

T 40886(6)^a

Государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»

Кафедра «Физика». Лаборатория электричества

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА

Методические указания
к лабораторной работе № 242

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2005

Метод измерения емкости конденсатора

Система двух разноименно заряженных проводников называется *конденсатором*, а заряд, который надо перенести с одного проводника на другой, чтобы зарядить один из них отрицательно, а другой положительно, называется *зарядом конденсатора*. В частности, *плоским конденсатором* называется конденсатор, состоящий из двух параллельных пластин, расстояние между которыми мало по сравнению с размерами пластин.

При любом способе зарядки пластин конденсатора все происходит так, как если бы некоторый заряд q был перенесен с одной пластины на другую. В результате заряды пластин равны $+q$ и $-q$, т. е. отличаются только знаком.

Разность потенциалов U между пластинами конденсатора прямо пропорциональна заряду q :

$$q = CU. \quad (1)$$

Здесь C – коэффициент, характеризующий конденсатор. Если подобрать такой заряд q^* , чтобы между пластинами конденсатора возникла разность потенциалов U , равная единице, то из формулы (1) получим $C = q^*$. Таким образом, величина C определяет тот заряд, который необходим, чтобы зарядить конденсатор до разности потенциалов, равной единице. Поэтому коэффициент C носит название *электрической емкости* конденсатора или просто его *емкости*. Из формулы (1) следует:

$$C = q/U, \quad (2)$$

т. е. емкость конденсатора есть отношение заряда конденсатора к той разности потенциалов, которую этот заряд сообщает конденсатору.

В СИ единицей емкости является фарад (Φ), $1 \Phi = 1 \text{ Кл}/1 \text{ В}$. Для практических целей применяют более мелкие единицы емкости – микрофарад ($\text{мк}\Phi$) и пикофарад ($\text{п}\Phi$).

$$1 \text{ мк}\Phi = 10^{-6} \Phi, \quad 1 \text{ п}\Phi = 10^{-6} \text{ мк}\Phi = 10^{-12} \Phi.$$

При параллельном соединении нескольких конденсаторов каждый из них имеет одно и то же значение U разности потенциалов, но заряды на них могут быть различными. Если емкости конденсаторов равны C_1, C_2, \dots, C_n , то соответствующие заряды будут

$$q_1 = C_1 U, \quad q_2 = C_2 U, \quad \dots \quad q_n = C_n U.$$

ПГУПС

Научно-техническая
библиотека

Общий заряд на всех конденсаторах

$$q = q_1 + q_2 + \dots + q_n = (C_1 + C_2 + \dots + C_n)U,$$

и, следовательно, *емкость группы параллельно соединенных конденсаторов равна сумме емкостей отдельных конденсаторов:*

$$C = q/U = C_1 + C_2 + \dots + C_n. \quad (3)$$

При *последовательном соединении нескольких конденсаторов* на все конденсаторы наводятся одинаковые заряды величиной q . Действительно, если мы поместим, например, заряд $+q$ на левую обкладку первого конденсатора, то вследствие индукции на правой его обкладке возникнет заряд $-q$, а на левой обкладке второго конденсатора — заряд $+q$, и т. д. Таким образом, заряд каждого из последовательно соединенных конденсаторов равен q . Напряжение же на каждом из этих конденсаторов определяется емкостью соответствующего конденсатора:

$$U_1 = q/C_1, U_2 = q/C_2, \dots, U_n = q/C_n,$$

где C_i — емкость одного конденсатора. Суммарное напряжение между крайними обкладками всей группы конденсаторов

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

Следовательно, *емкость группы последовательно соединенных конденсаторов определяется выражением*

$$1/C = 1/C_1 + 1/C_2 + \dots + 1/C_n \quad (4)$$

и всегда меньше емкости каждого из этих конденсаторов в отдельности.

Как видно из формулы (2), для определения емкости конденсатора достаточно измерить напряжение U между обкладками конденсатора и его заряд q .

Измерение U производится цифровым вольтметром лабораторной установки, q — отдельным *амперметром магнитоэлектрической системы (МЭС)*, который имеет равномерную шкалу. При разрядке конденсатора через амперметр максимальный угол φ_0 отклонения его стрелки прямо пропорционален заряду конденсатора q . Это ясно из следующих рассуждений.

Основным элементом амперметра МЭС является состоящая из нескольких витков тонкой проволоки рамка, через которую пропускают измеряемый ток. Рамка подвешена на упругой нити, так что если по какой-либо причине рамка отклонена от положения равновесия на угол φ , то на нее действует момент упругих сил

$$M_y = \alpha\phi, \quad (5)$$

где α – коэффициент, зависящий от упругих свойств материала нити.

Причиной отклонения рамки является действующая на нее со стороны магнитного поля сила Ампера, возникающая при пропускании через рамку *электрического тока* I . В пределах области локализации рамки индукция B магнитного поля постоянна по модулю, а ее силовые линии радиальны, что обеспечивается конструктивными особенностями полюсных наконечников магнита, заключенного внутри амперметра. В этих условиях момент M_A сил Ампера дается очень простым выражением

$$M_A = ISNB, \quad (6)$$

где N – число витков провода в рамке, S – площадь рамки, B – модуль индукции B магнитного поля.

При пропускании постоянного тока через амперметр МЭС условие равновесия рамки определяется равенством моментов упругих сил и сил Ампера: $M_y = M_A$ или $\alpha\phi = ISNB$, откуда

$$\phi = (SNB/\alpha)I = \beta I, \quad (7)$$

т. е. ϕ прямо пропорционально току I . Здесь β – постоянная прибора, определяемая при его градуировке путем пропускания через прибор тока, сила которого известна.

При разрядке конденсатора через амперметр МЭС проходит ток за некоторое время t . Будем считать, что t достаточно мало, так что рамка, имеющая некоторый момент инерции J , не успевает заметно сместиться. Следовательно, в течение малого промежутка времени t силы Ампера многократно превосходят силы упругости, и основной закон динамики вращательного движения рамки имеет вид:

$$J(d\omega/dt) = M_A$$

или

$$Jd\omega = M_A dt = ISNB dt. \quad (8)$$

Так как $I dt = dq$, то:

$$Jd\omega = SNB dq. \quad (9)$$

Интегрируя уравнение (9) по времени в интервале от 0 до t , имеем

$$J\omega_0 = SNBq, \quad (10)$$

где ω_0 – угловая скорость, приобретенная рамкой амперметра МЭС за время t разрядки конденсатора, q – заряд, прошедший через рамку.

Начальная кинетическая энергия, приобретенная подвижной рамкой, равна:

$$W_{к0} = J\omega_0^2/2 = (SNB)^2 q^2/(2J). \quad (11)$$

В дальнейшем при движении рамки происходит закручивание нити, и кинетическая энергия рамки постепенно переходит в потенциальную энергию упруго деформированной нити

$$W_{п} = \int_0^{\varphi} M_y d\varphi = \int_0^{\varphi} \alpha\varphi d\varphi = \alpha\varphi^2/2. \quad (12)$$

При максимальном угле φ_0 отклонения рамки вся ее начальная кинетическая энергия переходит в потенциальную, поэтому

$$(SNB)^2 q^2/(2J) = \alpha\varphi_0^2/2,$$

откуда

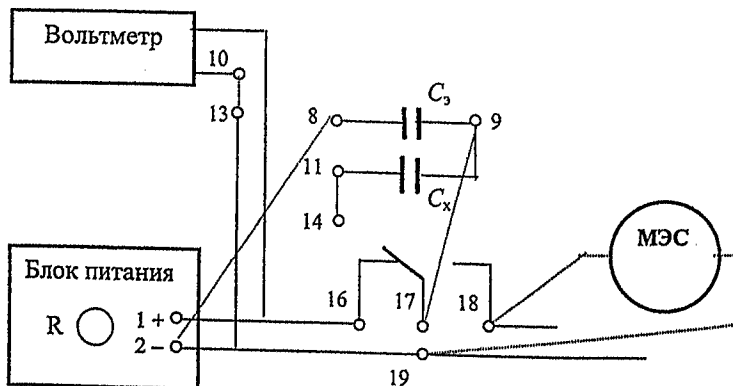
$$q = \gamma\varphi_0, \quad (13)$$

где $\gamma = (\alpha J)^{1/2}/(SNB)$ – постоянная прибора. Формула (13) показывает, что заряд q конденсатора, прошедший при его разрядке через амперметр МЭС, прямо пропорционален максимальному углу φ_0 отклонения рамки от положения равновесия.

Схема установки и порядок выполнения работы

Проверка линейной зависимости (13) угла отклонения рамки от заряда и определение цены деления A_q по заряду для амперметра МЭС.

Собрать схему с конденсатором известной емкости C_x и показать ее преподавателю.



Переведя тумблер в левое положение, зарядить конденсатор в течение 3-х секунд и разрядить его переводом тумблера вправо. Подобрать напряжение U , при котором стрелка амперметра отклоняется на наибольшее число делений α равномерной шкалы прибора, и измерить зависимость $\alpha(U)$ для пяти приблизительно равноотстоящих значений U . Данные занести в таблицу.

n	1	2	3	4	5
U_n					
α_n					
q_n					
A_{qn}					

Рассчитать значения $q_n = C_3 U_n$ и $A_{qn} = q_n / \alpha_n$ и заполнить таблицу. Построить график зависимости $\alpha(q)$. Рассчитать среднее значение и погрешность для A_q по формулам расчета погрешности в случае прямых измерений.

Определение неизвестных емкостей

Включить в схему конденсатор неизвестной емкости C_x . Аналогично предыдущему случаю измерить зависимость $\alpha(U)$ и занести данные в таблицу.

n	1	2	3	4	5
U_n					
α_n					
C_{xn}					

Рассчитать значения $C_{xn} = A_q \alpha_n / U_n$ и заполнить таблицу. Рассчитать среднее значение и погрешность для C_x по формулам расчета погрешности в случае прямых измерений.

Включая в схему конденсаторы C_3 и C_x , соединенные сначала последовательно, а затем параллельно, заполняя такие же таблицы, аналогичным образом определить емкости $C_{\text{посл}}$ и $C_{\text{пар}}$ групп конденсаторов, соединенных последовательно и параллельно. Эти же величины рассчитать теоретически по формулам (4) и (3) и сопоставить с экспериментальными.

Содержание

Метод измерения емкости конденсатора	1
Схема установки и порядок выполнения работы	4

Определение ёмкости конденсатора

Методические указания к лабораторной работе № 242

Разработал УВАРОВ Вячеслав Михайлович

Редактор и корректор *И. А. Гарегина*
Компьютерная верстка *М. С. Савастеева*

План 2004 г., № 152

Подписано в печать с оригинал-макета 30.05.05.
Формат 60×84 1/16. Бумага для множ. апп. Печать офсетная.
Усл.-печ. л. 0,375. Уч.-изд. л. 0,375. Тираж 200.

Заказ 659. Цена 11р.

Петербургский государственный университет путей сообщения.
190031, СПб., Московский пр., 9.
Типография ПГУПС. 190031, СПб., Московский пр., 9.