

Лабораторная работа Э-2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЁМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА

Цель работы: ознакомление с одним из методов измерения электрической ёмкости, определение электроёмкости отдельного конденсатора, соединений конденсаторов, оценка погрешности измерений.

Способность проводников накапливать электрический заряд, называется *электроёмкостью*. Система проводников (обкладок), разделенных диэлектриком, обладающая большой электроёмкостью при относительно небольших размерах, называется *конденсатором*. Электроёмкость конденсатора определяется как

$$C = \frac{Q}{(\varphi_2 - \varphi_1)} = \frac{Q}{U}, \quad (2.1)$$

где Q – заряд одной из его обкладок, $\varphi_2 - \varphi_1 = U$ – разность потенциалов, которая в данном случае совпадает с напряжением между обкладками [2–4].

Конденсаторы широко применяются в электро- и радиотехнических цепях. Для расширения диапазона электроёмкости и рабочего напряжения применяют соединения конденсаторов в батареи. Электроёмкость параллельного соединения находят как сумму электроёмкостей всех конденсаторов

$$C^{\text{парал}} = \sum_{i=1}^N C_i. \quad (2.2)$$

Ёмкость последовательного соединения конденсаторов находится из формулы

$$\frac{1}{C^{\text{посл}}} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i}. \quad (2.3)$$

Описание метода измерения

Из формулы (2.1) видно, что для определения ёмкости конденсатора необходимо знать его заряд и напряжение. Напряжение измеряют непосредственно вольтметром. Заряд же измеряют косвенным методом. Для этого предварительно заряженный конденсатор разряжают через особое устройство – интегратор тока, который преобразует общий заряд, протекший во входной цепи, в напряжение на его выходе. Функция, выполняемая данным устройством, состоит в интегрирова-

нии тока $I(t) = \frac{dQ}{dt}$ по времени: $Q = \int_0^t I(t) dt$.

Значение заряда, прошедшего через интегратор, пропорционально его выходному напряжению $U^{\text{инт}}$:

$$Q = b \cdot U^{\text{инт}}, \quad (2.4)$$

где b – градуировочная постоянная.

Из равенств (2.1) и (2.4) следует расчётная формула для измеряемой ёмкости

$$C = b \frac{U^{\text{инт}}}{U}. \quad (2.5)$$

Значение градуировочной постоянной установки b можно определить на основе формулы (2.5), разряжая через интегратор конденсатор с известной ёмкостью C_0 (образцовый конденсатор)

$$b = C_0 \frac{U_0}{U_{\text{инт}}}. \quad (2.6)$$

Для проверки правильности градуировки интегратора тока можно с его помощью провести измерение какой-либо другой известной ёмкости. Для этого используют ёмкость батареи из двух конденсаторов: образцового C_0 и неизвестного C_x . Предварительно измерив неизвестную ёмкость мультиметром в режиме прямых измерений, их соединяют сначала параллельно, затем последовательно. Сравнивая измеренное значение ёмкости батареи конденсаторов с рассчитанными по формулам (2.2) или (2.3), делают вывод о надёжности градуировки.

Описание установки

Оборудование: регулируемый источник постоянного напряжения, мультиметры, миниблоки «Интегратор тока», «Ключ», «Конденсатор» известной ёмкости, «Конденсатор» неизвестной ёмкости.

Схема электрической цепи представлена на рис. 2.1, монтажная схема приведена на рис. 2.3.

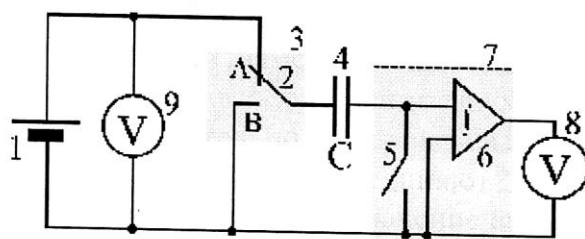


Рис. 2.1. Электрическая схема:
1 – регулируемый источник постоянного напряжения «0 ... +15 В»; 2 – переключатель; 3 – миниблок «Ключ»; 4 – исследуемый конденсатор; 5 – демпфирующий ключ; 6 – интегратор тока; 7 – миниблок «Интегратор тока»; 8, 9 – мультиметры

Миниблок «Интегратор тока» (рис. 2.2) предназначен для измерения заряда, протекающего в цепи (входы А, В – интегрирование по току), и преобразования его в напряжение $U^{\text{инт}}$, измеряемое вольтметром 8. В случае, если накопленный заряд превышает допустимый уровень, загорается индикатор 1 «Перегрузка». Для сброса заряда, накопленного интегратором, тумблер 4 надо перевести в положение «Сброс». Интегратор тока устанавливают на место 3 наборного поля (рис. 2 Введения). Питание интегратора осуществляется от нерегулируемого источника стабилизированных постоянных напряжений «+15 В» и «-15 В».

Для зарядки конденсатора переключатель 2 на рис. 2.1 устанавливают в положение А, а демпфирующий ключ 5 замыкают (положение «Сброс»). Заряжают конденсатор до напряжения U (не более 2 В), контролируемого вольтметром 9. Перед измерением ключ 5 размыкают, а переключатель 2 переводят в положение В. При этом заряд, имеющийся на обкладках конденсатора, пройдет через интегратор тока и пропорциональное ему напряжение будет показано вольтметром 8.

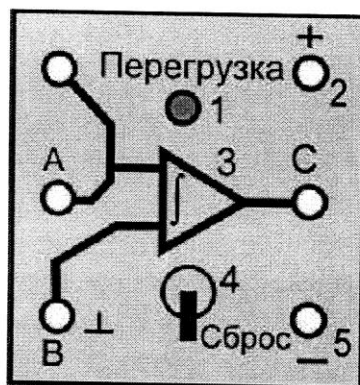


Рис. 2.2. Миниблок «Интегратор тока»:

A – вход; 1 – индикатор перегрузки; 2 – питание интегратора «+15 В»; 3 – интегратор; C – выход на измерительный прибор (мультиметр); B – вход «земля» (подключается автоматически); 4 – демпферный ключ; 5 – питание интегратора «-15 В»

Выполнение работы

1. Переключатель рода работ мультиметров 8 и 9 перевести в положение «V Ω » и установить предел измерения «20 В».
2. Собрать электрическую цепь по монтажной схеме, приведённой на рис. 2.3.

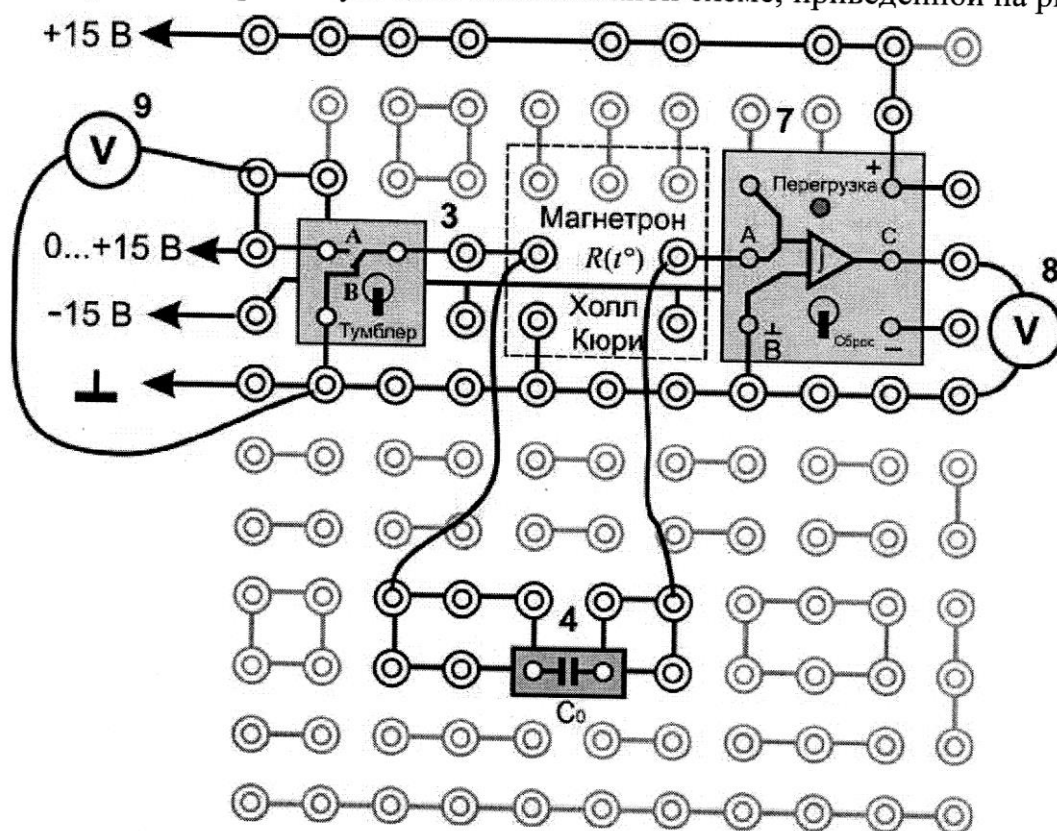


Рис. 2.3. Монтажная схема

Внимание! На общий вход **COM** мультиметров 8 и 9 подаётся отрицательное напряжение (провод «-» или « \perp »), на вход на вход **V Ω** – положительное напряжение (провод «+»).

3. Записать значение ёмкости конденсатора C_0 и её погрешность в табл. 2.3.
4. Кнопками «СЕТЬ» включить блоки питания генераторов напряжения и мультиметров. Нажать кнопку «Исходная установка».

5. **Зарядить** конденсатор C_0 , для этого:
- а) тумблер миниблока «Интегратор» установить в положение «Сброс»;
 - б) тумблер миниблока «Ключ» установить вверх;
 - в) кнопкой Δ «Установка напряжения 0 ... +15 В», установить по вольтметру 9 напряжение зарядки конденсатора U_0 примерно 1,5 В.
6. **Разрядить** заряженный конденсатор через интегратор тока, для этого:
- а) тумблер миниблока «Интегратор» перевести в верхнее положение;
 - б) тумблер миниблока «Ключ» перевести вниз. Выждав не *более одной секунды*, по вольтметру 8 запомнить максимальное напряжение $U_0^{\text{инт}}$.
7. Следуя пунктам 5 и 6, подобрать такое напряжение заряда конденсатора U_0 (*оптимальное напряжение*), при котором напряжение разряда $U_0^{\text{инт}}$ не превышало 8 – 10 В.
- Внимание!** Если при работе загорается индикатор перегрузки у интегратора тока, необходимо напряжение зарядки уменьшить.
8. Провести измерения напряжения $U_0^{\text{инт}}$ не менее 5 раз. Значения величин U_0 и $U_0^{\text{инт}}$ записать в табл. 2.3.
9. Заменить конденсатор C_0 конденсатором с неизвестной ёмкостью C_x . Следуя пунктам 5 и 6, подобрать оптимальное напряжение для его зарядки U_x .
10. Провести измерения напряжения $U_x^{\text{инт}}$ не менее 5 раз. Значения величин U_x и $U_x^{\text{инт}}$ записать в табл. 2.3.
11. Соединить конденсаторы C_0 и C_x *параллельно* (рис. 2.4). Следуя пунктам 5 и 6, подобрать для батареи оптимальное напряжение зарядки U_x .
- Внимание!** Если при работе загорается индикатор перегрузки у интегратора тока, необходимо напряжение зарядки уменьшить.
12. Провести измерения напряжения $U_{\text{парал}}^{\text{инт}}$ не менее 5 раз. Значения величин $U_{\text{парал}}$ и $U_{\text{парал}}^{\text{инт}}$ записать в табл. 2.3.
13. Соединить конденсаторы C_0 и C_x *последовательно* (рис. 2.5). Следуя пунктам 5 и 6, подобрать для батареи оптимальное напряжение зарядки $U_{\text{посл}}$.
14. Провести измерения напряжения $U_{\text{посл}}^{\text{инт}}$ не менее 5 раз. Значения величин $U_{\text{посл}}$ и $U_{\text{посл}}^{\text{инт}}$ записать в табл. 2.3.
15. Нажать кнопку «Исходная установка» и левой кнопкой «СЕТЬ» **выключить** питание генераторов напряжения. Разобрать электрическую цепь.
16. Измерить мультиметром неизвестную ёмкость C_x . Для этого его переключатель рода работ перевести в положение «F» и установить предел измерения «2 μ ». Конденсатор с неизвестной ёмкостью C_x с помощью зажимов типа «крокодил» подключить к разъёму «С_x» на панели мультиметра. Результат измерения $C_x^{\text{изм}}$ записать в табл. 2.4.
17. Правой кнопкой «СЕТЬ» **выключить** питание мультиметров.

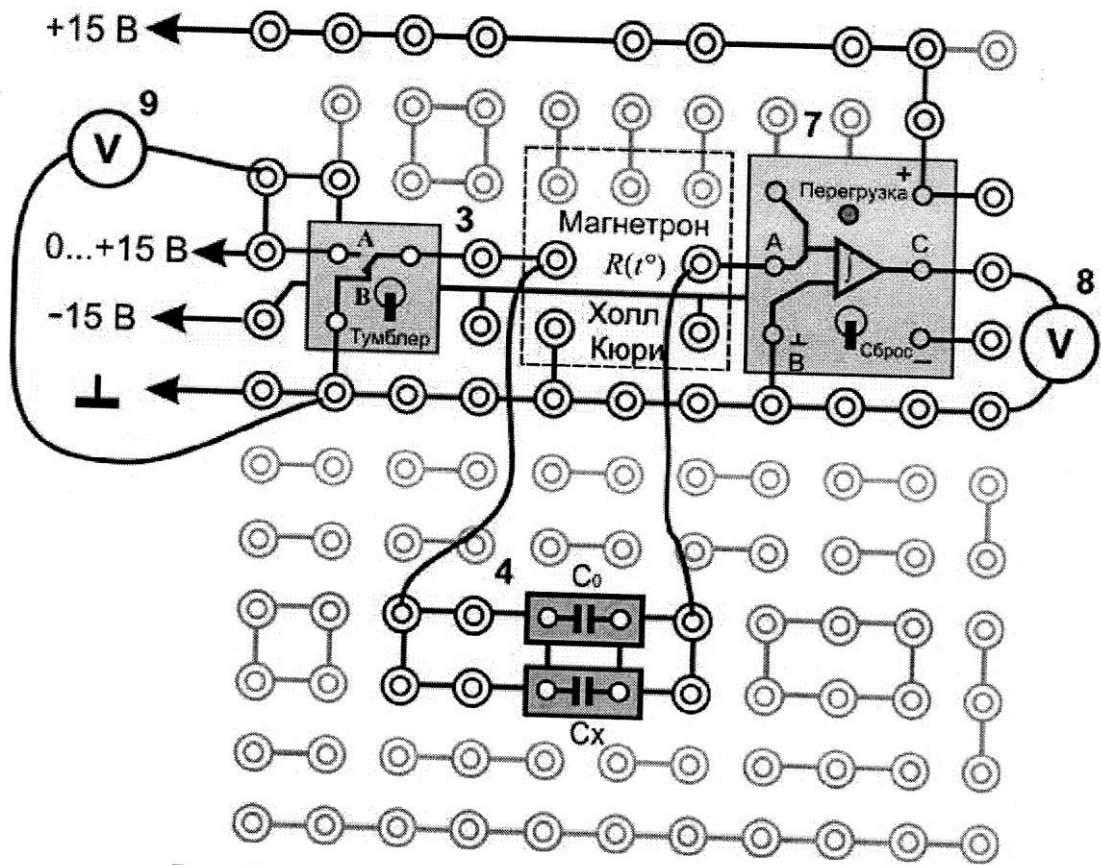


Рис. 2.4. Параллельное соединение конденсаторов

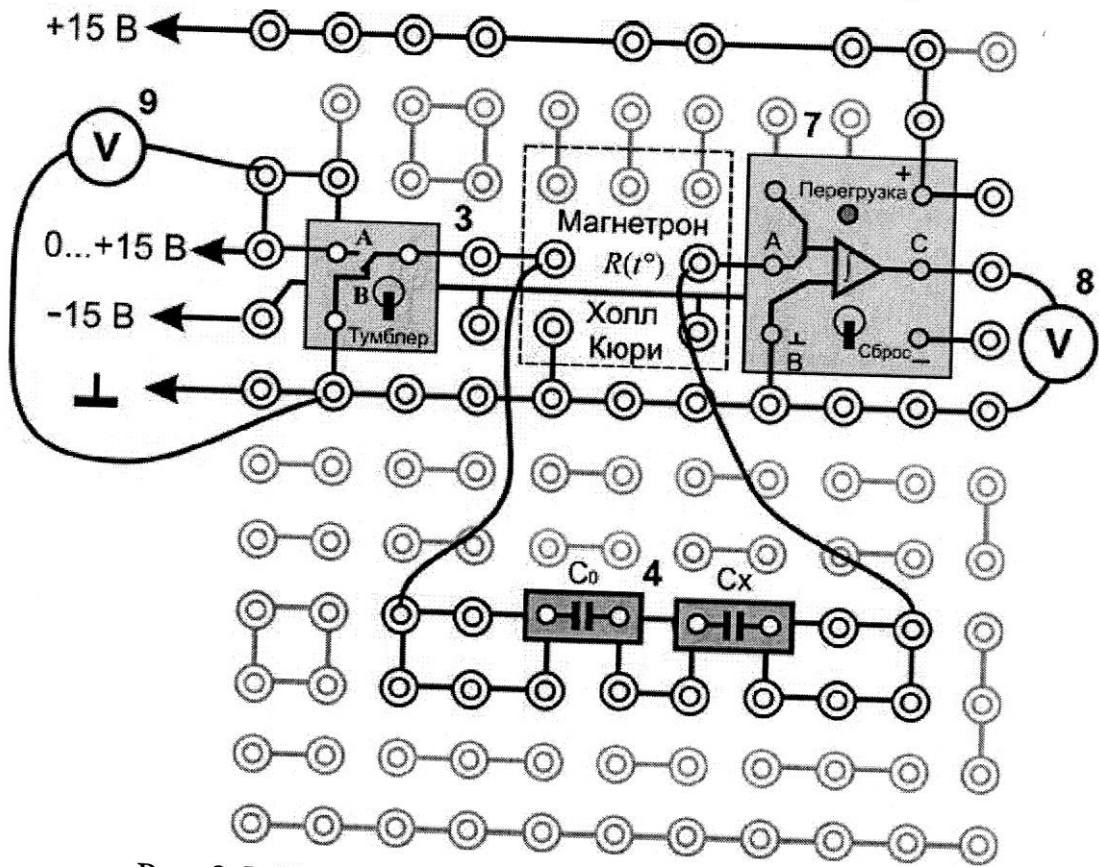


Рис. 2.5. Последовательное соединение конденсаторов

Таблица 2.2

Наименование прибора	Предел допускаемой относительной погрешности (в % от измеренного значения)
Вольтметр 8	$\frac{\theta U_{\text{инт}}}{U_{\text{инт}}} = 0,5 \%$
Вольтметр 9	$\frac{\theta U_0}{U_0} = 0,5 \%$
Измеритель электроёмкости	$\frac{\theta C}{C} = 4 \%$

Таблица 2.3

№ п/п	Градировка $C_0 = \dots$ мкФ $\frac{\theta C_0}{C_0} = \dots \%$	Неизвестная измеренная электроёмкость $C_x = \dots$ мкФ	Соединение конденсаторов	
			параллельное	последоват.
Показания вольтметров	$U_0 = \dots$ В	$U_x = \dots$ В	$U_{\text{парал}} = \dots$ В	$U_{\text{посл}} = \dots$ В
	$U_0^{\text{инт}},$ В	$U_x^{\text{инт}},$ В	$U_{\text{инт}}^{\text{парал}},$ В	$U_{\text{инт}}^{\text{посл}},$ В
1				
2				
3				
4				
5				
...				
Среднее $\langle U \rangle$				

Таблица 2.4

Град. пост. $b,$ мкКл/В	Неизвестная ёмкость $C_x,$ мкФ		Ёмкость соединения конденсаторов, мкФ			
			$C_{\text{эксп}}^{\text{парал}}$	$C_{\text{теор}}^{\text{парал}}$	$C_{\text{эксп}}^{\text{посл}}$	$C_{\text{теор}}^{\text{посл}}$
	экспер.	измерен.				
			$\gamma^{\text{парал}} = \dots \%$		$\gamma^{\text{посл}} = \dots \%$	

Обработка результатов измерений

1. Используя данные табл. 2.2, рассчитайте градуировочную постоянную b по формуле (2.6).

2. По формуле (2.5) рассчитайте ёмкости неизвестного конденсатора C_x и батарей конденсаторов $C_{\text{эксп}}^{\text{парал}}$, $C_{\text{эксп}}^{\text{посл}}$.

3. Используя значения ёмкостей C_0 и $C_x^{\text{изм}}$, по формулам (2.2) и (2.3) вычислите величины $C_{\text{теор}}^{\text{парал}}$ и $C_{\text{теор}}^{\text{посл}}$.

4. Найдите относительное отклонение γ экспериментальных значений ёмкостей батарей конденсаторов от теоретических

$$\gamma_{\text{парал}} = \frac{C_{\text{эксп}}^{\text{парал}} - C_{\text{теор}}^{\text{парал}}}{C_{\text{теор}}^{\text{парал}}} 100\%, \quad (2.7)$$

$$\gamma_{\text{посл}} = \frac{C_{\text{эксп}}^{\text{посл}} - C_{\text{теор}}^{\text{посл}}}{C_{\text{теор}}^{\text{посл}}} 100\%. \quad (2.8)$$

5. Результаты расчетов запишите в табл. 2.4.

Контрольные вопросы:

1. Выведите формулу для емкости параллельного и последовательного соединения конденсаторов.
2. В воздушный конденсатор вводится диэлектрик, при этом конденсатор остается подключенным к источнику. Как изменятся емкость, напряжение и заряд на конденсаторе?
3. Воздушный конденсатор заряжен и отключен от источника. Как и почему изменится разность потенциалов на нем при введении диэлектрика между обкладками?
4. Выведите формулы для емкости сферического и цилиндрического конденсаторов.
5. Конденсатор с диэлектриком заряжен и отключен от источника напряжения. Будет ли совершена работа внешними силами, если удалить диэлектрик? Ответ обосновать.

