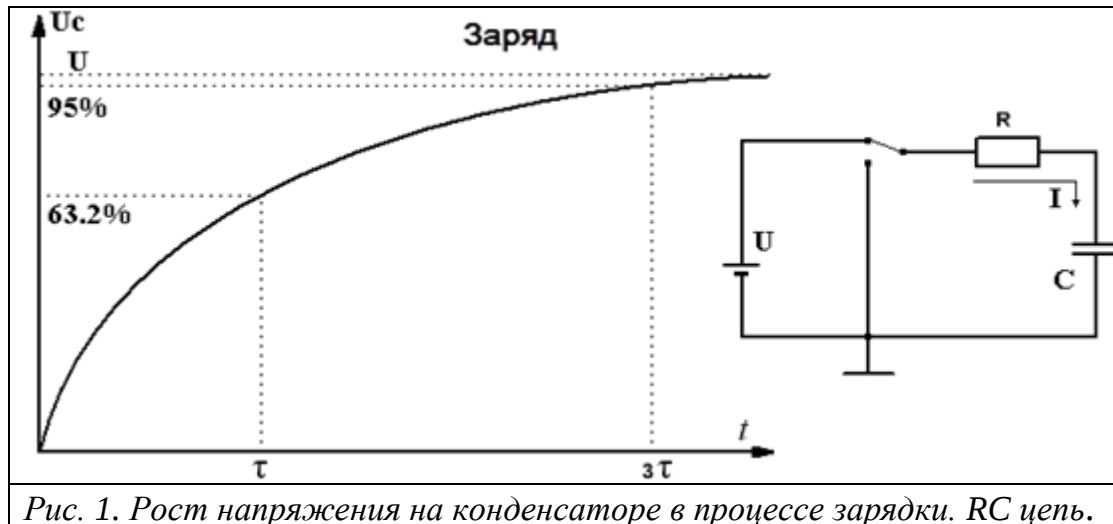
Чем меньше емкость, тем быстрее растет напряжение на конденсаторе и при достижении определенного уровня напряжения, заряда прекращается.

Емкость зависит от размера обкладок и материала диэлектрика. Например, для плоского конденсатора выражение для емкости:

$$C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d} \quad (2)$$

Здесь S – площадь обкладок, d – расстояние между обкладками, ϵ – электрическая проницаемость диэлектрика.

Заряжается конденсатор, обычно, очень быстро. Регулировать время зарядки можно, если поставить резистор последовательно с конденсатором. Резистор будет уменьшать силу тока, который заряжает конденсатор и время зарядки увеличится. Такая конструкция называется **RC цепь**. Разработчики схем очень часто применяют RC-цепочки для создания простых таймеров и осцилляторов или изменения формы сигналов.



Получим закон, описывающий рост напряжения на конденсаторе в процессе зарядки. Для цепи на рисунке 1 можно записать второй закон Кирхгофа (сопротивлением источника питания пренебрежем):

$$U_C + IR = \varepsilon \quad (3)$$

Ток в последовательно соединенных элементах одинаковый, поэтому ток на резисторе можно выразить через параметры конденсатора:

$$I = \frac{dq}{dt}$$

$$q = CU_C$$

Получим выражение:

$$U_C + RC \frac{dU_C}{dt} = \varepsilon$$

Получилось неоднородное дифференциальное уравнение относительно $U_C(t)$, решение которого (с учетом начального условия $U_C(0) = 0$) выглядит так:

$$U_C = \varepsilon(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (4)$$

Здесь:

$$\tau = RC \quad - \text{постоянная времени RC цепи} \quad (5)$$

Если отключить питание и замкнуть обкладки конденсатора, то он будет разряжаться по закону:

$$U_C + RC \frac{dU_C}{dt} = 0$$

Решение, с учетом начального условия $U_C(0) = \varepsilon$

$$U_C = \varepsilon e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (6)$$

Обратите внимание, что при зарядке, в момент времени $t = \tau = RC$, напряжение на конденсаторе составляет 63% от приложенного эдс, это следует из выражения:

$$U_C = \varepsilon(1 - e^{-\frac{RC}{RC}}) = \varepsilon(1 - e^{-1}) = 0.63\varepsilon \quad (7)$$

Этот факт используется в методике определения постоянной времени с помощью осциллографа.

$$\begin{aligned} &\text{За время} \\ &t = 3\tau = 3RC \end{aligned} \quad (8)$$

напряжение вырастет до $0,95\varepsilon$:

$$U_C = \varepsilon(1 - e^{-\frac{3RC}{RC}}) = \varepsilon(1 - e^{-3}) = 0.95\varepsilon \quad (9)$$

Это время мы используем в методе определения емкости с помощью мультиметра.

Маркировка конденсаторов

Обычно, производители указывают емкость конденсаторов на корпусе, при этом нет единых правил для обозначения емкостей. На рисунке 2 показаны примеры маркировки одного из самых распространенных видов керамических конденсаторов

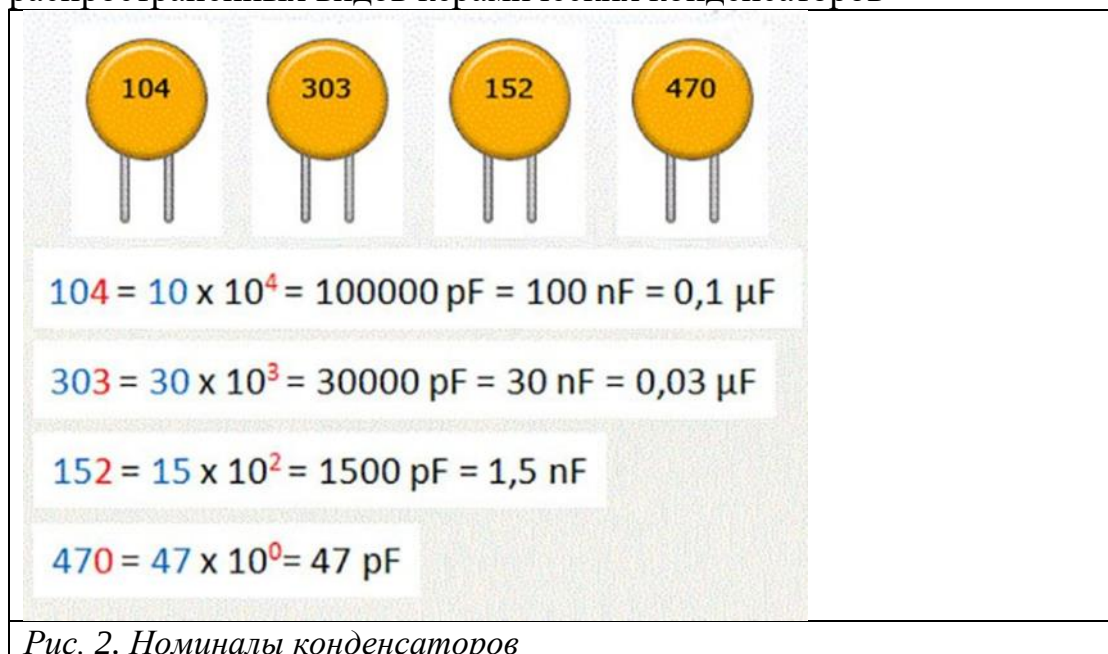


Рис. 2. Номиналы конденсаторов

Если значение емкости выражено дробным числом, то буква, обозначающая размерность единиц измерения, ставится на месте запятой. Так, обозначение 4n7 следует читать как 4,7 нанофарад или 4700 пикофарад, а надпись вида n47 соответствует емкости в 0,47 нанофарад или же 470 пикофарад.

В случае, когда на конденсаторе не обозначен номинал, то целое значение говорит о том, что емкость указана в пикофарадах, например, 1000, а значение, выраженное десятичной дробью, указывает на номинал в микрофарадах, например 0,01.

Видов маркировки существует великое множество, определить емкость конденсатора по маркировке всегда можно с помощью интернета и справочников.

Ёмкость конденсатора, указанная на корпусе, редко соответствует фактическому параметру и отклоняется от номинального значения в пределах некоторого диапазона. Точное значение емкости, к которой стремятся при изготовлении конденсаторов, зависит от материалов, используемых для их производства. Разброс параметров может лежать в пределах от тысячных долей до десятков процентов.

В лабораторной работе нужно определить емкость конденсаторов разными методами: с помощью мультиметра с

режимом измерения емкостей, с помощью мультиметра в режиме вольтметра и с помощью осциллографа. Проверить законы последовательного и параллельного соединения конденсаторов.

2. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Мультиметр

Мультиметр – прибор для измерения параметров электрической цепи. Все мультиметры умеют измерять напряжение, силу тока и сопротивление. У некоторых есть дополнительные функции, такие как измерение емкости, распиновки транзисторов, температуры.

Для измерений черный щуп нужно подключить в гнездо COM (черного цвета). Красный щуп подключается в гнездо в зависимости от типа измеряемой величины. Также перед измерением необходимо выбрать на шкале измеряемую величину и ее масштаб.

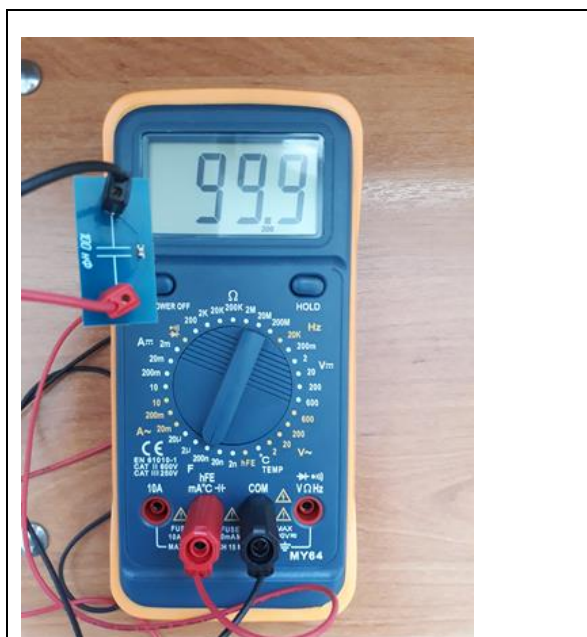


Рис. 3. Мультиметр в режиме измерения емкости

Осциллограф.

Осциллограф отображает график изменения напряжения в цепи от времени. Кнопки и ручки позволяют изменять график.

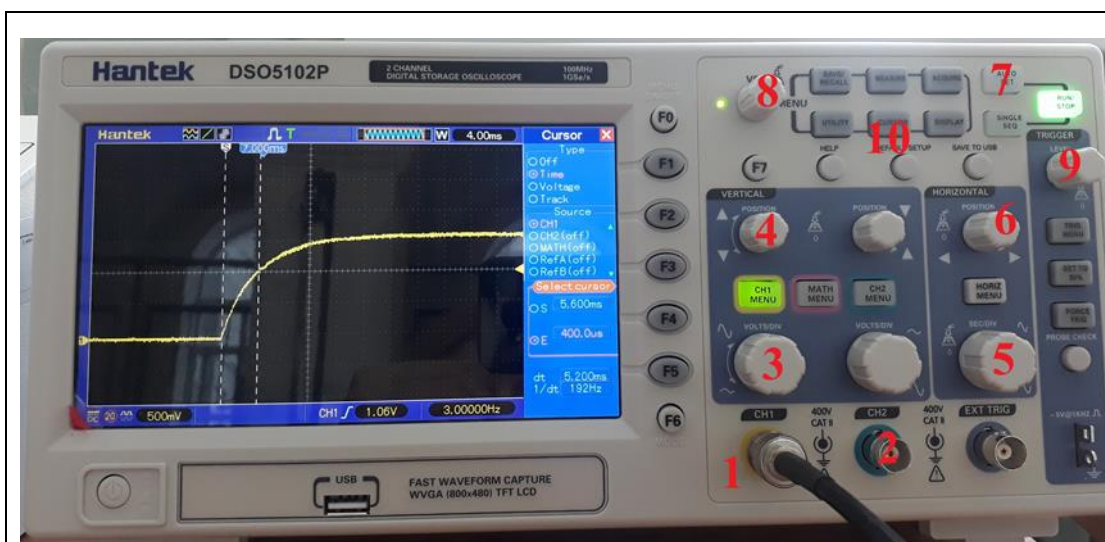


Рис. 4. Элементы управления осциллографа.

Посмотрим основные элементы управления осциллографа Hantek DSO5102P (Рис. 4).

1, 2 – гнезда подключения щупа для канала 1 и канала 2. Два канала могут быть полезны, если вам нужно сравнить между собой два сигнала. В этой работе будет использоваться только канал 1.

На экране отображается зависимость напряжения от времени. Ручки 3 и 4 меняют масштаб и положение графика по вертикали (напряжение), ручки 5, 6 меняют масштаб по горизонтали (время).

Справа на экране доступно меню для разных настроек. Управлять меню можно кнопками F1-F5, F6 и ручкой F0 (8).

Очень важна ручка 9 (trigger, уровень), с ее помощь можно определять значения напряжения в разных точках графика. Значение отображается в нижней части экрана в поле CH1.

ЗАДАНИЯ

1. Определение емкости с помощью мультиметра в режиме измерения электроемкости.
2. Определение емкости с помощью мультиметра в режиме измерения напряжения.
3. Определение емкости с помощью осциллографа.
4. Проверка законов последовательного и параллельного соединений для конденсаторов и резисторов.

3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Упражнение 1. Измерьте емкость с помощью мультиметра.

1. Переведите мультиметр в режим измерения емкости, рис. 3. Правильно выберите масштаб измерений на шкале.
2. Измерьте емкость 4 конденсаторов из набора и занесите показания в таблицу 1.

Таблица 1

$C_{\text{ном}}, \Phi$	$C_{\text{изм}}, \Phi$

Упражнение 2. Определение емкости с помощью мультиметра в режиме измерения напряжения.

Этот метод можно использовать только если величина $t = 3\tau$ достаточно велика, чтобы ее можно было замерить секундомером, т.е. не менее 3 секунд. Оцените постоянную времени для выбранных R и C прежде чем использовать их в этом упражнении. Среди конденсаторов подходит только номинал 100 мкФ. Резисторы можно выбрать 100 кОм и 470 кОм.

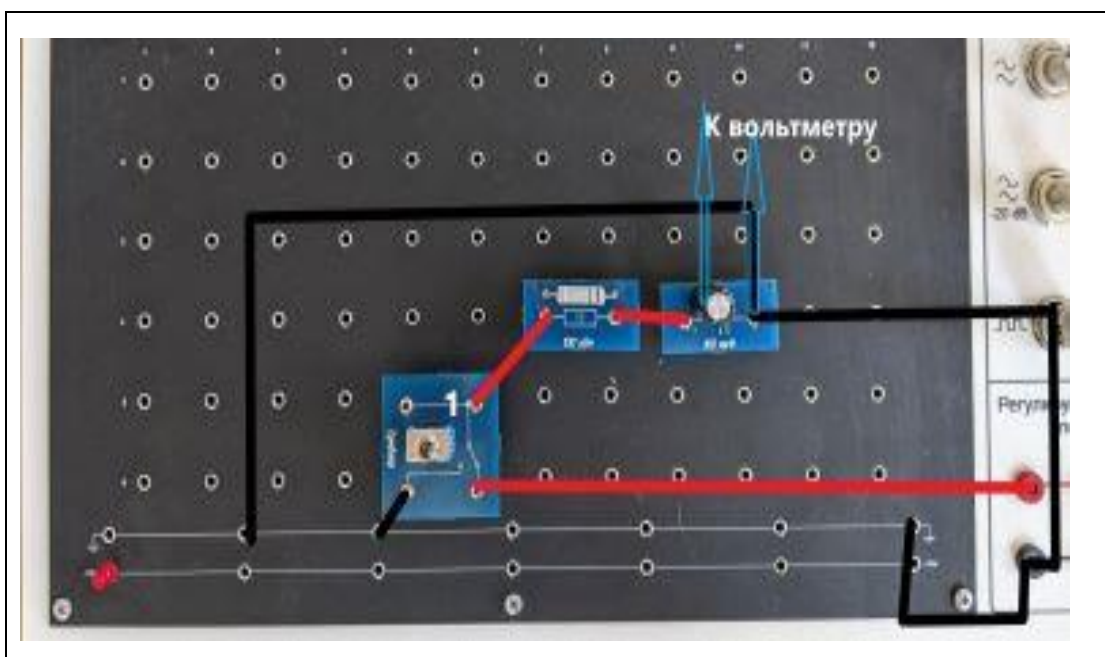


Рис. 5. Схема подключения мультиметра к RC цепи с ключом.

1. Соберите RC цепь (рис. 6), подключите мультиметр в режиме вольтметра (выбрать масштаб 20 В), включите источник питания постоянного тока, задайте значение напряжения 2,6 В. **Обратите внимание, что конденсатор при этом зарядится только до $U_c=2,52$!**
2. Вычислите значение $0.95U_c$, запишите в таблицу 2
3. Включите питание с помощью ключа (1, рис 5), одновременно включив секундомер и измерьте время роста напряжения на конденсаторе от 0 до $0.95U_c$. Запишите значение $t_{изм}$ в таблицу.
4. Отключите питание, разрядите конденсатор до 0.
5. Определите емкость с помощью формулы 8
6. Проведите измерения не менее 5 раз, определите погрешность C , как погрешность прямой величины.

Таблица 2

	$C_{ном}$	$R_{ном}$	$t_{ном}$	ϵ	0.95ϵ	$t_{изм}$	$C_{изм}$
--	-----------	-----------	-----------	------------	----------------	-----------	-----------

1							
2							
3							
4							
5							

Упражнение 3. Определение емкости с помощью осциллографа

Осциллограф – загадочный прибор, попробуем разобраться что и как с его помощью можно измерить. **На экране осциллографа только одна картинка – зависимость напряжения от времени.** Кнопки на панели нужны для настройки изображения. Обычно, осциллограф используют для контроля периодических сигналов. В данной работе генератор создает периодический прямоугольный сигнал, который можно наблюдать на экране осциллографа.

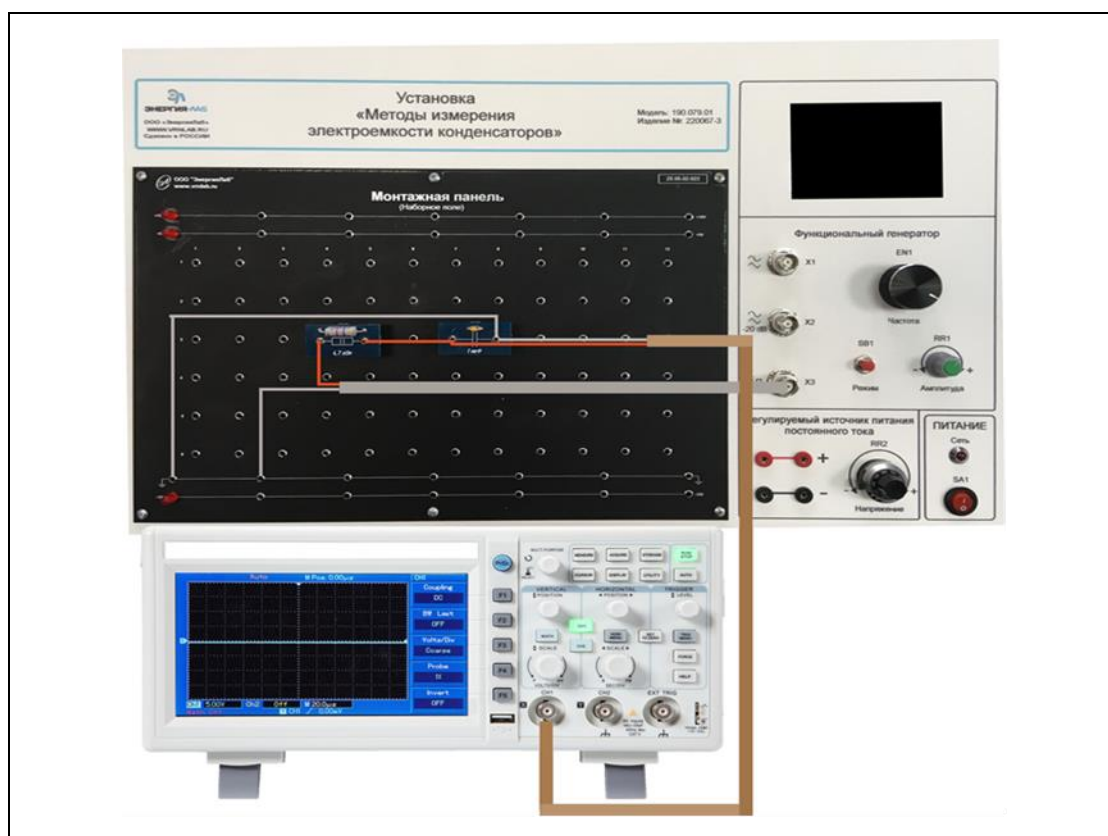


Рис. 6. Схема подключения осциллографа к RC цепи

Соберите RC цепь (рис. 6) Возьмите $R=10\text{ кОм}$ и $C = 1\text{ мкФ}$. Соблюдайте полярность. Постоянная времени этой пары равна $\tau=RC=10\text{мс}$. Нужно проверить это значение с помощью осциллографа.

Сначала включите осциллограф. Внимательно изучите назначение ручек управления (рис. 4).

Включите генератор. Сигнал: Синус, Меандр; амплитуда 3,6 В; (рис. 7). Генератор создает периодический сигнал в виде прямоугольного импульса с частотой 1кГц. Этот сигнал вы можете сразу наблюдать на осциллографе. Он может отличаться от прямоугольника из-за влияния RC цепи.

Для измерений нужен сигнал меньшей частоты – уменьшите частоту до 0,010 кГц (10 Гц) с помощью ручки «Частота» на монтажной панели (рис. 7). Наблюдайте как меняется сигнал на экране осциллографа.

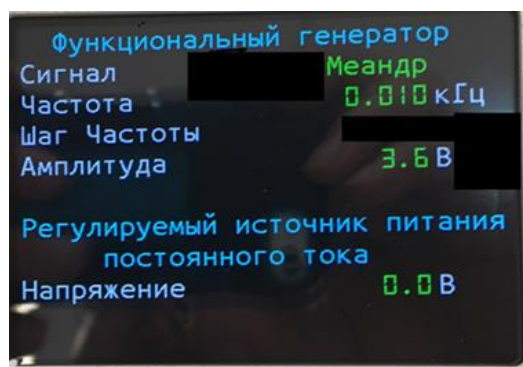


Рис. 7. Параметры генератора

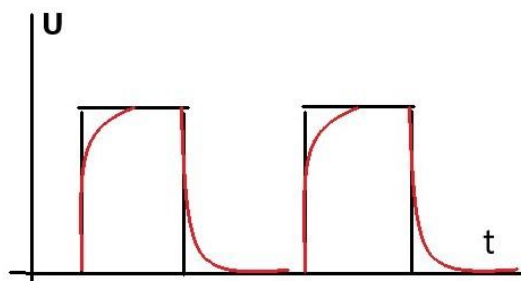


Рис. 8. Сигнал генератора

Обратите внимание, как на прямоугольный сигнал влияет конденсатор (рис. 8). При наличии конденсатора, напряжение включается не сразу, а по экспоненциальной кривой – именно эту кривую роста мы будем использовать для экспериментального определения постоянной времени RC.

При необходимости, можно увеличить масштаб или передвинуть изображение сигнала. По вертикали с помощью ручек 3 и 4 (рисунок 4), по горизонтали – ручки 5 и 6. Попробуйте изменить эти параметры и посмотрите, как это повлияет на изображение.

Приступим к измерению параметра времени RC цепи:

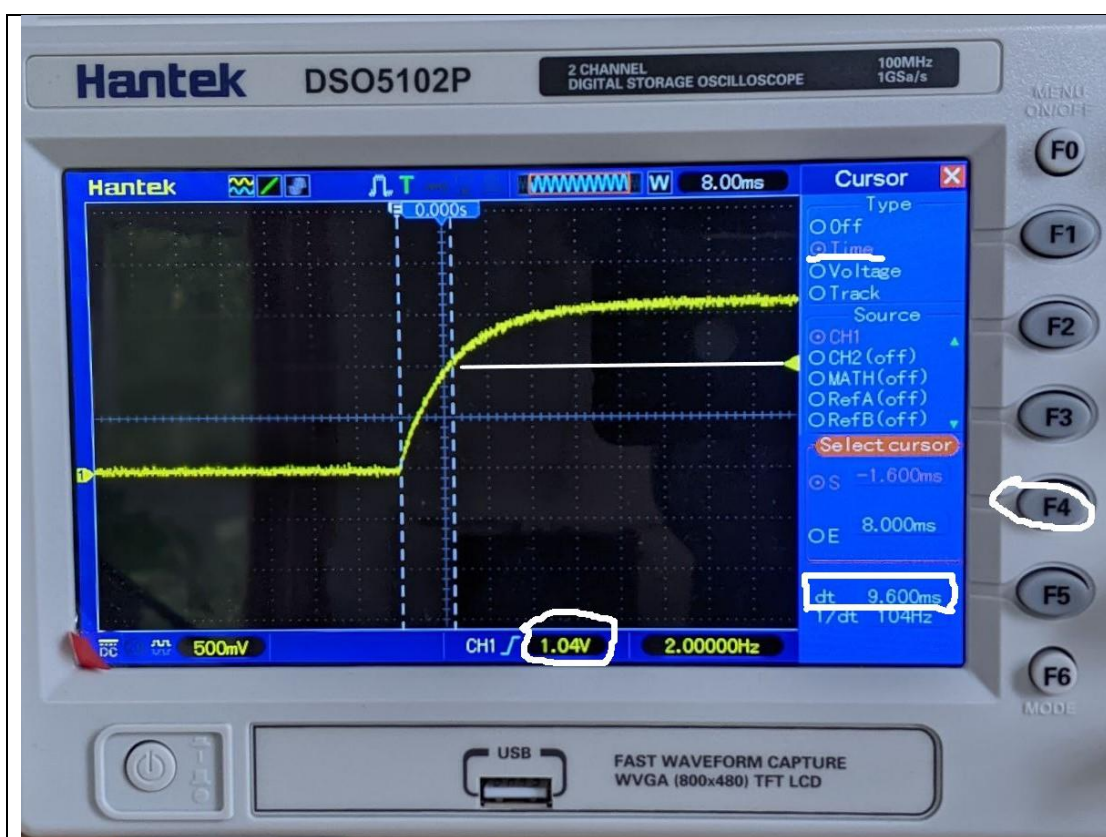


Рис. 5. Кривая роста напряжения на конденсаторе

1. Определите максимальное значение напряжения U_0 с помощью ручки уровня (9, рис. 4). При вращении ручки, значение напряжения можно увидеть внизу экрана осциллографа в поле CH1 (рисунок 5).
2. Рассчитайте значение $U = 0.63U_0$, определите положение этой точки на экране осциллографа с помощью ручки уровня (9, рис. 4), запишите в таблицу 3.
3. С помощью кнопки 10 включите меню курсоров. Кнопки F1 – F10 позволяют управлять меню: F1 – определяет ось для которой включены курсоры, в данном случае Time. Кнопка F2 – источник сигнала, в нашем случае CH1 (канал 1). Кнопка F4 – выбор курсора

(первый, второй или оба). Передвигать курсоры можно ручкой 8 (рис 4)

4. С помощью курсоров определите время изменения сигнала от 0 до $U=0.63U_0$. Для этого установите первый курсор на начало сигнала, второй курсор на точку $U=0.63U_0$. Время отобразится в параметре dt внизу меню. (рис 5)

Проведите измерения по пунктам 1-4 для 3 других пар резистор + конденсатор.

При выборе пар, обратите внимание: период колебаний генератора – 0,1 с, нельзя использовать RC пару для которой постоянная времени больше или равна периоду генератора.

При использовании резисторов меньше 5 кОм получаются неверные значения постоянной времени.

6. Рассчитайте емкость по формуле 5, оцените погрешность для одной из емкостей.

Таблица 3

$R_{ном}$	$C_{ном}$	$t_{теор}$	U_0	$0.63U_0$	$t_{изм}$	$C_{изм}$
10кОм	1мкФ	10мс				

Упражнение 4. Проверка законов последовательного и параллельного соединения для резисторов и конденсаторов.

1. Выберите два резистора из набора. Измерьте сопротивление каждого с помощью мультиметра. Запишите в таблицу 4.
2. Соедините резисторы последовательно с помощью перемычек. Измерьте сопротивление с помощью мультиметра, запишите в таблицу 4.

3. Соедините резисторы параллельно. Измерьте сопротивление с помощью мультиметра, запишите в таблицу 4.
4. Сделайте вывод о том, выполняются ли законы последовательного и параллельного соединения для резисторов.

Таблица 4

R_1	R_2	$R_{\text{посл}}^{\text{теор}}$	$R_{\text{посл}}^{\text{эксп}}$	$R_{\text{пар}}^{\text{теор}}$	$R_{\text{пар}}^{\text{эксп}}$

1. Выберите два конденсатора из набора. Измерьте емкость каждого с помощью мультиметра. Запишите в таблицу 5.
2. Соедините конденсаторы последовательно с помощью перемычек. Измерьте емкость с помощью мультиметра, запишите в таблицу 5.
3. Соедините конденсаторы параллельно. Измерьте емкость с помощью мультиметра, запишите в таблицу.
4. Сделайте вывод о том, выполняются ли законы последовательного и параллельного соединения для конденсаторов.

Таблица 5

C_1	C_2	$C_{\text{посл}}^{\text{теор}}$	$C_{\text{посл}}^{\text{эксп}}$	$C_{\text{пар}}^{\text{теор}}$	$C_{\text{пар}}^{\text{эксп}}$

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что такое конденсатор?
2. Что такое емкость, от каких параметров она зависит?
3. Что такое RC цепочка и для чего она используется.
4. Как можно контролировать время зарядки конденсатора?
5. Поведение конденсатора в цепях постоянного и переменного тока.
6. Почему напряжение при зарядке и разрядке конденсатора меняется экспоненциально?
7. Почему за время равное постоянной времени RC цепи, напряжение увеличивается на 63%?
8. Что такое постоянная времени RC цепи?
9. Какие бывают виды конденсаторов?
10. В чем особенность подключения полярных конденсаторов?
11. Какие величины можно измерять с помощью мультиметра?
12. Какие существуют правила для подключения мультиметра в режиме вольтметра, амперметра и омметра?
13. Для чего используется осциллограф?
14. Опишите назначение основных ручек настройки осциллографа.
15. Как выбрать шаг по времени в настройках осциллографа, если известна частота измеряемого сигнала.
16. Что такое фаза напряжения?
17. Закон последовательного и параллельного соединения резисторов.
18. Закон последовательного и параллельного соединения конденсаторов.

Учебное издание

Измерение электроемкости конденсаторов

Методические указания к выполнению лабораторной работы
2-10 по курсу «Общая физика» для студентов всех направлений и
специальностей

Составители

ЧИСТЯКОВА Надежда Владимировна

**Отпечатано в Издательстве ТПУ в полном
соответствии
с качеством предоставленного оригинал-макета**

Подписано к печати 10.12.2016. Формат 60х84/16. Бумага «Снегурочка».
Печать XEROX. Усл.печ.л. 9,01. Уч.-изд.л. 8,16.
Заказ . Тираж 50 экз.

Национальный исследовательский Томский политехнический
университет

Система менеджмента качества

Издательства Томского политехнического университета

сертифицирована

NATIONAL QUALITY ASSURANCE по стандарту BS EN ISO
9001:2008



ИЗДАТЕЛЬСТВО  **ТПУ**

634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

Тел./факс: 8(3822)56-35-35, www.tpu.ru