

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2.03

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА

Цель работы

Целью данной работы является изучение законов электростатики и одного из методов измерения емкости конденсатора.

Краткая теория

Конденсатором называется система, состоящая из двух проводников, разделенных слоем диэлектрика, в которой обеспечивается сильная электрическая связь между накопленными на этих проводниках зарядами. Проводники, образующие конденсатор, называются обкладками. В зависимости от формы обкладок конденсаторы бывают сферические, цилиндрические, плоские. За заряд конденсатора принимается заряд одной обкладки, взятый по абсолютной величине.

Емкостью конденсатора называется скалярная физическая величина, характеризующая способность конденсатора накапливать электрический заряд и численно равная заряду, который должен быть перенесен с одной обкладки конденсатора на другую, чтобы разность потенциалов между ними изменилась на единицу.

$$C = \frac{Q}{\Delta\varphi}. \quad (2.03.1)$$

Емкость конденсатора зависит от формы и размеров его обкладок, диэлектрической проницаемости материала диэлектрика и не зависит от свойств проводников, из которых изготовлены обкладки. Единицей измерения электрической емкости в системе СИ является фарад ($\Phi = \text{Кл/В}$).

Емкость конденсатора может быть измерена различными методами. В данной работе использован метод, основанный на измерении накопленного конденсатором заряда. При этом емкость рассчитывается в соответствии с определением (2.03.1).

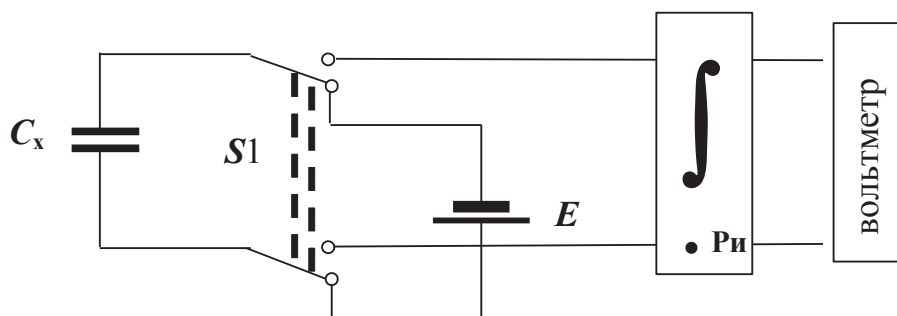


Рис. 5. Схема электрической цепи для определения емкости конденсатора:

- C_x – конденсатор неизвестной емкости;
 E – источник питания, служащий для зарядки конденсатора до разности потенциалов, равной ЭДС источника ($\Delta\varphi = E$);
 \int – интегратор тока;
 P_n – кнопка разряда интегратора;
 $S1$ – переключатель, позволяющий подключать конденсатор к источнику питания E при зарядке и к интегратору при разрядке.

Для определения емкости неизвестного конденсатора C_x собирают цепь по рис. 5.

При подключении к источнику питания конденсатор заряжается. Заряд, накапливаемый на обкладках конденсатора, при неизменном значении разности потенциалов $\Delta\varphi$ пропорционален его емкости. В стационарном состоянии разность потенциалов равна ЭДС источника E .

$$Q = C_x \cdot E. \quad (2.03.2)$$

При разрядке конденсатора в цепи протекает убывающий во времени электрический ток. По определению, сила тока

$$I(t) = \frac{dQ}{dt}. \quad (2.03.3)$$

Нас интересует заряд Q , т. е. необходимо вычислить $Q = \int_0^{\infty} I dt$.

Для этого служит электронное устройство, называемое интегратором.

При подключении заряженного конденсатора к интегратору, который в свою очередь подключен к вольтметру, в цепи интегратора протекает ток. Напряжение на выходе интегратора пропорционально интегралу от силы тока на его входе, т. е. заряду:

$$U_x = b \int I(t) dt = b \int \frac{dQ}{dt} \cdot dt = b \int dQ = bQ, \quad (2.03.4)$$

где b – постоянная интегратора (она неизвестна).

Напряжение U_x измеряется цифровым вольтметром. Сопоставляя формулы (2.03.2) и (2.03.4), получаем:

$$\frac{U_x}{b} = C_x \cdot E. \quad (2.03.5)$$

В полученном выражении постоянная интегратора b и разность потенциалов на конденсаторе E являются неизвестными. Поэтому только на основании (2.03.5) определить C_x оказывается невозможным. Для того, чтобы избежать определения величин b и E , в данной работе применяется хорошо известный метод калибровки. Включим вместо конденсатора C_x конденсатор с известной емкостью C_1 и проведем аналогичные измерения. При этом на выходе интегратора получим отсчет U_1 и по аналогии с (2.03.5) запишем:

$$\frac{U_1}{b} = C_1 \cdot E. \quad (2.03.6)$$

Разделив друг на друга равенства (2.03.5) и (2.03.6), получим

$$C_x = \frac{U_x}{U_1} \cdot C_1, \quad (2.03.7)$$

где U_x и U_1 – показания вольтметра при разряде неизвестного и известного конденсаторов соответственно (максимальные значения показаний на индикаторном табло вольтметра); C_1 емкость известного конденсатора.

Конденсаторы широко используются в различных областях техники: в электронике, электротехнике, энергетике. В горном деле энергия заряженных конденсаторов используется при взрывных работах для воспламенения детонаторов. На импульсном

выделении энергии при разряде конденсаторов основан метод электрогидравлической очистки скважин. В обогащении полезных ископаемых конденсаторы находят применение при электросепарации слабомагнитных руд. В состав электронных геофизических приборов конденсаторы входят в качестве одной из составных частей. Разрабатываются специальные конструкции конденсаторов для работы во взрыво- и пожароопасных условиях.

Выполнение работы

Необходимые приборы: конденсатор с известной емкостью ($C_1 = 4700 \text{ пФ} \pm 10 \%$); конденсатор с неизвестной емкостью C_x , которая определяется в данной работе; источник постоянного тока с эдс E ; переключатель; интегратор; цифровой вольтметр. Все элементы схемы, кроме вольтметра, смонтированы внутри лабораторного стенда.

Схема экспериментальной установки для определения емкости конденсатора показана на рис. 6 и на панели лабораторного стенда.

Порядок выполнения работы

1. Подготовьте цифровой вольтметр к работе согласно инструкции по эксплуатации, находящейся на лабораторном столе.

2. Подготовьте схему для измерения емкости неизвестного конденсатора C_x , для чего гибкими перемычками попарно соедините клеммы 1 и 3, 5 и 7, 6 и 8, а выходные клеммы интегратора 9 и 10 соедините с входом вольтметра (см. рис. 6).

3. Включите лабораторный стенд тумблером, расположенным в левой части передней стенки.

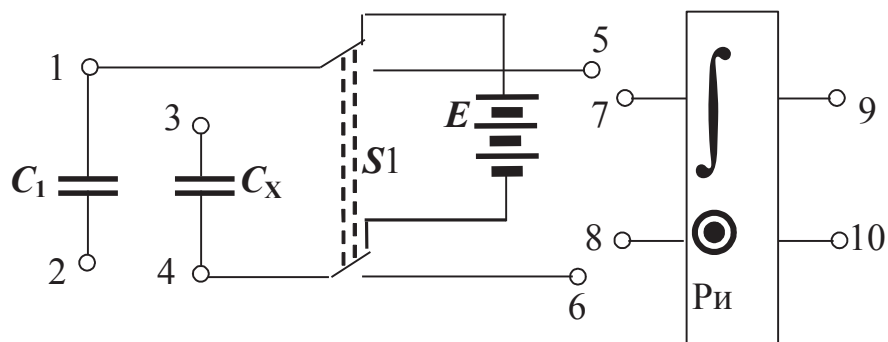


Рис. 6. Схема экспериментальной установки

4. Переключателем S_1 конденсатор C_x подключается к источнику E (в верхнем положении) и заряжается (время полной зарядки конденсатора ~ 10 с).

5. Интегратор разряжается нажатием кнопки **Ри**. Кнопка **Ри** на интеграторе предназначена для его принудительного разряда и подготовки прибора к новому измерению.

6. Затем переключателем S_1 неизвестный конденсатор подключается к интегратору (в нижнем положении). Поскольку используемый в данной работе интегратор не является идеальным, происходит его самопроизвольный разряд по окончании процесса интегрирования. Поэтому в качестве U_x следует принимать максимальное значение показаний на табло вольтметра. Показание U_x на табло вольтметра записывается в табл. 3.1.

7. Измерения показаний вольтметра при разрядке неизвестного конденсатора проводят 5 раз.

8. После этого клеммы 1 и 3 размыкаются, а клеммы 2 и 4 замыкаются (см. рис. 6). При этом вместо неизвестного конденсатора в цепь включается конденсатор с известной емкостью C_1 . С ним проводят пять измерений, согласно вышеописанному порядку. Результаты также записываются в табл. 3.1.

9. Конденсаторы C_x и C_1 соединяются параллельно путем добавления перемычки между клеммами 1 и 3. Проводится пять измерений для цепи из двух параллельно соединенных конденсаторов.

10. Конденсаторы C_x и C_1 соединяются последовательно, для чего удаляют перемычки 1 - 3, 2 - 4 и устанавливают перемычку

между клеммами 2 и 3. Проводятся пять измерений для цепи из двух последовательно соединенных конденсаторов. Все результаты также записываются в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Результаты измерений

Номер опыта	Неизвестная емкость C_x		Известная емкость C_1		Параллельное соединение		Последовательное соединение	
	U_x , В	ΔU_x , В	U_1 , В	ΔU_1 , В	$U_{\text{пар}}$, В	$\Delta U_{\text{пар}}$, В	$U_{\text{пос}}$, В	$\Delta U_{\text{пос}}$, В
1								
2								
3								
4								
5								
Средние значения	$\bar{U}_x =$	$\Delta \bar{U}_x =$	$\bar{U}_1 =$	$\Delta \bar{U}_1 =$	$\bar{U}_{\text{пар}} =$	$\Delta \bar{U}_{\text{пар}} =$	$\bar{U}_{\text{пос}} =$	$\Delta \bar{U}_{\text{пос}} =$

Определяются средние значения показаний вольтметра U_x , U_1 , $U_{\text{пар}}$, $U_{\text{пос}}$. По этим средним значениям вычисляются опытные значения величин емкостей.

$$C_x = \frac{\bar{U}_x}{\bar{U}_1} \cdot C_1; \quad (2.03.8)$$

$$C_{\text{пар}} = \frac{\bar{U}_{\text{пар}}}{\bar{U}_1} \cdot C_1; \quad (2.03.9)$$

$$C_{\text{пос}} = \frac{\bar{U}_{\text{пос}}}{\bar{U}_1} \cdot C_1. \quad (2.03.10)$$

Теоретическое значение емкости параллельного соединения конденсаторов вычисляется следующим образом:

$$C_{\text{пар}} = C_x + C_1. \quad (2.03.11)$$

Емкость последовательного соединения конденсаторов рассчитывается по следующей формуле:

$$\frac{1}{C_{\text{пос}}} = \frac{1}{C_x} + \frac{1}{C_1}, \quad (2.03.12)$$

из которой следует расчетная формула для вычисления емкости последовательного соединения конденсаторов:

$$C_{\text{пос}} = \frac{C_x \cdot C_1}{C_x + C_1}. \quad (2.03.13)$$

Используя значение C_x , рассчитанное по формуле (2.03.8), вычислите по формулам (2.03.12) и (2.03.13) значения емкостей параллельного и последовательного соединений конденсаторов. Результат расчетов сравните с экспериментальными значениями, определенными по формулам (2.03.9) и (2.03.10).

Вычисление погрешностей

Средние относительные погрешности емкостей вычисляются по формулам:

$$E_{C_x} = \frac{\Delta \bar{C}_x}{\bar{C}_x} = \frac{\Delta \bar{U}_x}{\bar{U}_x} + \frac{\Delta \bar{U}_1}{\bar{U}_1} + \frac{\Delta C_1}{C_1}; \quad (2.03.14)$$

$$E_{C_{\text{ПАР}}} = \frac{\Delta \bar{C}_{\text{пар}}}{\bar{C}_{\text{пар}}} = \frac{\Delta \bar{U}_{\text{пар}}}{\bar{U}_{\text{пар}}} + \frac{\Delta \bar{U}_1}{\bar{U}_1} + \frac{\Delta C_1}{C_1}; \quad (2.03.15)$$

$$E_{C_{\text{ПОС}}} = \frac{\Delta \bar{C}_{\text{пос}}}{\bar{C}_{\text{пос}}} = \frac{\Delta \bar{U}_{\text{пос}}}{\bar{U}_{\text{пос}}} + \frac{\Delta \bar{U}_1}{\bar{U}_1} + \frac{\Delta C_1}{C_1}. \quad (2.03.16)$$

Средние абсолютные погрешности емкостей:

$$\Delta \bar{C}_x = E_{C_x} \cdot \bar{C}_x; \quad (2.03.17)$$

$$\Delta \bar{C}_{\text{пар}} = E_{C_{\text{пар}}} \cdot \bar{C}_{\text{пар}}; \quad (2.03.18)$$

$$\Delta \bar{C}_{\text{пос}} = E_{C_{\text{пос}}} \cdot \bar{C}_{\text{пос}}. \quad (2.03.19)$$

Окончательные результаты измерения емкостей конденсаторов записывается в виде:

$$C_x = \bar{C}_x \pm \Delta \bar{C}_x; \quad (2.03.20)$$

$$C_{\text{пар}} = \bar{C}_{\text{пар}} \pm \Delta \bar{C}_{\text{пар}}; \quad (2.03.21)$$

$$C_{\text{пос}} = \bar{C}_{\text{пос}} \pm \Delta \bar{C}_{\text{пос}}. \quad (2.03.22)$$

Сравните значения емкостей параллельного и последовательного соединений конденсаторов, полученные опытным путем, и рассчитанные по теоретическим формулам (2.03.11) и (2.03.13). Если разница между теоретическими и опытными значениями емкостей параллельного и последовательного соединения конденсаторов не превышает соответствующей абсолютной погрешности, можно считать, что данный метод удовлетворительно обеспечивает проведение измерений емкостей. Данный анализ результатов работы производится в выводе к лабораторной работе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение емкости конденсатора.
2. Объясните по схеме цепи назначение используемых приборов.
3. Подробно объясните принцип определения емкости в данной работе.
4. Выведите расчетные формулы для определения емкостей C_x , $C_{\text{пар}}$, $C_{\text{пос}}$.
5. Каковы единицы измерения емкости?
6. Изобразите схемы параллельного и последовательного соединений конденсаторов. Запишите формулы для результирующих емкостей.
7. Выведите формулы для расчета погрешностей ΔC_x , $\Delta C_{\text{пар}}$, $\Delta C_{\text{пос}}$.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Иродов И.Е. Основные законы электромагнетизма. М.: Высшая школа, 1983. 51 – 54 с.

Калашиников С. Г. Электричество. М.: Наука, 1970. 77 – 91с.

Савельев И. В. Курс общей физики. Т 2. М.: Наука, 1982. 87 – 89 с.

Физический практикум. Электричество и оптика /Под ред. В. И. Ивероной. М.: Наука, 1968. 815 с.