

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра общей физики

Ф.А. КАЗАЧКОВА, В.Г. КАЗАЧКОВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЁМКОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
К ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ № 4

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом
государственного образовательного учреждения высшего профессионального
образования «Оренбургский государственный университет» в качестве
методических указаний для студентов

Оренбург 2006

УДК 621.319. 4: 621.317.715 (07)

ББК 34.9

В 57

Рецензент

кандидат физико-математических наук, профессор Влацкий Ф.Д.

Казачкова Ф.А.

В57

Определение электроёмкости конденсаторов [Текст]: методические указания к лабораторной работе №4/Ф.А.Казачкова., В.Г.Казачков - Оренбург: ГОУ ОГУ, 2006. – 9 с.

Методические указания предназначены для студентов дневного, вечернего и заочного отделений всех специальностей для выполнения лабораторной работы № 4 «ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЁМКОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ».

ББК 34.9

© Казачкова Ф.А.,

© ГОУ ОГУ, 2006

1 Лабораторная работа № 4. Определение электроёмкости конденсаторов

Цель работы

- 1 Познакомиться с понятием электроёмкости конденсатора.
- 2 Измерить ёмкость конденсатора и ёмкость батареи конденсаторов.

Введение

В электрических цепях часто применяются конденсаторы. Конденсатор характеризуется электроёмкостью и предельным напряжением. Под электроёмкостью (ёмкостью) конденсатора понимают коэффициент пропорциональности между зарядом и напряжением на обкладках конденсатора

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

где C – ёмкость конденсатора.

Предельное напряжение – это напряжение, которое можно прикладывать к конденсатору не опасаясь его пробоя, т.е. выхода из строя из-за разрушения среды между его обкладками.

Располагая набором конденсаторов, можно значительно увеличить количество возможных значений ёмкости и рабочего напряжения, если использовать соединения конденсаторов в батареи. Все возможные комбинации соединения конденсаторов сводятся к двум: параллельному (рисунок 1а) и последовательному (рисунок 1б).

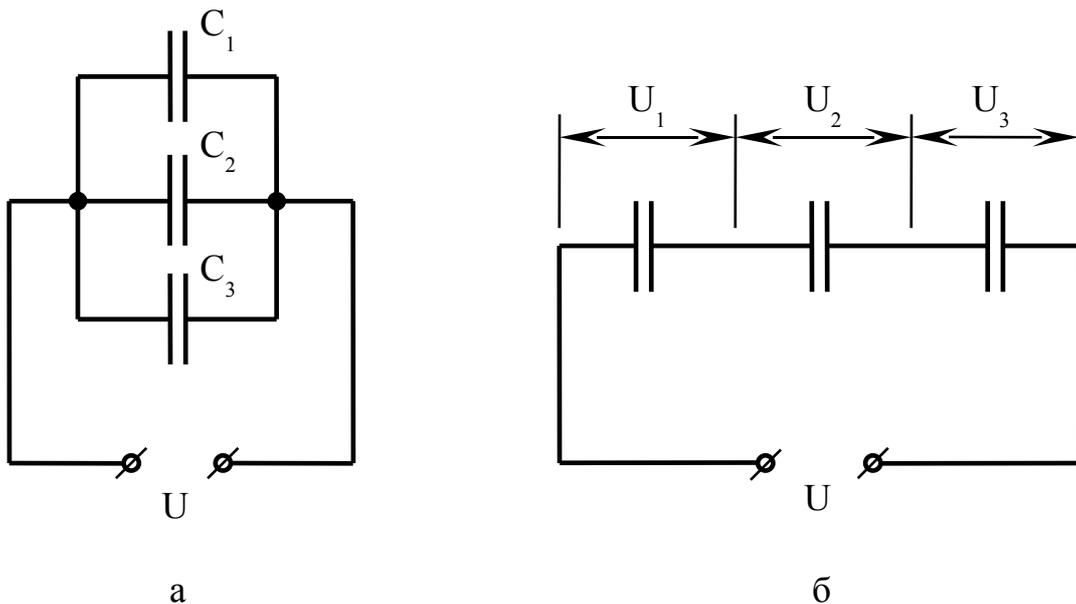


Рисунок 1

- 1 При параллельном соединении конденсаторов в батарею каждый конденсатор находится под одинаковым напряжением и получит заряд в соответствии с формулой (1)

$$q_i = C_i U.$$

Очевидно, что суммарный заряд батареи будет равен

$$q = \sum_i q_i = \sum_i C_i U = U \sum_i C_i.$$

Из этого соотношения ёмкость батареи определится как

$$C = \frac{q}{U} = \sum_i C_i,$$

т.е. ёмкость батареи параллельно соединенных конденсаторов равна сумме емкостей всех конденсаторов батареи.

Предельно допустимое напряжение будет определяться минимальным значением предельного напряжения на одном из конденсаторов.

- 2 При последовательном соединении все конденсаторы получают одинаковый заряд (промежуточные конденсаторы заряжаются путем индукции), но разные напряжения, равные

$$U_i = \frac{q}{C_i}.$$

Поскольку напряжение батареи конденсаторов равно сумме напряжений на каждом конденсаторе

$$U = \sum_i U_i = \sum_i \frac{q}{C_i} = q \sum_i \frac{1}{C_i},$$

то согласно определению ёмкости, можно записать

$$\frac{U}{q} = \frac{1}{C} = \sum_i \frac{1}{C_i}.$$

Следовательно, при последовательном соединении величина обратная ёмкости батареи конденсаторов равна сумме обратных значений емкости каждого конденсатора батареи.

Описание метода измерения

Ёмкость конденсатора может быть измерена различными методами. В данной работе измерение емкости конденсатора проводится путем сравнения его ёмкости с ёмкостью эталонного конденсатора.

Для этого берутся два конденсатора, один из которых принят за эталонный, его ёмкость $C_э$, ёмкость второго конденсатора – C , которые заряжаются при одинаковом напряжении. Согласно формуле (1) получим

$$\begin{aligned}q_э &= C_эU, \\q &= CU\end{aligned}$$

Далее найдем отношение этих зарядов на конденсаторах

$$\frac{q_э}{q} = \frac{C_э}{C},$$

отсюда

$$C = C_э \frac{q}{q_э} \quad (2)$$

Из формулы (2) видно, что ёмкость неизвестного конденсатора определяется через ёмкость эталонного конденсатора и отношение зарядов на обоих конденсаторах.

Определение зарядов на конденсаторах выполняется баллистическим методом с помощью гальванометров магнитоэлектрической системы. Принцип действия приборов магнитоэлектрической системы основан на взаимодействии магнитного поля постоянного магнита и рамки с током, подвешенной между полюсами магнита. Возникающий при этом взаимодействии момент силы поворачивает рамку на угол пропорциональный силе тока в рамке.

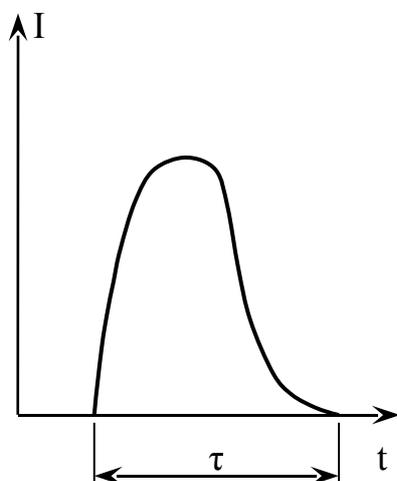


Рисунок 2

Предположим, что мы подключили к гальванометру заряженный конденсатор. Конденсатор начнет разряжаться и через гальванометр пойдет кратковременный ток (импульс тока), сила которого будет изменяться во времени примерно так, как показано на рисунке 2. Будем считать, что длительность импульса тока τ мала ($\tau = 10^{-5} - 10^{-7}$ с) по сравнению с периодом T ($T \approx 5 - 10$ с) колебания рамки, т.е. $\tau \ll T$. В этом случае говорят, что гальванометр находится в баллистическом режиме, т.е. в режиме свободных колебаний. Действительно, взаимодействие магнитного поля с током в рамке происходит за очень короткий промежуток времени и носит характер удара. Под действием удара возникает колеба-

тельное движение рамки, описываемое уравнением свободных колебаний. Поскольку амплитуда свободных колебаний зависит только от величины первоначального удара, то, в нашем случае, максимальный угол поворота рамки будет пропорционален импульсу тока, т.е. величине заряда, прошедшего через рамку. Связь между зарядом и максимальным углом отклонения рамки гальванометра определяется соотношением:

$$q = \int_0^{\tau} Idt = \epsilon \varphi_{\max} , \quad (3)$$

где ϵ – постоянная прибора, называемая баллистической постоянной, она определяется из опыта.

Таким образом, измеряя максимальное отклонение рамки гальванометра, можно определить величину заряда, прошедшего через гальванометр. Так как практически отклонение φ светового указателя гальванометра всегда отсчитывается по линейной шкале, то удобнее выразить величину « ϵ » через смещение светового указателя вдоль шкалы, т.е.

$$\varphi = \frac{n}{l} , \quad (4)$$

где l – расстояние от зеркала гальванометра до шкалы, n – число делений шкалы, на которое смещается световой указатель.

Подставив формулу (4) в формулу (3), получим, что

$$q = \frac{\epsilon}{l} n .$$

Поскольку расстояние l в установке не меняется, то, обозначив $\frac{\epsilon}{l} = a$, запишем, что

$$q = an$$

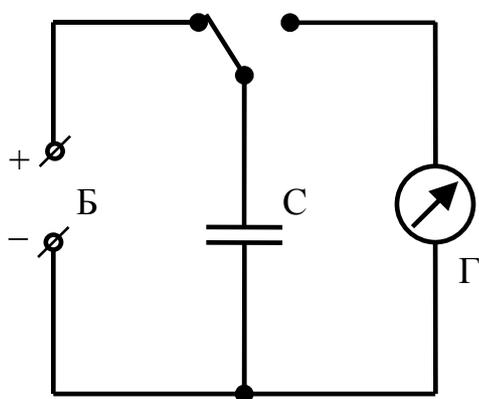


Рисунок 3

В данной работе баллистическую постоянную определяют не расчетом, а опытным путем, т.е. градуируют шкалу гальванометра (в единицах заряда) для измерения величины заряда. Употребляемая для этого схема приведена на рисунке 3. На рисунке 3 Б – батарея с известным напряжением U , С – конденсатор известной ёмкости. В этом случае будет известен и заряд на конденсаторе, согласно формуле (1). Поэтому, наблюдая отклонение светового указателя гальванометра φ_{\max} , можно найти значение заряда q по формуле (3).

Если в схеме рисунка 3 один раз включить конденсатор с известной ёмкостью C_1 , а другой раз – с неизвестной ёмкостью C_2 , то отношение отклонений указателя гальванометра в обоих случаях будет равно отношению их ёмкостей, в соответствии с формулами (2) и (3), т.е.

$$\frac{\varphi_1}{\varphi_2} = \frac{C_1}{C_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (5)$$

Поэтому баллистический метод определения зарядов на конденсаторах позволяет очень просто сравнивать их ёмкости. При этом, очевидно, что напряжение U знать не нужно.

Описание установки

Лабораторная установка, блок-схема которой представлена на рисунке 4, состоит из измерительного блока (ИБ) и гальванометра Γ . На рисунке 4 измерительный блок обведен штриховой линией. Внутри блока находится выпрямитель ВП с регулируемым напряжением, переключатель ВП – Γ и набор конденсаторов C_3, C_2, C_1, C_Σ . На панель измерительного блока вынесены вольтметр V , регулятор напряжения R , ключ K , сигнальная лампочка L , переключатель напряжения заряда-разряда конденсаторов ВП- Γ , ряд клемм (C_1, C_2, C_3, C_Σ), к которым подключены обкладки конденсаторов, клеммы “U” регулируемого напряжения, а также клеммы “ Γ ” для подключения гальванометра.

В работе использован гальванометр магнитоэлектрической системы со световым указателем.

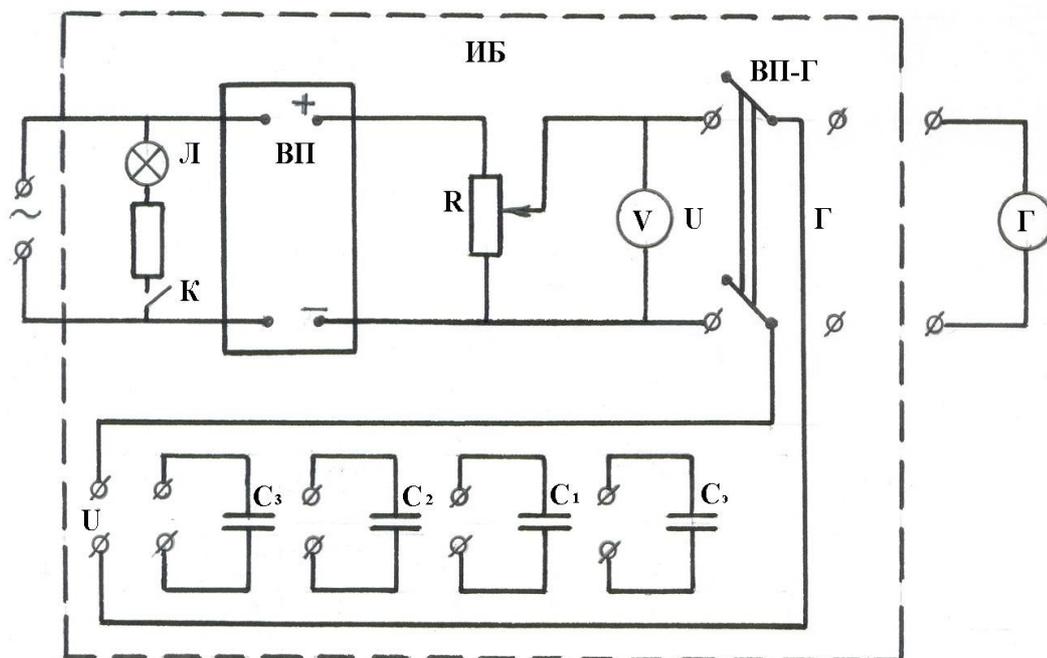


Рисунок 4

Порядок выполнения работы

1 Ознакомьтесь с блок-схемой установки (рисунок 4). Установите регулятор напряжения “R” в крайнее левое положение, переключатель “ВП-Г” установите в положение “ВП”.

2 Установка гальванометра. Поставьте на гальванометре шкалу “0 - 10”. Подключите гальванометр к сети. Разарретируйте гальванометр, установив переключатель на корпусе гальванометра в положение “x 100”. Установите световой указатель (световой зайчик) на нулевую отметку шкалы. Помните, регулятор установки нуля на гальванометре нужно поворачивать плавно, так как подвижная система гальванометра обладает большой инерцией. При регулировке старайтесь не касаться рабочей поверхности зеркала, которое уже зафиксировано в рабочем положении. Установите переключатель в положение “x 1” и опять подкорректируйте установку светового указателя на ноль шкалы. В данной работе положение переключателя “x 1” является рабочим, поэтому установку светового указателя на ноль необходимо провести очень тщательно.

Подключите гальванометр к измерительному блоку (ИБ), для чего соедините проводами клеммы гальванометра и клеммы “Г” на панели блока ИБ.

3 Подсоедините клеммы “С_э” – эталонного конденсатора к клеммам “U” на панели блока ИБ.

4 Включите измерительный блок в сеть и регулятором напряжения “R” установите рабочее напряжение 15 В. Быстро переключите ключ “ВП-Г” в положение “Г”, а затем верните в исходное положение “ВП”, при этом световой указатель должен перемещаться по шкале. Если световой указатель совершает колебания, нажмите кнопку “x 100” и через несколько секунд снова переключите на кнопку “x 1”. Дождитесь когда указатель прекратит колебания. Установка готова к работе.

5 Проградуируйте гальванометр по величине заряда, т.е. определите цену деления шкалы гальванометра. Для этого:

5.1 Рассчитайте по формуле (1) заряд на эталонном конденсаторе ёмкостью $C_э=1 \cdot 10^{-7} \text{Ф} = 0,1 \text{ мкФ}$ при рабочем напряжении 15 В.

5.2 Повторив действия, описанные в пункте 4 измерьте величину отклонения светового указателя на шкале не менее 6 раз и результаты занесите в таблицу 1. После проведения измерений регулятор напряжения установите в крайнее левое положение.

Таблица 1

№	1	2	3	4	5	6
n _i						

Рассчитайте среднее значение этих отклонений \bar{n} .

5.3 Определите цену деления (баллистическую постоянную) шкалы как отношение заряда на эталонном конденсаторе к величине среднего значения \bar{n} отклонения светового указателя

$$a = \frac{q_э}{\bar{n}}$$

- 6 Отсоедините провода от клемм эталонного конденсатора и подсоедините их к клеммам конденсатора C_1 . Регулятором напряжения установите рабочее напряжение в пределах 5 - 15В. Проведите измерение отклонения светового указателя, повторяя действия, описанные в пункте 4. Для большей точности измерение лучше провести 3 - 4 раза и взять среднее значение. Определите ёмкость конденсатора C_1 , умножая число делений шкалы гальванометра, соответствующих положению светового указателя, на цену деления.
- 7 Измерьте ёмкости C_2 и C_3 , для чего повторите действия, описанные в пунктах 4, 6.
- 8 Соедините ёмкости C_1 , C_2 , C_3 параллельно согласно рисунку 1а. Измерьте ёмкость параллельно соединённых конденсаторов, повторив операции, указанные в пунктах 4, 6.

Рассчитайте ёмкость параллельно соединённых конденсаторов по измеренным Вами ёмкостям конденсаторов. Сравните результаты.

- 9 Соедините ёмкости C_1 , C_2 , C_3 последовательно согласно рисунку 1б. Измерьте ёмкость последовательно соединённых конденсаторов, повторив действия, описанные в пунктах 4, 6. Рассчитайте ёмкость последовательно соединённых конденсаторов по измеренным Вами ёмкостям конденсаторов. Сравните результаты.

Результаты измерений ёмкостей C_1 , C_2 , C_3 , $C_{\text{пар.}}$ и $C_{\text{пос.}}$ внесите в таблицу 2.

Таблица 2

	Измерение ёмкости C_1	Измерение ёмкости C_2	Измерение ёмкости C_3	Измерение ёмкости $C_{\text{пар.}}$	Измерение ёмкости $C_{\text{пос.}}$
	Показания Гальванометра	Показания гальванометра	Показания гальванометра	Показания гальванометра	Показания Гальванометра
n_i					
\bar{n}					
C_i	$C_1=$	$C_2=$	$C_3=$	$C_{\text{пар.}}=$	$C_{\text{пос.}}=$

Контрольные вопросы

- 1 Что называют электроёмкостью уединенного проводника и конденсатора?
- 2 Чему равна электроёмкость плоского конденсатора?
- 3 Как рассчитать ёмкость параллельно соединённых конденсаторов?
- 4 Как рассчитать ёмкость последовательно соединённых конденсаторов?

Список использованных источников

- 1 **Савельев И.В.** Курс общей физики [Текст]: в 5 кн. Кн.2 Электричество и магнетизм: учебное пособие для втузов/ И.В.Савельев – М.: 000 “Издательство Астрель”: 000 “Издательство АСТ”, 2002. – 336 с.
- 2 **Детлаф А.А.** Курс физики [Текст]: учебное пособие для втузов/А.А.Детлаф, Б.М.Яворский – М.: Высшая школа, 1989. – 608 с.