

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
«Могилевский государственный университет продовольствия»

Кафедра физики

**ИЗУЧЕНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ.  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ**

Методические указания

к выполнению лабораторной работы №5 по разделу «Электричество и магнетизм»  
курса физики для студентов всех специальностей  
дневной и заочной форм обучения

Могилев 2011

УДК 532.516

**Рассмотрены и рекомендованы к изданию**

на заседании кафедры физики

Протокол №9 от 12.05.2011

Составители

ст. преподаватель

Д.Я. Каранчук

ст. преподаватель

Т.В. Забиран

Рецензент

кандидат физ.-мат. наук, доцент

А.С. Скапцов

УДК 532.516

©Учреждение образования

«Могилевский государственный  
университет продовольствия», 2011

**ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5**  
**ИЗУЧЕНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ.**  
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ**

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** определить электроемкости предлагаемых конденсаторов с помощью электростатического вольтметра, проверить законы определения электроемкости батареи параллельно и последовательно соединенных конденсаторов.

**ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ:** эталонный конденсатор, исследуемые конденсаторы, электростатический вольтметр, потенциометр, источник напряжения ВУП-2, соединительные провода.

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ВВЕДЕНИЕ**

**1 ЭЛЕКТРОЕМКОСТЬ ПРОВОДНИКОВ**

Потенциал  $\varphi$  уединенного заряженного проводника, находящегося в однородном и изотропном диэлектрике, пропорционален его заряду  $q$ . Величина  $C = q/\varphi$  называется электроёмкостью (ёмкостью) уединенного проводника. Электроемкость проводника зависит от его формы, линейных размеров, диэлектрической проницаемости среды. Для того чтобы зарядить различные по форме и размерам проводники до одинакового потенциала, им нужно сообщить различные заряды. Геометрически подобные проводники имеют электроемкости, пропорциональные их линейным размерам. Электроемкость не зависит от материала проводника, его агрегатного состояния, его массы, но прямо пропорциональна  $\varepsilon$  – относительной диэлектрической проницаемости среды, в которой находится проводник. Например, сплошной и полый проводники одинаковой формы и одних и тех же размеров имеют равные ёмкости.

За единицу электроемкости уединенного проводника в системе СИ принимают электроемкость такого проводника, потенциал которого изменяется на 1 В при сообщении ему заряда в 1 Кл. Эта единица электроемкости называется Фарадой:

$$1\Phi = \frac{1\text{Кл}}{1\text{В}}$$

На практике часто используются производные единицы: микрофарада ( $\text{мк}\Phi$ ), равная  $10^{-6} \Phi$ ; нанофарада ( $\text{н}\Phi$ ), равная  $10^{-9} \Phi$ ; пикофарада ( $\text{п}\Phi$ ), равная  $10^{-12} \Phi$ .

**2 КОНДЕНСАТОРЫ**

Конденсатор представляет собой систему из 2-х разноименно заряженных равными по абсолютной величине зарядами проводников, имеющих такую форму и расположение друг относительно друга, что поле, создаваемое такой системой, сосредоточено (локализовано) в ограниченной области пространства. Сами проводники называются обкладками конденсатора. Говоря о заряде конденсатора, будем иметь в виду абсолютное значение заряда одной из его обкладок.

Величина, определяемая отношением заряда  $q$  одной из обкладок конденсатора к разности потенциалов  $\varphi_1 - \varphi_2$  между ними, называется электроемкостью конденсатора.

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} \text{ или } C = \frac{q}{U}, \quad (1)$$

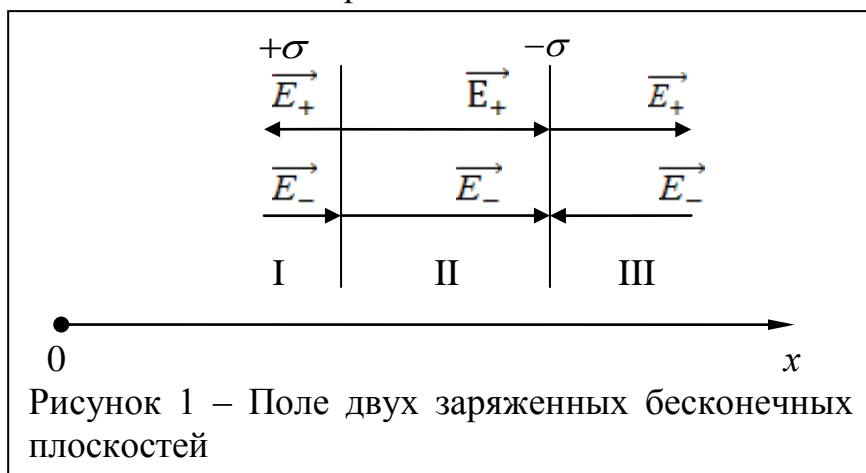
где  $\varphi_1 - \varphi_2 = U$  – напряжение на обкладках конденсатора, а  $q$  – заряд пластины.

Рассмотрим плоский конденсатор, у которого две пластины, расстояние между которыми намного меньше их линейных размеров, разделены диэлектриком. В этом случае пластины можно считать бесконечно большими плоскостями. Напряженность поля заряженной бесконечной плоскости определяется выражением:

$$E = \frac{|\sigma|}{2\varepsilon\varepsilon_0}, \quad (2)$$

где  $\sigma = \frac{q}{S}$  – поверхностная плотность заряда,  $S$  – площадь пластины,  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$  – электрическая постоянная.

Рассмотрим две разноименно заряженные бесконечные плоскости с поверхностной плотностью заряда  $+\sigma$  и  $-\sigma$ .



Результирующую напряженность найдем по принципу суперпозиции полей  $\vec{E} = \vec{E}_+ + \vec{E}_-$ . В области I и III диэлектрик отсутствует ( $\varepsilon=1$ ), поэтому в области I в проекции на ось  $x$ :

$$E_{I,x} = E_- - E_+ = \frac{|\sigma|}{2\varepsilon_0} - \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} = 0,$$

в области II

$$E_{II,x} = E_+ + E_- = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0} + \frac{|\sigma|}{2\varepsilon\varepsilon_0} = \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0}, \quad (3)$$

в области III

$$E_{III.x} = E_+ - E_- = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0} - \frac{|\sigma|}{2\varepsilon_0} = 0.$$

Таким образом, поле вне плоскостей отсутствует, а между плоскостями напряженность результирующего поля в два раза больше, чем напряженность поля каждой из пластин в отдельности, причем  $E_{II}$  сонаправлена с осью  $x$ .

Разность потенциалов между обкладками (плоскостями):

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_0^d E_{II} dx = \int_0^d \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0} dx = \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0} d, \quad (4)$$

Тогда емкость плоского конденсатора:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{\sigma S}{\frac{\sigma d}{\varepsilon\varepsilon_0}} = \varepsilon\varepsilon_0 \frac{S}{d}. \quad (5)$$

где  $q = \sigma \cdot S$  – заряд пластины,  $d$  – расстояние между обкладками.

На электрических схемах конденсатор обозначают так, как это показано на рисунке 2.

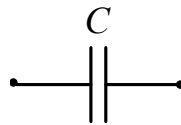


Рисунок 2 – Условное обозначение конденсатора на электрических схемах

Если несколько конденсаторов соединены таким образом, что все положительно заряженные обкладки образуют один узел А, а все отрицательно заряженные обкладки – другой узел В, то такое соединение конденсаторов называется параллельным (рис. 3).

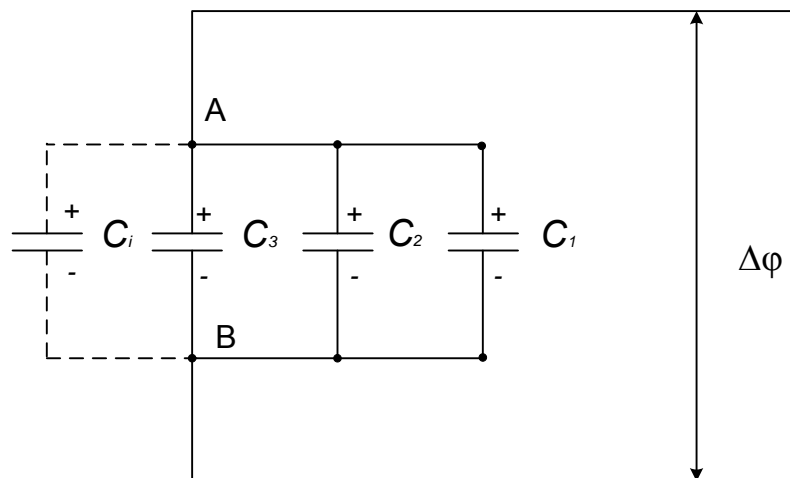


Рисунок 3 – Параллельное соединение конденсаторов

Так как разность потенциалов между любой парой обкладок одна и та же и равна  $(\varphi_1 - \varphi_2)$ , то заряды, сосредоточенные на отдельных пластинах, равны:

$$\begin{aligned}
 q_1 &= C_1(\varphi_1 - \varphi_2), \\
 q_2 &= C_2(\varphi_1 - \varphi_2), \\
 q_3 &= C_3(\varphi_1 - \varphi_2), \\
 &\dots, \\
 q_i &= C_i(\varphi_1 - \varphi_2),
 \end{aligned}$$

Сложив почленно все эти выражения, получим:

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_i = (C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_i) (\varphi_1 - \varphi_2).$$

Отношение суммы зарядов всех конденсаторов к разности потенциалов обкладок есть емкость всей батареи  $C$ :

$$C = \frac{q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_i}{(\varphi_1 - \varphi_2)} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_i.$$

Таким образом, емкость батареи параллельно соединенных конденсаторов равна сумме емкостей отдельных конденсаторов:

$$C = \sum_{i=1}^n C_i, \quad (6)$$

где  $C_i$  – емкость  $i$ -го конденсатора. Следовательно, для увеличения емкости следует применять параллельное соединение конденсаторов одноименно заряженными обкладками. При последовательном соединении конденсаторов (рис. 4) полная разность потенциалов распределяется между отдельными конденсаторами.

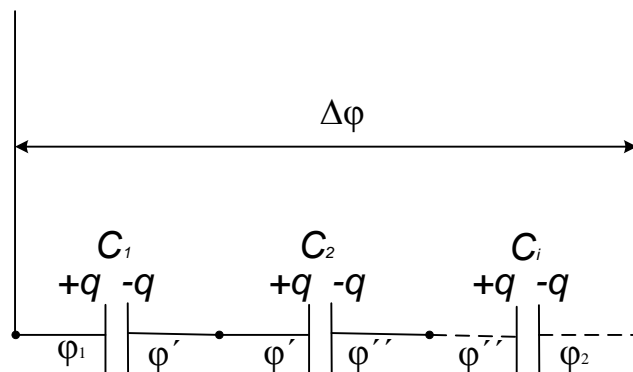


Рисунок 4 – Последовательное соединение конденсаторов

В этом соединении отрицательная обкладка первого конденсатора соединена с положительной обкладкой второго, отрицательная обкладка второго с положительной обкладкой третьего и т.д. У каждой пары соединенных вместе пластин устанавливается общий потенциал. Заряд на все конденсаторах одинаковый. Емкость батареи находится как отношение заряда первой обкладки к разности потенциалов между крайними обкладками:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2},$$

откуда

$$\varphi_1 - \varphi_2 = q/C, \quad (7)$$

но

$$\varphi_1 - \varphi' = q/C_1, \quad \varphi' - \varphi'' = q/C_2, \quad \varphi'' - \varphi_2 = q/C_i.$$

В результате почленного сложения этих равенств получим:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = q \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_i} \right) \quad (8)$$

Сравнивая формулы (7) и (8), находим:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_i}$$

или

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{C_i} \quad (9)$$

Таким образом, общая емкость батареи последовательно соединенных конденсаторов всегда меньше минимальной емкости любого из конденсаторов, входящего в ее состав.

### 3 ОПИСАНИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ВОЛЬТМЕТРА

Определение емкости конденсаторов можно провести с помощью электростатического вольтметра. Для выпрямления тока используется выпрямитель ВУП-2, на внешней панели которого расположены потенциометры для регулировки выходного напряжения. С выхода выпрямителя регулируемое напряжение через потенциометр подается на эталонный конденсатор, емкость которого  $C_0$ .

Для выполнения работы используется установка, электрическая схема которой представлена на рисунке 5.

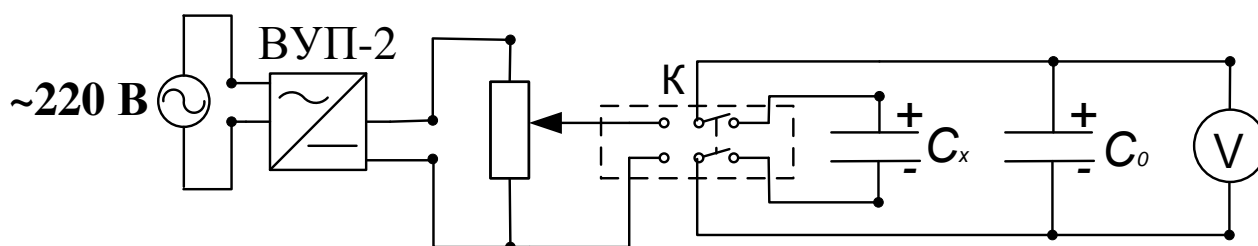


Рисунок 5 – Схема электрическая принципиальная

Если к заряженному до потенциала  $U_0$  эталонному конденсатору  $C_0$ , отключенному от источника напряжения, быстро подключить конденсатор неизвестной емкости  $C_x$ , то заряд эталонного конденсатора  $q_0$  распределяется между обоими конденсаторами и напряжение на обкладках конденсаторов станет равным  $U_1$ .

По закону сохранения заряда;

$$q_0 = q_1 + q_2. \quad (10)$$

где  $q_1$  – заряд эталонного конденсатора  $C_0$  после подключения к нему конденсатора  $C_x$ ,  $q_2$  – заряд конденсатора  $C_x$ . Перепишем формулу (10), выразив заряды через емкости и напряжение на обкладках:

$$C_0 U_0 = C_0 U_1 + C_x U_1,$$

или

$$C_0(U_0 - U_1) = C_x U_1.$$

Откуда

$$C_x = \frac{C_0(U_0 - U_1)}{U_1}. \quad (11)$$

В настоящей работе предстоит измерить электроемкость двух неизвестных конденсаторов, электроемкости батарей параллельно и последовательно соединенных конденсаторов.

### МЕРЫ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ РАБОТЫ

- 1 Выполнять все требования по охране труда при работе с напряжением 220В.
- 2 До проверки преподавателем Вашей готовности к занятию установку в электрическую сеть не включать!

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

**Упражнение 1. Ознакомьтесь с приборами и соберите цепь по схеме (рис. 5), подключая один из исследуемых конденсаторов.**

- 1 Включите освещение шкалы вольтметра.
- 2 Движок потенциометра поставьте на минимальное напряжение.
- 3 Замкните переключатель К на потенциометр.
- 4 Включить выпрямитель в сеть. С помощью потенциометра доведите напряжение на эталонном конденсаторе до  $100 \div 120$  В.
- 5 Снять показание вольтметра  $U_0$ .
- 6 Замкните переключатель К на исследуемую (неизвестную) электроемкость. При этом конденсатор  $C_0$  отключается от выпрямителя и подключается параллельно к конденсатору с неизвестной электроемкостью  $C_x$ .
- 7 Снимите показания вольтметра  $U_1$ . Измерения проделайте не менее трех раз, подавая различные напряжения на эталонный конденсатор ( $U_0$ : 100 В, 110 В, 120 В). После каждого измерения конденсатор неизвестной электроемкости *обязательно разряжайте с помощью проводника!* (**Ключ при этом должен соединять потенциометр с эталонным конденсатором, т. е. исследуемый конденсатор отсоединен от эталонного**). Показания вольтметра занесите в таблицу 1:

Таблица 1 – Показания электростатического вольтметра

№	$C_0$	$U_0$	$U_1$	$C_x$
1				
2				
3				

- 8 Электроемкость известного конденсатора  $C_0 = 6 \text{ мкФ}$ .



- 9 По формуле (11) подсчитайте  $C_x$  – емкость неизвестного конденсатора.
- 10 Найдите среднее значение  $C_x$ . Аналогично определите емкость другого исследуемого конденсатора.

**Упражнение 2.** Соедините два конденсатора параллельно и определите емкость батареи выполнив действия по п.п 1-7 упражнения 1. Сравните среднее значение измеренной емкости батареи с вычисленной по формуле (12):

$$C_{\text{бат}} = C_{1x} + C_{2x}. \quad (12)$$

**Упражнение 3.** Соедините два конденсатора последовательно, и определите емкость батареи выполнив действия по п.п 1-7 упражнения 1. Сравните результат с емкостью, рассчитанной по формуле (13):

$$\frac{1}{C_{\text{бат}}} = \frac{1}{C_{1x}} + \frac{1}{C_{2x}}. \quad (13)$$

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Что такое емкость проводников и от чего она зависит?
- 2 Расскажите об устройстве конденсаторов.
- 3 Сделайте вывод формулы для емкости плоского конденсатора.
- 4 Как вычисляется емкость батареи последовательно соединённых конденсаторов? Приведите вывод этой формулы.
- 5 Как определить емкость батареи параллельно соединённых конденсаторов? Приведите вывод этой формулы.
- 6 Чем объяснить, что при увеличении числа конденсаторов, соединённых последовательно, общая емкость уменьшается, а при параллельном – увеличивается?
- 7 Почему напряженность внутри конденсатора в два раза больше напряженности, создаваемой каждой обкладкой (пластиной) плоского конденсатора?
- 8 Получите рабочую формулу для определения емкости конденсатора неизвестной ёмкости.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Общие требования и правила оформления учебных текстовых документов: СТП СМК 4.2.3-01-2011. - Введ. 2011-04-07. - Могилев: Могилевский государственный университет продовольствия, 2011. – 43 с.
- 2 Савельев И. В. Курс общей физики. В 3т., Т. 2. - СПб.: Лань, 2007. – 336 с.
- 3 Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 2007. – 558 с.

**Учебное издание**

**ИЗУЧЕНИЕ КОНДЕНСАТОРОВ.  
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРОВ**

Методические указания

Составители

Каранчук Дмитрий Ярославович  
Забиран Татьяна Владимировна

Редактор А.А. Щербакова  
Технический редактор Т.В Багуцкая

Подписано в печать    Формат 60x84 1/16    Бумага офсетная.  
Гарнитура Таймс. Ризография.    Усл. печ. л.    Уч.-изд. л.  
Тираж \_\_ экз.    Заказ \_\_\_\_

Учреждение образования «Могилёвский государственный университет  
продовольствия».  
ЛИ №02330/0131913 от 08.02.2007.  
пр-т Шмидта, 3, 212027, Могилёв.

Отпечатано в учреждении образования «Могилёвский государственный  
университет продовольствия».  
пр-т Шмидта, 3, 212027, Могилёв.