

РАБОТА 3-5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА БАЛЛИСТИЧЕСКИМ ГАЛЬВАНОМЕТРОМ

Приборы: баллистический гальванометр, осветитель зеркала гальванометра и шкала для зеркального отсчета, эталон емкости, два конденсатора, провода, вольтметр.

КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Проводник, вблизи которого нет никаких других проводников, будем называть **уединенным**. Потенциал, который он создает в любой точке пространства, в том числе и потенциал самого проводника, пропорционален его заряду. Иными словами, потенциал проводника и его заряд связаны между собой линейно.

$$q = C \cdot \varphi \quad (1)$$

Величину $C = q/\varphi$ называют **электроемкостью** (или просто **емкостью**) уединенного проводника. Емкость уединенного проводника определяется зарядом, сообщением которого проводнику изменяет его потенциал на единицу. Емкость проводника зависит от его размеров и формы, но не зависит от материала, агрегатного состояния, формы и размеров полостей внутри проводника. Это связано с тем, что избыточные заряды распределяются на внешней поверхности проводника.

Единица электроемкости - Фарада (Ф). 1Ф - емкость такого уединенного проводника, потенциал которого изменяется на 1В при сообщении ему заряда в 1Кл.

На практике применяют более мелкие единицы емкости: 1 микрофарада (мкФ) = 10^{-6} Ф; 1 нанофарада (нФ) = 10^{-9} и 1 пикофарада (пФ) = 10^{-12} Ф.

Значительно большая емкость может быть получена, если вместо уединенного проводника взять конденсатор - два проводника, имеющих равные и противоположные по знаку заряды, причем конфигурация проводников такова, что поле, ими создаваемое, сосредоточено в основном между проводниками.

Под **емкостью конденсатора** понимается физическая величина, равная отношению заряда q , накопленного в конденсаторе, к разности потенциалов ($\varphi_1 - \varphi_2$) между его обкладками:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} \quad (2)$$

Емкость конденсатора простой формы можно вычислить. Для этого предполагают, что на каждой из обкладок находится некоторый заряд q , и вычисляют потенциал в электрическом поле рассматриваемого конденсатора U . Если удастся решить эту задачу, то отсюда получается и значение напряжения между обкладками конденсатора U , $U = \varphi_1 - \varphi_2$. После этого емкость можно найти по формуле $q = C \cdot U$.

ПЛОСКИЙ КОНДЕНСАТОР

Известно, что между двумя параллельными металлическими пластинами, имеющими равные по абсолютной величине и противоположные по знаку заряды, возникает электрическое поле. Напряжённость электрического поля между такими пластинами равна:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon \varepsilon_0} \quad (3)$$

где σ – поверхностная плотность заряда, ε – диэлектрическая проницаемость среды, ε_0 – электрическая постоянная. Если расстояние между пластинами достаточно мало по сравнению с их размерами, то электрическое поле однородно и сосредоточено в основном внутри конденсатора. Поверхностная плотность заряда равна $\sigma = q/S$. Подставим в формулу (3) и получим:

$$E = \frac{q}{\varepsilon\varepsilon_0 S}.$$

Напряженность электрического поля равна между параллельными проводящими пластинами равна:

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d},$$

приравняв, получим:

$$\frac{q}{\varepsilon\varepsilon_0 S} = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d} \quad (4)$$

Поскольку $(\varphi_1 - \varphi_2) = U$, выражение (4) можно переписать:

$$\frac{q}{\varepsilon\varepsilon_0 S} = \frac{U}{d} \text{ преобразовав, получим: } \frac{q}{U} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d} = C$$

Ёмкость плоского конденсатора определяется площадью пластин S , расстоянием между ними d и диэлектрической проницаемостью ε диэлектрика, помещённого между пластинами:

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d} \quad (5)$$

СОЕДИНЕНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ

Конденсаторы могут соединяться в батареи параллельно или последовательно. От того, как они соединены между собой, зависит емкость батареи и ее стойкость к электрическому пробое. Для расчета емкости батареи при параллельном соединении конденсаторов соединим их по схеме:

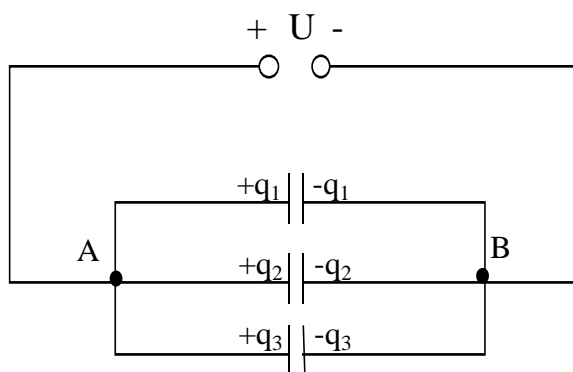


Рис. 1.

Пусть емкость соединяемых конденсаторов равны C_1, C_2, \dots, C_n , их заряды соответственно равны:

$$q_1 = C_1 U, \quad q_2 = C_2 U, \dots, q_n = C_n U \quad (6)$$

Складывая эти равенства и замечая, что **полный заряд системы**

$$q = q_1 + q_2 + \dots + q_n$$

получим

$$q = q_1 + q_2 + \dots + q_n = (C_1 + C_2 + \dots + C_n) \cdot U. \quad (7)$$

Полная емкость батареи конденсаторов C равна отношению полного заряда q к приложенной разности потенциалов U :

$$C = q/U = C_1 + C_2 + \dots + C_n = \sum_{i=1}^n C_i, \quad (8)$$

т.е. при параллельном соединении конденсаторов емкость батареи равна сумме емкостей включенных в батарею конденсаторов.

Для предотвращения пробоя системы прибегают к **последовательному соединению конденсаторов**. Если к концам батареи приложить разность потенциалов U , то крайние пластины системы зарядятся разноименными зарядами $\pm q$.

Вследствие электростатической индукции на всех промежуточных пластинах наведутся заряды, также численно равные q . При этом полная разность потенциалов

$$U = \sum_{i=1}^n U_i$$

распределится между конденсаторами соответственно их емкости.

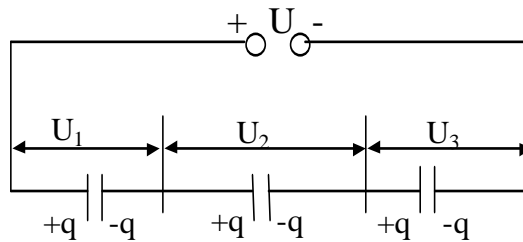


Рис. 2.

$$U_1 = q/C_1, \quad U_2 = q/C_2, \dots, U_n = q/C_n \quad (9)$$

Складывая все эти равенства, получим

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n = q \cdot (1/C_1 + 1/C_2 + \dots + 1/C_n). \quad (10)$$

Отношение $U/q = 1/C$ есть величина, обратная электроемкости всей системы, и иногда называется ее потенциальным коэффициентом. Из (9) следует

$$1/C = U/q = 1/C_1 + 1/C_2 + \dots + 1/C_n = \sum_{i=1}^n 1/C_i, \quad (11)$$

т. е. при последовательном соединении конденсаторов обратная величина емкости всей батареи равна сумме обратных величин емкостей соединенных в батарею конденсаторов.

Легко также видеть, что $1/C_i < \sum_{i=1}^n 1/C_i = 1/C$, $C < C_i$: при последовательном соединении конденсаторов электроемкость батареи меньше электроемкости каждого из конденсаторов. Однако при этом падение потенциала на каждом из конденсаторов $U_i < U$, и можно не опасаться пробоя конденсаторов.

ОПИСАНИЕ МЕТОДА

Если известна баллистическая постоянная гальванометра, то можно измерять величины электрических зарядов. Отсюда следует, что если конденсатор сначала зарядить до

определенного потенциала и затем разрядить через баллистический гальванометр, то можно определить емкость конденсатора, т.к. из трех величин, которые входят в формулу для определения емкости $C = q/U$, две величины, а именно q и U , оказываются известными. Эти соображения лежат в основе соответствующего метода измерения емкости.

Для измерения емкости этим методом указанные приборы собирают по следующей схеме:

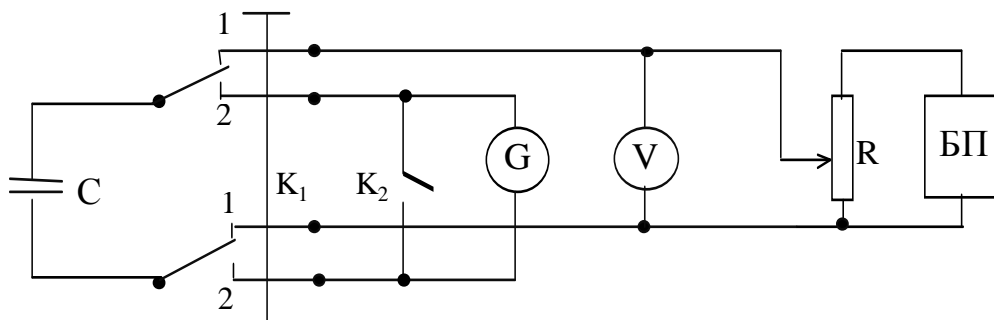


Рис. 3

Постоянное напряжение от блока питания (БП) подается на потенциометр (R), с которого снимается разность потенциалов, подаваемая на исследуемый конденсатор. Ее величину измеряют вольтметром (V). При помощи двойного ключа K_1 напряжение подводят к обкладкам конденсатора (C). После зарядки конденсатора ключ K_1 размыкается, затем конденсатор замыкается на гальванометр G и полностью через него разряжается. В цепь последнего включен ключ K_2 , что дает возможность при помощи индуктивных токов быстро успокаивать гальванометр. Ключ K_2 следует держать разомкнутым и замыкать его на короткое время для прекращения колебаний подвижной системы гальванометра.

При подключении конденсатора с известной емкостью C_0 к источнику с напряжением U он приобретет заряд q , равный

$$q_0 = C_0 U_0 \quad (12)$$

Если мы подключим конденсатор неизвестной емкости C_x к источнику с напряжением U_x , то он приобретет заряд, равный

$$q_x = C_x U_x \quad (13)$$

Особенностью метода является то, что измерения проводятся при одинаковых напряжениях, т.е. при $U_0 = U_x$. Исходя из этого, получим

$$U_0 = \frac{q_0}{C} \quad U_x = \frac{q_x}{C_x} \quad \frac{q_0}{C_0} = \frac{q_x}{C_x}$$

откуда

$$C_x = C_0 \frac{q_x}{q_0} \quad (14)$$

Пользуясь основной формулой баллистического гальванометра, последнее равенство можно записать в таком виде:

$$q = B \alpha \quad (15)$$

где B - баллистическая постоянная гальванометра, а α - угол отклонения подвижной системы гальванометра от положения равновесия.

Поскольку измерения проводятся при одинаковых напряжениях, используя формулу (15) можно записать:

$$q_0 = B \alpha_0 \quad q_x = B \alpha_x \quad (16)$$

Подставив в формулу (14) величину заряда из (16), получим:

$$C_x = C \frac{\alpha_x}{\alpha_0} \quad (17)$$

Т.к. при измерении углов методом зеркала и шкалы угол отклонения принимается числом, пропорциональным числу делений шкалы, то последнюю формулу можно переписать в виде:

$$C_x = C_0 \frac{n_x}{n_0}, \quad (18)$$

где n_0 и n_x - величины баллистического отброса соответственно при эталонном и измеряемом конденсаторах, выраженные в делениях шкалы. **Последняя формула выведена в предположении, что разность потенциалов на обкладках конденсатора в обоих случаях остается одной и той же.**

Порядок выполнения работы.

1. Изучить теорию работы, установку и порядок выполнения работы и получить у преподавателя допуск к выполнению измерений.
2. Собрать схему с конденсатором известной емкости: $C_0=1000$ пФ.
3. После проверки схемы преподавателем или инженером установить регулятором "V" на вольтметре напряжение 20 В. Установить ключ (1) в положение (1) и зарядить исследуемый конденсатор. Переключить ключ (1) в положение (2) и разрядить конденсатор через гальванометр. Зарегистрировать максимальное отклонение светового указателя гальванометра и занести его значение в таблицу. Замкнув ключ (2) привести световой указатель гальванометра к нулевому значению.
4. Произвести измерения при 25 В и 30 В.
5. Прodelать те же измерения для двух неизвестных емкостей, а также при параллельном и последовательном включении конденсаторов.
6. Вычислить неизвестные емкости C_1 , C_2 , $C_{\text{пар}}$, $C_{\text{посл}}$.
7. Заполнить таблицу и указать доверительный интервал и доверительную вероятность для которых выполняются формулы для емкостей батарей при последовательном и параллельном соединениях конденсаторов.

Таблица 1

№ n/n	U	C ₀	Отклонение луча					C ₁	C ₂	C _{посл.}	C _{пар.}	ошибка
			n ₀	n ₁	n _{2.}	n _{посл.}	n _{пар.}					
1.												
2.	20В.											
3.												
1.												
2.	25В.											
3.												
1.												
2.	30В.											
3.												

Контрольные вопросы.

1. Что называется электроемкостью? Единицы измерения?
2. Объяснить метод измерения емкости при помощи баллистического гальванометра.
3. Объяснить назначение ключа K_2 в схеме.

4. Вывести формулы емкости при параллельном и последовательном соединении конденсаторов.
5. Какой гальванометр называется баллистическим?
6. Знать типы конденсаторов и их устройство.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Савельев И.В. Курс общей физики Т. 2: Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. -М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988.
2. Тамм И.Е. Основы теории электричества. - М.: Наука, 1976
3. Иродов И. Е. Электромагнетизм. -М.: Лаборатория базовых знаний, 2002.
4. Калашников Э.Г. Электричество. – М.:Наука, 1977.
5. Трапицын Н.Ф. Краткий курс общей физики. Ч.3. Электричество и магнетизм. – Бишкек: Изд-во КРСУ, 1996
6. Зисман Г.А., Тодес О.М. Курс общей физики. Т.2. Электричество и магнетизм. – М.: Наука, 1974.
7. Физический практикум. Ч.2./ Под ред. В.И. Ивероновой. -М.: «Наука». -1968.

Примечание:

Переключатель K_1 в положении 1 на панели управления - заряд емкости, гальванометр отключен; в положении 2 – гальванометр соединен с конденсатором.
переключатель K_2 - кнопочный. При нажатой кнопке гальванометр замкнут.