

Методические указания

И.Б. Винтайкин, В.Л. Глушков, О.С. Литвинов

Лабораторная работа Э-113

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА ПО ОСЦИЛЛОГРАММЕ ЕГО РАЗРЯДА ЧЕРЕЗ РЕЗИСТОР

2023 год

Определение емкости конденсатора по осциллограмме его разряда через резистор

1. Цель лабораторной работы

Целью лабораторной работы является экспериментальное изучение законов электростатики, в частности, раздела «Проводники в электрическом поле».

2. Задачи лабораторной работы

Задачи лабораторной работы - изучение процесса разряда конденсатора, измерение постоянной времени цепи и емкости конденсатора. Приобретение навыков работы с электроаппаратурой и электроизмерительными приборами.

3. Экспериментальное оборудование, приборы и принадлежности

Лабораторный стенд (рис.1) выполнен в виде собираемой из набора пластиковых монтажных элементов схемы на магнитной основе, включая сопротивления, емкость, источник ЭДС, кнопки-выключатели для замыкания цепи и монтажные перемычки.

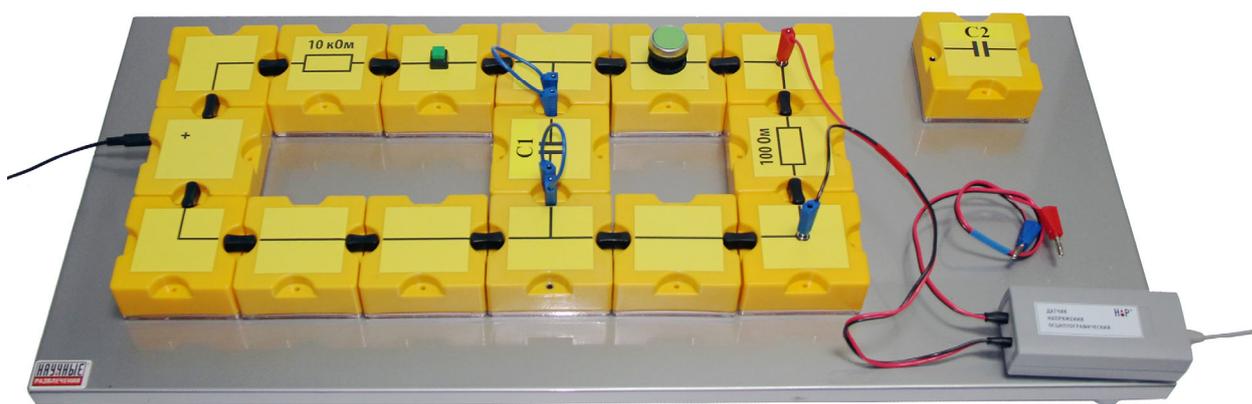


Рис.1. Лабораторный стенд

К приборам и принадлежностям относятся также компьютер с необходимым программным обеспечением, осциллографический датчик напряжения для регистрации электрической разности потенциалов на активном сопротивлении и соединительный кабель для подключения датчика к компьютеру.

4. Теоретическая часть

При разрядке конденсатора на резистор в отсутствии источников э.д.с. в контуре сумма падений напряжений равно нулю:

(1)

Учитывая следующие очевидные соотношения:

$$U_C = \frac{q}{C}, \quad q = \int_0^t I \cdot dt, \quad U_R = I \cdot R \quad (2)$$

получим:

$$R \cdot I + \frac{1}{C} \int_0^t I \cdot dt = 0 \quad (3)$$

Здесь R - сопротивление резистора, I - ток в контуре, C - емкость конденсатора, q - заряд на конденсаторе.

Продифференцировав по времени и пронормировав предыдущее уравнение, получим:

$$\frac{dI}{dt} + \frac{1}{RC} I = 0 \quad (4)$$

Решение этого уравнения:

$$I = I_0 e^{-\frac{t}{RC}} = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (5)$$

Здесь введено обозначение

$$\tau = RC, \quad (6)$$

- постоянная времени разрядки конденсатора или интервал времени, за который начальный ток I_0 уменьшится в e раз.

Тогда:

$$q = \int_0^t I \cdot dt \quad (7)$$

Если интегрирование проводить в интервале времени (t_1, t_2) , последнее уравнение приобретет вид:

$$\Delta q = \int_{t_1}^{t_2} I \cdot dt \quad (8)$$

Зная падение напряжения на резисторе (с точностью до знака оно равно падению напряжению на конденсаторе) в эти моменты времени (t_1, t_2) , емкость конденсатора находим из закона пропорциональности заряда и напряжения на конденсаторе:

$$C = \frac{\Delta q}{\Delta U} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} I \cdot dt}{U_1 - U_2} \quad (9)$$

Второй способ определения емкости конденсатора следует из формулы (6). Измеряя по осциллограмме время τ , в течение которого напряжение на резисторе уменьшается в e раз, вычисляем емкость конденсатора по формуле:

$$C = \tau/R$$

На рис. 2 представлена схема эксперимента, с использованием которой изучается процесс разрядки конденсатора.

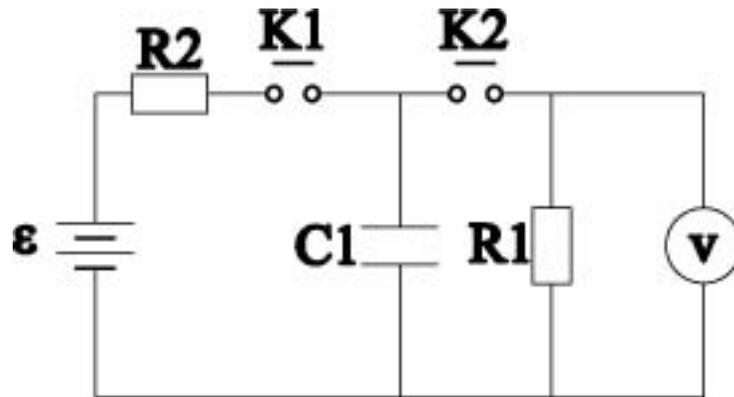


Рис.2. Схема для измерения емкости конденсатора

5. Описание лабораторной установки

В состав лабораторной установки входят элементы, собранные в схему для исследования разрядки конденсатора. Для замыкания цепи зарядки конденсатора и для осуществления его разряда через резистор используются кнопки-выключатели без фиксации. Соединение элементов электрических цепей производится с помощью монтажных перемычек, а также с помощью гибких проводов со штекерными разъемами, которые применяются для включения в цепь элементов, варьируемых в ходе опыта. Ряд элементов схемы имеют на верхней поверхности гнезда для подключения штекеров, например, для присоединения измерительного кабеля осциллографического датчика напряжения к активному сопротивлению R_0 (рис.1).

6. Порядок проведения лабораторной работы

Соберите лабораторную установку, для чего:

1. Соберите RC цепь с выключателем и параллельно ей подсоедините последовательно соединенные источник питания, сопротивление и выключатель (рис.1);

2. Подключите измерительный кабель «красного» канала осциллографического датчика напряжения к клеммам элементов схемы, примыкающих к резистору;
3. Соедините датчик с компьютером при помощи USB-кабеля;
4. Запустите программу «Практикум по физике»;
5. Выберите сценарий проведения эксперимента, нажав соответствующую кнопку  на панели инструментов и перейдя в меню сценариев;
6. Запустите измерения, нажав кнопку ;
7. Зарядите исследуемый конденсатор, нажав на кнопку зарядки и удерживая ее нажатой 10-15 секунд.
8. Разрядите конденсатор, нажав на кнопку разрядки и удерживая ее нажатой до завершения процесса разрядки, контролируемого по сигналу на экране компьютера, после чего остановите измерения .
9. Амплитуда сигнала на экране должна быть в пределах от 2.5 до 3 В, поскольку напряжение блока питания равно 3.1 В (в сценарии работы установлена чувствительность 1В на деление). Осциллографическая кривая разрядки конденсатора должна занимать всё окно регистрации по горизонтали. Если это не так, то после остановки измерений войдите в окно настроек осциллографа, нажав кнопку . В этом окне измените значения в поле «Развёртка». Повторяя измерения, подберите опытным путём оптимальные настройки осциллографа. По умолчанию в сценарии работы установлена развертка 0.2 мс/дел., что соответствует скорости разрядки большего из имеющихся в комплекте конденсаторов.

7. Обработка результатов измерений

1. Остановите измерения, нажав кнопку . Выберите область на кривой разрядки, установив на левом краю области зеленый маркер (правая кнопка мыши), а на правом краю - желтый маркер (левая кнопка мыши). Рекомендуется устанавливать зеленый маркер в непосредственной близости от начала разрядки, а желтый маркер — в области, где величина регистрируемого сигнала составляет 5-10 % от максимальной.
2. Перейдите в окно обработки, нажав на красную кнопку «плюс» в правом верхнем углу, рабочего окна датчика
3. Перейдите на вкладку «Исходные данные». Введите значение сопротивления R резистора, через который происходит разрядка конденсатора. Перейдите на вкладку «Таблица» и убедитесь, что в четвертом столбце автоматически считаются значения силы тока, протекающей через резистор.
4. Постройте зависимость $I(t)$, обратившись к вкладке «График»

5. Рассчитайте площадь под графиком $I(t)$, нажав соответствующую кнопку  в верхнем левом углу окна с графиком.
6. Добавьте результат в «статистику», нажав кнопку .
7. Вернитесь на вкладку «Таблица». Поочередно скопируйте напряжения U_1 и U_2 на конденсаторе в начале и конце исследуемого участка разрядки и впишите их в столбцы U_1 и U_2 таблицы «Статистика» (клавиши *Ctrl-C* - *Ctrl-V*). Перед копированием установите указатель мыши на ячейку, число из которой будет копироваться, и нажмите левую кнопку мыши. После ввода U_2 нажмите Enter.
8. На основании данных, собранных в таблице, по формуле (9) определяется емкость конденсатора C .
9. Следующие столбцы таблицы «Статистика» предназначены для оценки емкости конденсатора по скорости его разрядки. На осциллограмме разрядки Вам нужно выбрать две точки, амплитуда напряжения на резисторе (или тока в цепи) в которых отличается в e ($e=2.71\dots$) раз и, определив промежуток времени между ними, рассчитать емкость по формуле $C=(t_2-t_1)/R_0$.
10. В таблице вкладки «Таблица» выберите указанные точки по напряжению и перенесите на вкладку «Статистика» соответствующие им значения времени ($t_2>t_1$). После ввода второго значения времени расчет емкости будет выполнен автоматически с использованием имеющегося в «исходных данных» разрядного сопротивления.
11. Снова запустите измерения, нажав кнопку . В появившемся диалоговом окне подтвердите очистку таблицы накопленных данных. Проведите зарядку и разрядку конденсатора и сделайте обработку осциллограммы, повторяя действия, описанные в пунктах 1-10. Всего необходимо получить и обработать 3 - 5 осциллограмм разряда конденсатора. В нижней части столбцов, где рассчитывается емкость конденсатора, считается также среднее значение ёмкости и дисперсия этого значения.
12. Используя правила оценки погрешностей косвенных измерений, найдите погрешности определения емкости конденсатора C .
13. Запишите окончательный результат работы в виде $C = \langle C \rangle \pm \Delta C$.
Сохраните таблицу статистики, пользуясь кнопками  или .
14. Сравните значения емкости, полученные двумя способами.
15. Повторите измерения для другого конденсатора. Перед этим очистите таблицу статистики с помощью кнопки .

8. Указания по технике безопасности

1. Перед выполнением работы получите инструктаж у лаборанта.
2. Соблюдайте общие правила техники безопасности работы в лаборатории "Физика".

9. Контрольные вопросы

1. Что такое емкость?
2. Выведите формулу для емкости плоского конденсатора.
3. Чем определяется время разряда конденсатора?
4. Что такое постоянная времени цепи, содержащей конденсатор?
5. Выведите расчетную формулу, описывающую уменьшение напряжения на пластинах конденсатора при его разряде через активное сопротивление.
6. Чему равна энергия заряженного конденсатора?
7. Как зависит быстрота разряда конденсатора от его емкости и величины активного сопротивления, через которое производится разряд конденсатора?