

## **Лабораторная работа 2.08.**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ БАЛЛИСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ**

**Цель работы:** изучение понятия электрической емкости на примере конденсаторов и их соединений.

**Задание:** на основе полученных экспериментальных данных определить емкости конденсаторов и их соединений.

**Подготовка к выполнению лабораторной работы:** изучить понятие электрической емкости конденсаторов, их соединений и принцип работы баллистического гальванометра.

#### **Библиографический список**

1. Савельев И.В. Курс общей физики. М.: Наука, 1988. Т. II. §§ 26, 27.
2. Сивухин Д.Н. Общий курс физики. М.: Наука, 1982. Т. III. §§ 26, 27, 125.

#### **Контрольные вопросы**

1. Какая величина называется емкостью конденсатора? От чего зависит и какими единицами измеряется емкость конденсатора?
2. С какой целью создаются конденсаторы и их соединения?
3. Как получить формулы для емкости параллельного и последовательного соединений конденсаторов?
4. Для измерения какой величины используется баллистический гальванометр и в чем его конструктивные особенности?
5. На основании каких физических законов получена формула (7)?
6. Как найти абсолютные погрешности измерений?

#### **Описание аппаратуры и методы измерений**

Емкостью конденсатора называется отношение заряда конденсатора  $q$  к разности потенциалов между его обкладками  $U$ :

$$C = \frac{q}{U}. \quad (1)$$

Емкость зависит от размеров, формы конденсаторов и свойств среды, заполняющей пространство между обкладками. Единицей емкости в системе СИ служит фарад, однако, ввиду большой величины этой единицы чаще используются дольные единицы: микрофарад, нанофарад и пикофарад.

В практических целях конденсаторы часто соединяют последовательно и параллельно. Емкость батареи, состоящей из  $N$  параллельно соединенных конденсаторов, вычисляется по формуле:

$$C_{\text{пар}} = \sum_{i=1}^N C_i, \quad (2)$$

а последовательно соединенных — по формуле:

$$\frac{1}{C_{\text{пос}}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i}, \quad (3)$$

где  $C_i$  — емкость отдельных конденсаторов.

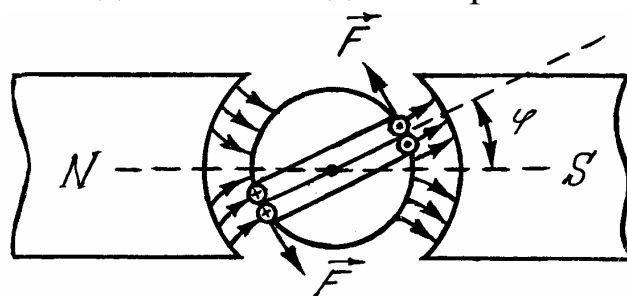


Рис. 1

Для определения емкости существуют различные методы: баллистический, мостовой, резонансный и другие.

Баллистический метод основан на использовании баллистического гальванометра. Для понимания этого метода рассмотрим принцип работы баллистического гальванометра (БГ). БГ предназначен для измерения заряда, проходящего через цепь при кратковременных импульсах тока. Основной частью БГ является рамка с обмоткой, подвешенная на упругой нити между полюсами магнита, где она может совершать крутильные колебания вокруг вертикальной оси (рис. 1, вид сверху).

Возвращающий момент, стремящийся вернуть рамку в положение равновесия, создается закрученной нитью и

пропорционален углу отклонения  $\varphi$ . Момент инерции рамки выбирается большим, чтобы увеличить период ее собственных колебаний. При колебаниях в обмотке рамки возбуждается индукционный ток, тормозящий момент которого пропорционален угловой скорости. Движение рамки гальванометра под действием перечисленных моментов сил описывается дифференциальным уравнением для затухающих колебаний.

При прохождении через гальванометр кратковременного импульса тока можно пренебречь всеми силами кроме амперовых сил  $F$ , действующих на рамку со стороны внешнего магнитного поля. Эти силы создают вращающий момент, пропорциональный току, так что уравнение движения рамки может быть записано в виде:

$$\alpha_1 J = I \frac{d\omega}{dt},$$

где  $\alpha_1$  — коэффициент пропорциональности;  $J = \frac{dq}{dt}$  — ток;  $I$  — момент инерции рамки;  $\omega$  — угловая скорость.

Интегрируя это уравнение найдем угловую скорость, которую приобретает рамка за время прохождения тока:

$$\omega = \frac{\alpha_1}{I} q, \quad (4)$$

где  $q$  — заряд, прошедший через гальванометр.

Прошедший импульс тока сообщает рамке толчок (аналогично удару молотка по массивному шару), который служит причиной ее колебаний. Максимальный поворот рамки соответствует случаю, когда кинетическая энергия  $\frac{I\omega^2}{2}$ , полученная рамкой за время прохождения тока, переходит в потенциальную энергию закрученной нити  $\frac{\alpha_2 \varphi_0^2}{2}$ , т.е.:

$$\frac{I\omega^2}{2} = \frac{\alpha_2 \varphi_0^2}{2}, \quad (5)$$

где  $\alpha_2$  — коэффициент, зависящий от упругих свойств нити;  
 $\varphi_0$  — максимальный угол поворота рамки.

Угол  $\varphi_0$  связан с отклонением светового луча («зайчика») на шкале гальванометра соотношением:

$$\varphi_0 = \alpha_3 n, \quad (6)$$

где  $\alpha_3$  — коэффициент пропорциональности;  $n$  — число делений шкалы.

Подставляя (4), (6) в (5) найдем, что величина заряда прошедшего через гальванометр, связана с отклонением «зайчика» соотношением  $q = \frac{\alpha_3}{\alpha_1} \sqrt{I \alpha_2} n$

или

$$q = C_B n, \quad (7)$$

где  $C_B = \frac{\alpha_3}{\alpha_1} \sqrt{I \alpha_2}$  — баллистическая постоянная гальванометра (она зависит от конструкции гальванометра и определяется экспериментально).

Для определения емкостей конденсаторов и их соединений используется измерительный стенд, электрическая схема которого показана на рис. 2.

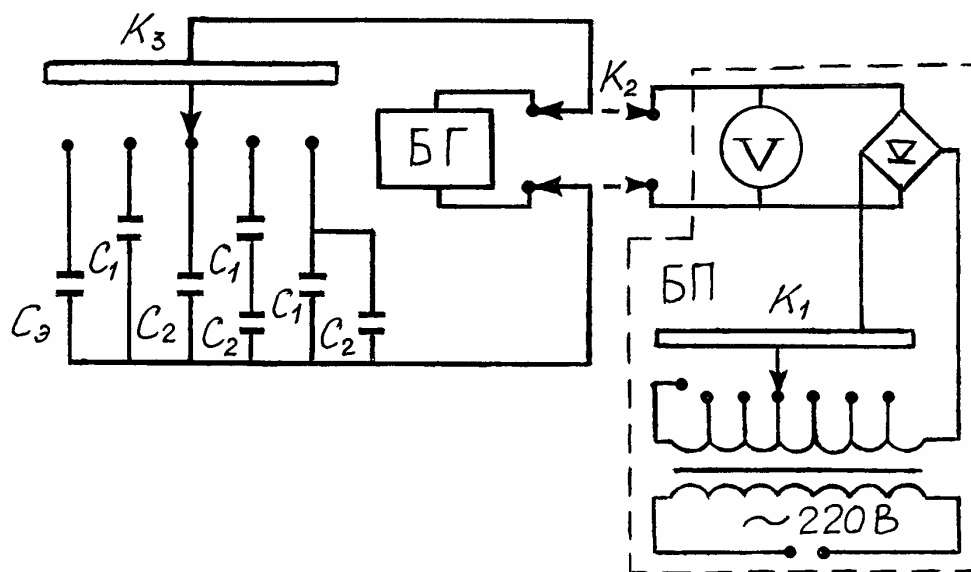


Рис. 2

В схему входят блок питания (БП) с переключателем напряжения  $K_1$ , набор конденсаторов, включающий в себя эталонный конденсатор  $C_э$ , конденсаторы неизвестной емкости  $C_1$  и  $C_2$  и батареи из параллельно и последовательно соединенных конденсаторов  $C_1$  и  $C_2$ , а также баллистический гальванометр. Тот или иной конденсатор подключается с помощью переключателя  $K_3$ .

Если переключатель  $K_1$  поставить в одно из положений ( $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_7$ ), переключатель  $K_2$  в положение БП, а  $K_3$  замкнуть на один из конденсаторов, то конденсатор зарядится до некоторой разности потенциалов  $U$  (измеряется вольтметром  $V$ ). Заряд конденсатора согласно формуле (1) будет равен

$$q = CU. \quad (8)$$

При переключении  $K_2$  в положение БГ конденсатор разрядится через БГ, что дает возможность измерить величину заряда конденсатора  $q$ . Подставляя (7) в (8) найдем:

$$C = \frac{C_в n}{U}. \quad (9)$$

Соотношение (9) может быть использовано как для определения  $C_в$ , так и для определения измеряемой емкости  $C$ .

Заряжая эталонный конденсатор  $C_э$  до разности потенциалов  $U_э$  и разряжая его через БГ получим

$$C_в = \frac{C_э U_э}{n_э}. \quad (10)$$

Подставим (10) в (9):

$$C = C_э \frac{U_э}{U} \frac{n}{n_э}. \quad (11)$$

Формула (11) является расчетной при определении емкостей конденсаторов.

### Порядок выполнения работы

1. Составляют спецификацию электроизмерительных приборов.

2. Включают тумблер «Сеть» и ставят ключ  $K_1$  в одно из положений ( $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_7$ ).

3. Включают осветитель гальванометра в сеть 220 В. При этом, на шкале должен появиться «зайчик». Переводят переключатель на гальванометре из положения «арретир» в положение «X10». Проверяют установку нуля гальванометра и при необходимости производят корректировку его с помощью ручки, расположенной на крышке осветителя гальванометра.

4. Ставят ключ  $K_2$  в положение БП, ключ  $K_3$  - в положение  $C_3$  и по вольтметру  $V$  определяют  $U_3$ . Записывают в таблицу 1 значения  $U_3$  и  $C_3$ .

$C_3 = \dots$ мкф	$C_1 = \dots$ мкф	$C_2 = \dots$ мкф	$C_{\text{пос}} = \dots$ мкф	$C_{\text{пар}} = \dots$ мкф
$U_3 = \dots$ В	$U_1 = \dots$ В	$U_2 = \dots$ В	$U_{\text{пос}} = \dots$ В	$U_{\text{пар}} = \dots$ В
$n_3$ , дел.	$n_1$ , дел.	$n_2$ , дел.	$n_{\text{пос}}$ , дел.	$n_{\text{пар}}$ , дел.

5. Переключают ключ  $K$  в положение БГ. Записывают первое максимальное отклонение  $n_3$  «зайчика» (имеется ввиду отсчет в момент наибольшего отклонения «зайчика»).

6. Выждав, когда «зайчик» установится на нуле, производят измерение еще два раза (при том же напряжении  $U_3$ ).

7. Переключают ключ  $K_2$  в нейтральное положение, ключ  $K_3$  - в положение  $C_1$ , и ключом  $K_1$  устанавливают величину  $U_1$ , затем измеряют  $n_1$  трижды (при  $U_1 = \text{Const}$ ).

8. Включают вместо емкости  $C_1$  емкость  $C_2$ . Устанавливают  $U_2$ . Измеряют  $n_2$  (при  $U_2 = \text{Const}$ ).

9. Включают вместо  $C_2$  две емкости ( $C_1$  и  $C_2$ ) последовательно. Выполняют те же измерения (при  $U_{\text{пос}} = \text{Const}$ ).

10. Включают  $C_1$  и  $C_2$  параллельно. Выполняют те же измерения (при  $U_{\text{пар}} = \text{Const}$ ).

### Обработка результатов измерений

1. Рассчитывают по формуле (11) емкости  $C_1$  и  $C_2$  (по средним значениям  $n_1$  и  $n_2$ ).
2. Для меньшей емкости определяют погрешность измерения  $C$ .
3. Относительную погрешность  $E$  измерения этой емкости вычисляют, пользуясь соотношением:

$$E = \frac{\Delta C_{\text{э}}}{C_{\text{э}}} + \frac{\Delta U_{\text{э}}}{U_{\text{э}}} + \frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta n_{\text{э}}}{n_{\text{э}}} + \frac{\Delta n}{n}.$$

4. Результат записывают в виде:

$$(C \pm \Delta C) \text{ мкф.}$$

5. Определяют по формуле (11) емкость  $C_{\text{пос}}$  и  $C_{\text{пар}}$  (по средним значениям  $n_{\text{пос}}$  и  $n_{\text{пар}}$ ).
6. Вычисляют емкости при последовательном и параллельном соединениях по формулам (2), (3).
7. Сравнивают результаты расчета (п. 5) с данными измерений (п. 4).