

## Лабораторная работа № 1.2

### ИЗМЕРЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ

**Цель работы:** измерение электрической емкости методом баллистического гальванометра, определение диэлектрической проницаемости диэлектрика.

**Оборудование:** измерительный блок (состоящий из источника питания, гальванометра, вольтметра), исследуемый конденсатор, эталонный конденсатор, соединительные провода.

#### Общие сведения

**Конденсатор** – система из двух изолированных проводников, расположенных близко друг к другу. Эти проводники называют обкладками конденсатора. Если обкладкам конденсатора сообщить заряды  $+q$  и  $-q$ , то в пространстве между обкладками возникнет электрическое поле. Основной характеристикой конденсатора является **электроемкость  $C$** , которая равна

$$C = \frac{q}{\Delta\varphi}, \quad (1.2.1)$$

где  $q$  – модуль заряда обкладок;  $\Delta\varphi$  – разность потенциалов обкладок.

Электроемкость конденсатора зависит от формы, размеров обкладок, расстояния между ними, а также диэлектрической проницаемости среды, заполняющей пространство между обкладками. Например, для плоского конденсатора

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}, \quad (1.2.2)$$

где  $\varepsilon$  – диэлектрическая проницаемость среды,  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  Ф/м – электрическая постоянная;  $S$  – площадь обкладок;  $d$  – расстояние между обкладками.

В данной работе формула (1.2.2) используется для определения диэлектрической проницаемости диэлектрика.

## Описание установки и метода измерений

Формула емкости плоского конденсатора строго справедлива только для идеального плоского конденсатора, имеющего бесконечную площадь обкладок. Поле внутри такого конденсатора однородное и сосредоточено между обкладками. В реальном конденсаторе с конечной площадью обкладок имеет место краевой эффект – «выпучивание» поля (рис. 1.2.1). В данной работе для устранения краевого эффекта применяется конденсатор со специальным охранным электродом.

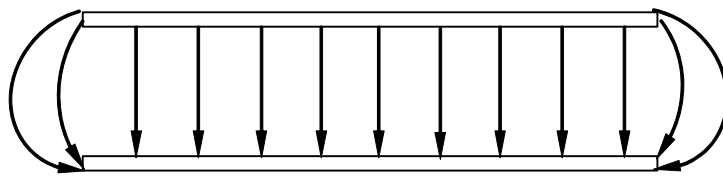


Рис. 1.2.1

На рис. 1.2.2 схематически представлены такой конденсатор и электрическое поле, создаваемое в случае, если потенциалы верхней обкладки и охранный электрода одинаковы. Как видно из рисунка, электрическое поле внутри такого конденсатора однородно (как и поле идеального конденсатора). Следовательно, емкость плоского конденсатора, образованного его нижней обкладкой и рабочей частью верхней обкладки, можно точно рассчитать по формуле емкости плоского конденсатора.

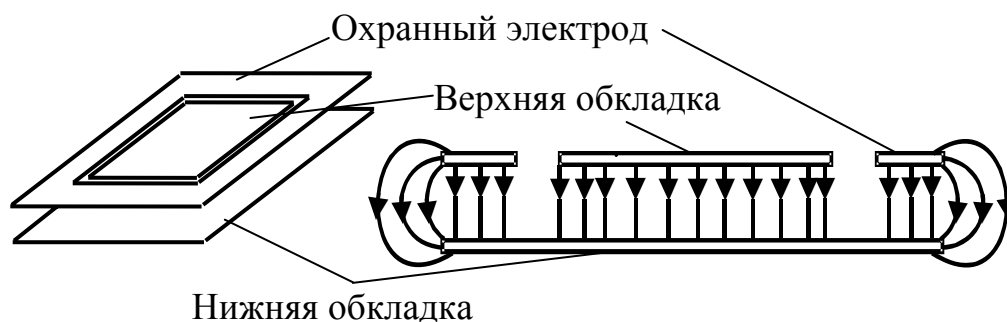


Рис. 1.2.2

Электрическая схема установки приведена на рис. 1.2.3. В исходном положении кнопки К регулируемый источник питания подключается к конденсатору (либо эталонному –  $C_0$ , либо рабочему –  $C_x$ ), в результате чего конденсатор заряжается до напряжения  $U$ . Зна-

чение этого напряжения измеряется вольтметром V. При нажатии кнопки К конденсатор разряжается до нуля через гальванометр G.

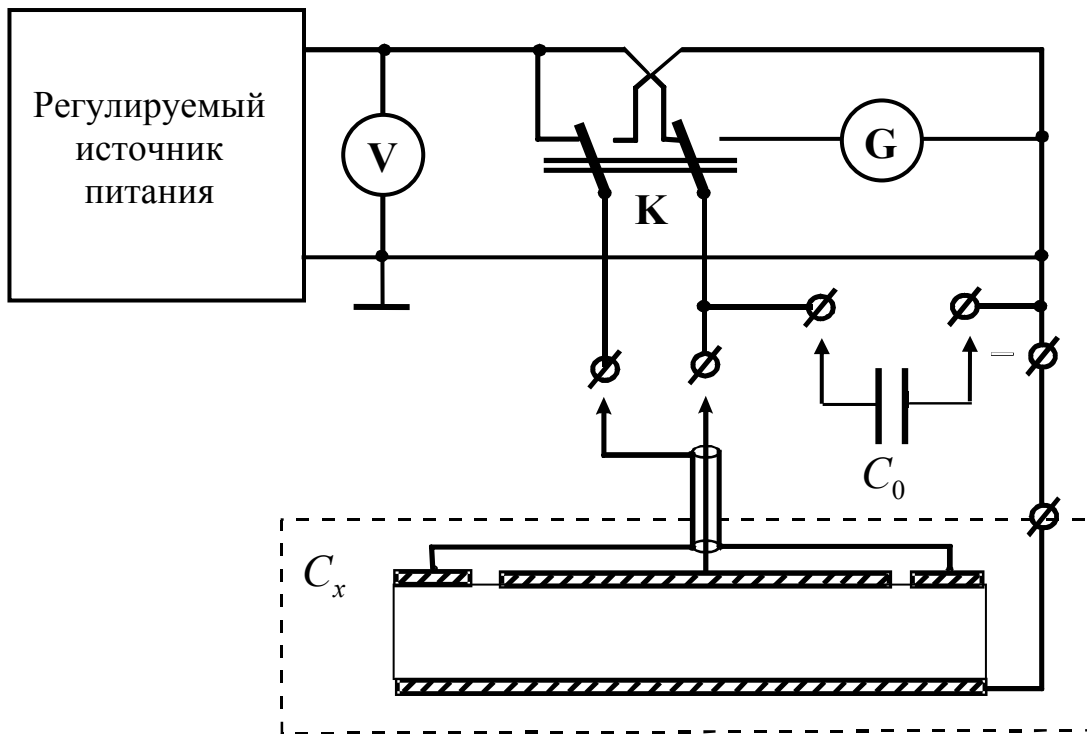


Рис. 1.2.3

Гальванометр работает в режиме баллистического гальванометра. От обычного гальванометра баллистический гальванометр отличается увеличенной массой (и, следовательно, увеличенным моментом инерции) подвижной части. При прохождении через такой гальванометр импульса разрядного тока длительность последнего оказывается малой по сравнению с периодом колебаний подвижной части (постоянной времени) гальванометра. Таким образом, протекание тока через гальванометр закончится раньше, чем его подвижная часть успеет заметно отклониться от положения равновесия, а максимальный угол отклонения будет пропорционален импульсу тока, т.е. количеству электричества, прошедшему через гальванометр:

$$q = \int_0^{\tau} i dt,$$

где  $\tau$  – длительность импульса;  $i$  – мгновенное значение силы тока. При этом максимальный угол отклонения  $\alpha$  подвижной системы гальванометра (первый баллистический отброс) пропорционален количеству электричества, протекающему через гальванометр (т.е. заряду конденсатора):

$$\alpha = \frac{q}{B},$$

где  $B$  – баллистическая постоянная, зависящая от типа гальванометра.

Лабораторная установка, используемая в лабораторной работе, построена таким образом, что заряд  $q$  (заряд, протекающий через гальванометр) – это заряд, накопленный только в рабочей части верхней обкладки. Заряд с охранного электрода протекает по цепи в обход гальванометра. Таким образом достигается устранение краевого эффекта.

Конструктивно источник питания, вольтметр, гальванометр, коммутирующая кнопка объединены в измерительный блок. Рабочий конденсатор подключается к блоку специальными кабелями.

Метод определения диэлектрической проницаемости  $\varepsilon$ , используемый в данной работе, основан на измерении электрической емкости плоского конденсатора, внутрь которого помещается пластина исследуемого диэлектрика. Эту емкость можно измерить, сравнивая емкость плоского конденсатора с емкостью эталонного конденсатора. Методика измерения следующая. Сначала производится заряд и последующий разряд через цепь баллистического гальванометра эталонного конденсатора –  $C_0$ , емкость которого известна. Если напряжение, до которого зарядился конденсатор, равно  $U$ , то на его обкладках накопится заряд  $q_0 = C_0 U$ . При разряде конденсатора через гальванометр стрелка прибора отклоняется на угол

$$\alpha_0 = \frac{q_0}{B}.$$

Затем вместо эталонного конденсатора подключается рабочий –  $C_x$ . При том же напряжении  $U$  на конденсаторе его заряд равен  $q_x = C_x U$ , а отклонение стрелки гальванометра  $\alpha_x = \frac{q_x}{B}$ . Отношение отклонений  $\frac{\alpha_x}{\alpha_0} = \frac{q_x}{q_0} = \frac{C_x}{C_0}$ , откуда  $C_x = C_0 \frac{\alpha_x}{\alpha_0}$ . Измерив площадь  $S$  рабочей части обкладки и расстояние  $d$  между обкладками, можно рассчитать искомое значение  $\varepsilon_x$ :

$$\begin{aligned} C_x &= \frac{\varepsilon_0 \varepsilon_x S}{d} = C_0 \frac{\alpha_x}{\alpha_0}, \\ \varepsilon_x &= \frac{C_0 \alpha_x d}{\varepsilon_0 \alpha_0 S} = \frac{C_0 \alpha_x d}{\varepsilon_0 \alpha_0 ab}, \end{aligned} \quad (1.2.3)$$

где  $a, b$  – длина и ширина рабочей части обкладки.

## Порядок выполнения измерений

1. Получить у преподавателя допуск к выполнению работы и указания по значению напряжения  $U$ , которое вы будете подавать на конденсатор.
2. Ознакомиться с установкой, органами управления и измерительными приборами.
3. Записать в табл. 1.2.1 значения напряжения  $U$ , емкости эталонного конденсатора  $C_0$  и ее относительной погрешности  $\delta C_0$ .

Таблица 1.2.1

$U = \dots \text{ В}$			
$C_0 = \dots \text{ пФ}, \delta C_0 = \dots$			
№ изм.	$\alpha_{0i}$	$\langle \alpha_0 \rangle$	$\Delta \alpha_{0\text{сл}}$
1			
2			
3			
4			
5			

4. Подключить к измерительному блоку эталонный конденсатор  $C_0$ . Включить питание и установить заданное напряжение  $U$ . Установить стрелку гальванометра на ноль. Нажимая на кнопку «разряд», зафиксировать максимальное отклонение стрелки гальванометра  $\alpha_0$ . Результат записать в таблицу. Повторить это измерение еще 4 раза. Перед каждым разрядом конденсатора контролировать нулевое положение стрелки гальванометра. Выключить питание измерительного блока. Отключить эталонный конденсатор.

5. Снять верхнюю обкладку исследуемого конденсатора. Вынуть пластину диэлектрика. С помощью линейки измерить длину  $a$  и ширину  $b$  рабочей части верхней обкладки конденсатора (по прорези с нижней стороны верхней обкладки). С помощью штангенциркуля измерить толщину  $d$  пластины исследуемого диэлектрика. Записать результаты измерений с учетом инструментальных погрешностей в табл. 1.2.2.

Таблица 1.2.2.

$U = \dots \text{ В}$			
$a = \dots \Delta a_{\text{ин}} = \dots \quad b = \dots \Delta b_{\text{ин}} = \dots \quad d = \dots \Delta d_{\text{ин}} = \dots$			
Вид диэлектрика – ...			
№ изм.	$\alpha_{xi}$	$\langle \alpha_x \rangle$	$\Delta \alpha_{\text{хсл}}$
1			
2			
3			
4			
5			

6. Собрать конденсатор, поместив в него исследуемый образец диэлектрика. С помощью разъема подключить конденсатор к измерительному блоку.

7. Включить питание измерительного блока. Установить с помощью регулятора заданное напряжение  $U$ . Проверить, находится ли стрелка гальванометра на нуле. В противном случае с помощью регулятора установить стрелку гальванометра на нуль.

8. Пять раз произвести разряд конденсатора, фиксируя максимальное отклонение стрелки гальванометра. Результаты записать в табл. 1.2.2.

9. Выключить питание измерительного блока. Отключить исследуемый конденсатор.

10. Предъявить результаты измерений преподавателю.

### Обработка результатов измерений

1. Обработать результаты измерений  $\alpha_0$  и  $\alpha_x$ , используя метод Корнфельда (см. Приложение 2).

2. Вычислить среднее значение диэлектрической проницаемости  $\langle \epsilon_x \rangle$  по формуле (1.2.3), подставив в качестве  $\alpha_0$  и  $\alpha_x$  их средние значения.

3. Оценить относительную погрешность диэлектрической проницаемости по формуле

$$\delta \epsilon_x = \sqrt{(\delta C_0)^2 + (\delta \alpha_0)^2 + (\delta \alpha_x)^2 + (\delta a)^2 + (\delta b)^2 + (\delta d)^2}.$$

4. Вычислить абсолютную погрешность  $\Delta \epsilon_x = \delta \epsilon_x \cdot \langle \epsilon_x \rangle$ .

5. Записать окончательный результат для диэлектрической проницаемости  $\epsilon_x$ .

## Контрольные вопросы

1. Какие материалы называются диэлектриками? В чем заключается явление поляризации диэлектриков?
2. Расскажите о видах поляризации диэлектриков (деформационной, ориентационной, ионной).
3. Дайте определение поляризованности (вектора поляризации) диэлектрика. Выведите связь между поляризованностью и поверхностной плотностью связанных зарядов.
4. Какова связь между поляризованностью и напряженностью электрического поля? Что такое электрическое смещение (индукция) и как оно связано с напряженностью электрического поля?
5. Сформулируйте теорему Остроградского–Гаусса для электростатического поля в диэлектрике.
6. Дайте определение емкости конденсатора. Выведите формулу для емкости плоского конденсатора. Изобразите поле плоского конденсатора. Что такое краевой эффект?
7. В чем заключается баллистический метод измерения емкости?
8. С какой целью в конструкции исследуемого конденсатора введен «охранный электрод»?