

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ВОЛЖСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (ФИЛИАЛ)  
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО  
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

КАФЕДРА «ПРИКЛАДНАЯ ФИЗИКА И МАТЕМАТИКА»

Г.А. Рахманкулова, С.О. Зубович

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННОГО ВОЛЬТМЕТРА**

Методические указания



Волгоград  
2015

УДК 53 (075.5)

Рецензент:

*Канд. физ.-мат. наук, доцент Т.А. Сухова*

Издается по решению редакционно-издательского совета  
Волгоградского государственного технического университета

Г.А. Рахманкулова, **Определение емкости конденсатора с помощью электронного вольтметра** [Электронный ресурс]: методические указания / Г.А. Рахманкулова, С.О. Зубович //Сборник «Методические указания» Выпуск 3.- Электрон. текстовые дан.(1файл:141Kb) – Волжский: ВПИ (филиал) ГОУВПО ВолгГТУ, 2015.-Систем.требования:Windows 95 и выше; ПК с процессором 486+; CD-ROM.

Методические указания содержат рекомендации к выполнению лабораторной работы, представленной во второй части практикума кафедры «Прикладная физика и математика» Волжского политехнического института.

Предназначены для студентов всех форм обучения.

©Волгоградский  
государственный  
технический  
университет, 2015  
© Волжский  
политехнический  
институт, 2015

## Лабораторная работа № 211

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННОГО ВОЛЬТМЕТРА

**211.1. Цель работы:** Определение емкости конденсаторов и проверка законов последовательного и параллельного соединения конденсаторов.

#### 211.2. Описание лабораторной установки

Для определения емкости неизвестного конденсатора используется эталонный конденсатор, емкость которого известна.

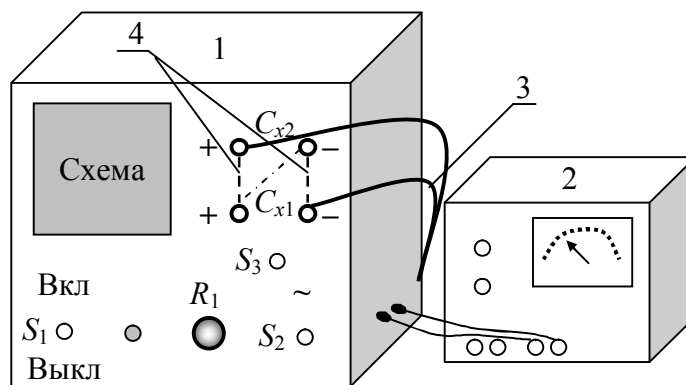


Рис.211.1

Внешний вид установки представлен на рис.211.1. Электрическая схема смонтирована в блоке 1. Напряжение на конденсаторах измеряется с помощью вольтметра 2.

Подключение конденсаторов неизвестной емкости  $C_x$  к эталонному обеспечивается кабелем 3. Конфигурация параллельного или последовательного подключения конденсаторов неизвестных емкостей  $C_{x1}$  и  $C_{x2}$  обеспечивается кабелем 4. В качестве примера на рис.211.1 штриховыми линиями показано параллельное подключение конденсаторов (кабелем 4 соединены обкладки одного знака). Если кабелем 4 соединены обкладки

разных знаков (штрих-пунктирная линия), то конденсаторы соединяются последовательно. В случае индивидуального подключения каждого из конденсаторов  $C_x$  кабель 4 не используется.

### 211.3. Методика эксперимента

Эталонный конденсатор  $C_{эм} = 5000 \text{ мкФ}$  и электронный вольтметр  $V_1$  подключаются через переключатель  $S_2$  к источнику регулируемого постоянного напряжения, состоящего из источника  $G_1$  и потенциометра  $R_2$  (рис.211.2). Напряжение  $U_0$  на обкладках эталонного конденсатора измеряется вольтметром  $V_1$  и может регулироваться с помощью потенциометра  $R_2$ . Для определения неизвестной емкости конденсатора  $C_x$ , пропускают известное количество электричества, накопленное на эталонном конденсаторе с известной емкостью  $C_{эм}$  через неизвестную емкость. При этом измеряют падение напряжения на  $C_{эм} - U_1$ .

При параллельном соединении эталонного и исследуемого конденсатора заряд перераспределяется между ними  $q_{эм} = q'_{эм} + q'_x$ . Заряд на эталонном конденсаторе до подключения  $q_{эм} = C_{эм} U_0$ , после  $q'_{эм} = C_{эм} U_1$ . Заряд на исследуемом конденсаторе после подключения  $q'_x = C_x U_1$ . Подставляя в закон сохранения заряда соотношения для зарядов на конденсаторе, получим  $C_{эм} U_0 = C_{эм} U_1 + C_x U_1$ . Отсюда емкость исследуемого конденсатора:

$$C_x = C_{эм} \cdot \frac{U_0 - U_1}{U_1}, \quad (211.1)$$

Относительную погрешность измерения электроемкости конденсатора определим логарифмированием и дифференцированием. Прологарифмируем формулу (211.1) по основанию  $e$ :

$$\ln C_x = \ln C_{эм} + \ln |U_0 - U_1| - \ln U_1.$$

Продифференцируем:

$$\frac{dC_x}{C_x} = \frac{dC_{эм}}{C_{эм}} + \left| \frac{dU_0}{U_0 - U_1} \right| + \left| -\frac{dU_1}{U_0 - U_1} \right| - \left| \frac{dU_1}{U_1} \right|.$$

Заменяя дифференциал на конечную разность, получим формулу для оценки относительной погрешности измерений:

$$\varepsilon = \frac{\Delta C_x}{C_x} = \frac{\Delta C_{эм}}{C_{эм}} + \frac{\Delta U_0}{U_0 - U_1} + \frac{\Delta U_1 \cdot U_0}{U_0 - U_1}. \quad (211.2)$$

Приборная погрешность вольтметра:

$$\Delta U = \frac{\gamma U_{max}}{100\%}, \quad (211.3)$$

где  $\gamma = 1$  – класс точности вольтметра,  $U_{max}$  – максимальный предел измерения вольтметра. Значение  $C_{эм} = 5000 \text{ мкФ}$  не измеряется, поэтому абсолютную погрешность определим по последнему разряду значащей цифры (последней позиции)  $\Delta C_{эм} = 1 \text{ мкФ}$ . Абсолютная погрешность измерения емкости:

$$\Delta C = \varepsilon \cdot \langle C \rangle. \quad (211.4)$$

При соединении эталонного и исследуемого конденсатора в цепи выделяется количество теплоты  $Q$ , которую можно оценить по закону сохранения энергии:

$$W_{эм} = W'_{эм} + W'_x + Q.$$

Энергия заряженного эталонного конденсатора до соединения  $W_{эм} = \frac{C_{эм} U_0^2}{2}$ . Энергия эталонного конденсатора и исследуемого конденса-

тора после соединения  $W'_{эм} = \frac{C_{эм} U_1^2}{2}$ ,  $W'_x = \frac{C_x U_1^2}{2}$ . Количество теплоты:

$$Q = \frac{C_{эм} U_0^2}{2} - \frac{C_{эм} U_1^2}{2} - \frac{C_x U_1^2}{2}. \quad (211.5)$$

Подставив (211.2) в (211.5), получим:

$$Q = \frac{C_{эм} U_0 (U_0 - U_1)}{2}. \quad (211.6)$$

Принципиальная схема установки представлена на рис.211.2.

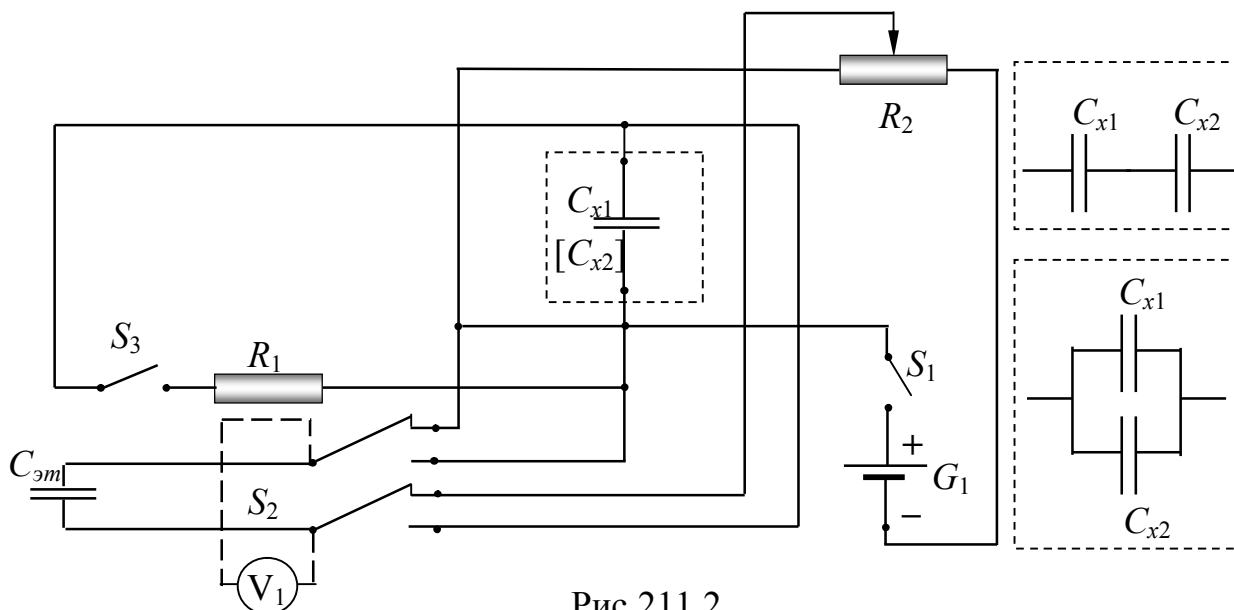


Рис 211.2.

$G_1$  – источник питания;  $R_1$  – ограничительное сопротивление;  $R_2$  – потенциометр;  $C_{эм}$  – эталонный конденсатор ( $C_{эм} = 5000 \text{ мкФ}$ );  $C_{x1}$ ,  $C_{x2}$  – исследуемые конденсаторы;  $S_1$  – переключатель «вкл/выкл»;  $S_2$  – переключатель эталонного конденсатора на «источник тока/исследуемый конденсатор»,  $S_3$  – кнопка разрядки конденсаторов,  $V_1$  – электронный вольтметр.

#### 211.4. Порядок выполнения работы

Установка собрана и готова к работе.

1. Включите блок 1 в цепь (рис.211.1).
2. Проверьте установку электронного вольтметра 2 на нуль, при необходимости установите его на нуль с помощью корректора.
3. Определите цену деления шкалы вольтметра 2.
4. Включите блок 1 переключателем  $S_1$ .
5. С помощью кабеля 3 подключите исследуемый конденсатор  $C_{x1}$ .
6. Замкните переключатель  $S_2$  на потенциометр  $R_2$ .
7. Установите движком потенциометра  $R_2$  напряжение в пределах от 1 до 3 вольт, на эталонном конденсаторе  $C_{эм}$ . Запишите показание вольтметра ( $U_0$ ) в таблицу 211.1.

8. Переключателем  $S_2$  включите исследуемую емкость  $C_{x1}$ . При этом эталонная емкость  $C_{эм}$  отключается от источника тока и подключается к исследуемой емкости  $C_{x1}$ . Запишите показание вольтметра ( $U_1$ ) в таблицу 211.1.

9. После каждого измерения исследуемый конденсатор обязательно разрядите на активное сопротивление  $R_1$  нажатием кнопки  $S_3$ .

**Внимание:** Запрещается нажимать кнопку  $S_2$  при подаче напряжения на конденсаторы от источника питания.

10. Опыт повторите еще два раза (пп.6–9), изменяя напряжение  $U_0$  на обкладках эталонного конденсатора в пределах от 1 до 3 вольт. Показания вольтметра занесите в таблицу 211.1.

11. С помощью кабеля 3 подключите вместо конденсатора  $C_{x1}$  конденсатор с неизвестной емкостью  $C_{x2}$ , конденсатор  $C_{x2}$  и выполните все измерения, указанные в пунктах 6-10. Результаты измерений занесите в таблицу 211.1.

12. Соедините конденсаторы с электрическими емкостями  $C_{x1}$  и  $C_{x2}$  параллельно (рис.211.1) с помощью кабеля 4 (замыкаются обкладки одного знака), и выполните все измерения, указанные в пунктах 6-10. Результаты измерений занесите в таблицу 211.2.

13. Соедините конденсаторы с электрическими емкостями  $C_{x1}$  и  $C_{x2}$  последовательно (рис.211.1) с помощью кабеля 4 (замыкаются обкладки разных знаков), и выполните все измерения, указанные в пунктах 6-10. Результаты измерений занесите в таблицу 211.2.

14. Переключателем  $S_1$  выключите блок 1 и отключите его от цепи.

Таблица 211.1. *Определение электрических емкостей  $C_{x1}$  и  $C_{x2}$ .*

Конденсаторы	$U_0, В$	$U_1, В$	$C_x, В$	$\langle C_x \rangle, Ф$	$\varepsilon$	$\Delta C, мкФ$	$Q, Дж$
$C_{x1}$							
$C_{x2}$							

Таблица 211.2. *Определение электрической емкости батареи конденсаторов при их параллельном и последовательном соединении.*

Батареи конденсаторов	$U_0, В$	$U_1, В$	$C_{эксп}, Ф$	$\langle C_{эксп} \rangle, Ф$	$C_{теор}, Ф$	$\varepsilon$	$\Delta C, мкФ$	$Q, Дж$
$C_{x1}$ и $C_{x2}$ , соединенные параллельно								
$C_{x1}$ и $C_{x2}$ , соединенные последовательно								

### 211.5. Обработка результатов измерений

1. По формуле (211.1) вычислите электрические емкости  $C_{x1}$  и  $C_{x2}$  для каждого опыта. Рассчитайте среднее арифметическое значение электроемкости для каждого конденсатора.

2. По формуле (211.2) рассчитайте относительную погрешность измерений  $\varepsilon$ , учитывая (211.3).

3. По формуле (211.4) рассчитать абсолютную погрешность измерений  $\Delta C$ .

4. Определить по формуле (211.6) количество теплоты  $Q$ , которое выделяется в цепи. Результаты расчетов запишите в табл.211.1.

5. По формуле (211.1) вычислите электрические емкости батарей конденсаторов для каждого опыта. Рассчитайте среднее арифметическое значение электроемкости для каждого случая подключения.



6. По формуле (211.2) рассчитайте относительную погрешность измерений  $\epsilon$ , учитывая (211.3).

7. По формуле (211.4) рассчитать абсолютную погрешность измерений  $\Delta C$ .

8. Определить по формуле (211.6) количество теплоты  $Q$ , которое выделяется в цепи. Результаты расчетов запишите в табл.211.2.

9. Используя найденные значения электрических емкостей конденсаторов  $C_{x1}$  и  $C_{x2}$ , вычислите теоретическое значение электрических емкостей батарей конденсаторов по формулам:

$$C_{\text{теор пар.}} = C_{x1} + C_{x2},$$
$$\frac{1}{C_{\text{теор посл.}}} = \frac{1}{C_{x1}} + \frac{1}{C_{x2}}.$$

10. Сравните теоретические расчетные значения электрических емкостей батарей конденсаторов с измеренными значениями. Сделайте вывод.

### 211.6. Контрольные вопросы

1. Дайте определение электростатической индукции.
2. Емкость уединенного проводника.
3. Что такое конденсатор?
4. Как классифицируют конденсаторы?
5. Чему равна энергия заряженного проводника, конденсатора?
6. В чем заключается физический смысл диэлектрической восприимчивости и проницаемости среды?
7. Емкость и заряд при параллельном и последовательном соединении конденсаторов.
8. Чему равна энергия и плотность энергии электрического поля?
9. Выведите формулы энергии и емкости заряженного шара.

10. От каких факторов зависят случайные погрешности в данной экспериментальной работе?

**Литература, рекомендуемая для обязательной проработки:** [1], §2.6; [2], §§31, 32, 34, 35, 37; [3], §§24,..., 30; [4], §26; [5], §§92,..., 95; [6], §§IV.1.6, IV.1.9.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Иродов И.Е. Электромагнетизм. Основные законы: Учебное пособие для физич. спец. вузов. – 9-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. – 319 с.
2. Калашников С.Г. Электричество. – 6-е изд., стер. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 624 с.
3. Савельев И.В. Курс общей физики в 4-х томах. Электричество и магнетизм. Волны. Оптика. – М.: КноРус, 2012. – Т.2. – 576 с.
4. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Электричество. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. – Т.3. – 656 с.
5. Трофимова Т.И. Курс физики. – 20-е изд., стер. – М.: Изд-во «Академия», 2014. – 560 с.
6. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике. – 8-е изд., испр. и перераб. – М.: Изд-во «Оникс», 2008. – 1056 с.

Учебное издание

Галлия Алиевна **Рахманкулова**  
Сергей Олегович **Зубович**

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННОГО ВОЛЬТМЕТРА**

Методические указания

в авторской редакции

Темплан 2007 г., поз.№ \_\_27. В\_  
Лицензия ИД № 04790 от 18.05.2001 г.

Подписано в печать \_\_\_\_\_. Формат 60x84 1/16.

Усл. печ. л. \_1,16\_\_.

Уч.-изд. л. \_1,2 на магнитоносителе

Волгоградский государственный технический университет.  
400131, г. Волгоград, просп. им. В.И. Ленина 28.

РПК “Политехник” Волгоградского государственного  
технического университета.  
400131, Волгоград, ул. Советская, 35.