

Лабораторная работа

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА ПРИ ПОМОЩИ МОСТИКА СОТТИ.

Оборудование: звуковой генератор, набор конденсаторов, реохорд, наушники, провода.

Описание целей работы

Конкретная цель	Критерии достижения цели
1. Изучение теории	Студент должен правильно ответить на контрольные вопросы №1-8
2. Изучение теории метода	Студент должен правильно ответить на контрольные вопросы № 9-14
3. Практические навыки	Студент должен научиться: -правильно собирать электрическую цепь по схеме; -правильно определять баланс моста; -правильно определять необходимые величины; -рассчитывать искомую емкость и находить ее погрешность.

1. Основные сведения

1.1 Известно [1,2], что потенциал поля точечного заряда q на расстоянии r от него определяется формулой

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} \quad (1)$$

где ϵ - диэлектрическая проницаемость среды, в которой находится заряд.

Все точки поля, образованного точечным зарядом, имеющие одинаковый потенциал образуют сферические поверхности (эквипотенциальные поверхности). Если вместо точечного заряда взять заряженный проводящий шар, то его поверхность будет иметь потенциал φ . Чем больше радиус шара (сферы), тем меньше потенциал на его поверхности.

Но отношение $\frac{q}{\varphi} = 4\pi\epsilon_0 \epsilon R_{шара}$ не будет зависеть от заряда,

сообщенного шару. Т.о. отношение $\frac{q}{\varphi}$ есть какая-то постоянная характеристика шара. Ее называют емкостью шара:

$$C = 4\pi\epsilon_0 \epsilon R_{шара} \sim R$$

1.2 Так как точечных зарядов в природе не существует, то заряженные тела имеют конкретную форму. Все точки поверхности заряженного проводящего

тела имеют одинаковый потенциал. Величина потенциала φ тем больше, чем больше заряд, сообщенный телу: $\varphi \sim q$. Установлено, что при любом заряде отношение $\frac{q}{\varphi}$ для данного тела является постоянным и зависит от размеров, формы проводника и свойств среды, в которой находится проводник. Это отношение является неизменной характеристикой проводника и называется **электроемкостью** C проводника:

$$C = \frac{q}{\varphi} \quad (1)$$

Единица измерения электроемкости в СИ

$$[C] = \frac{1\text{Кл}}{1\text{В}} = 1\text{Ф}(\text{фарада})$$

Фарада слишком крупная единица электроемкости и на практике чаще применяют более мелкие единицы:

$$1\text{мкФ} = 10^{-6}\text{ Ф}; \quad 1\text{пФ} = 10^{-12}\text{ Ф}.$$

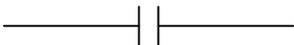
Емкость отдельного проводника произвольной формы рассчитать трудно, обычно ее определяют экспериментально.

1.3 Уединенные проводники не сохраняют заряд. Два любых проводника, разделенных слоем диэлектрика обладают замечательным свойством: они накапливают и долгое время сохраняют электрические заряды.

Система из двух проводников, разделенных слоем диэлектрика, называется **конденсатором**.

Проводники, на которых происходит накопление электрических зарядов, составляют обкладки конденсаторов.

1.4 На электрических схемах конденсатор имеет следующие обозначения:

а)  конденсатор постоянной емкости

б)  конденсатор переменной емкости.

1.5 Конденсатор называется **плоским**, если его обкладки представляют собой две плоские металлические пластины площадью S каждая, расположенные на малом расстоянии d друг от друга. В пространстве между пластинами находится среда с диэлектрической проницаемостью ϵ . Чтобы зарядить конденсатор, его надо присоединить к источнику постоянного тока. Тогда одна из обкладок конденсатора приобретает заряд $+q$, а другая – такой же по величине отрицательный заряд $-q$. Т.к. потенциалы пластин различны, то их разность $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = U$, будет связана с величиной заряда обкладок: $q = CU$,

где
$$C = \frac{q}{\Delta\varphi} = \frac{q}{U} \quad (2) \text{ -емкость конденсатора.}$$

Емкость плоского конденсатора можно рассчитать по формуле

$$C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon S}{d} \quad (3),$$

где $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ ф/м - электрическая постоянная.

1.6 Для получения электроемкости необходимой величины конденсаторы соединяют в батарее. Существует последовательное, параллельное и смешанное соединение конденсаторов.

1.6.1. Последовательное соединение конденсаторов схематически обозначается так:

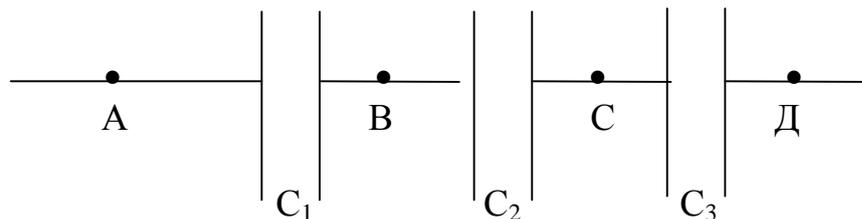


Рис. 2

При этом положительно заряженная пластина одного конденсатора соединяется проводником с отрицательно заряженной другого. При этом модули зарядов на каждой обкладке соединенных конденсаторов будут одинаковы: $q_1 = q_2 = q_3 = \dots$, а разность потенциалов (напряжение) на всем соединении равно сумме напряжений на каждом конденсаторе:

$$U_{AD} = U_{AB} + U_{BC} + U_{CD} = U_1 + U_2 + U_3,$$

$$\begin{aligned} \text{где } U_{AB} &= \varphi_A - \varphi_B \\ U_{BC} &= \varphi_B - \varphi_C \\ U_{CD} &= \varphi_C - \varphi_D \\ U_{AD} &= \varphi_A - \varphi_D = U_{\text{общ}} \end{aligned}$$

Тогда

$$C_{\text{общ}} = C_{AD} = \frac{q_{\text{общ}}}{U_{\text{общ}}} = \frac{q_1}{U_1 + U_2 + U_3}$$

$$\text{т.к. } U_1 = \frac{q_1}{C_1}, \quad U_2 = \frac{q_2}{C_2}, \quad U_3 = \frac{q_3}{C_3}, \quad \text{то}$$

$$\frac{1}{C_{\text{общ}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \quad (4)$$

При последовательном соединении конденсаторов сумма величин, обратных взятым емкостям равна величине, обратной их общей емкости. Таким образом,

при последовательном соединении результирующая емкость $C_{\text{общ}}$ всегда меньше наименьшей емкости, используемой в батарее.

1.6.2 Параллельное соединение изображается так:

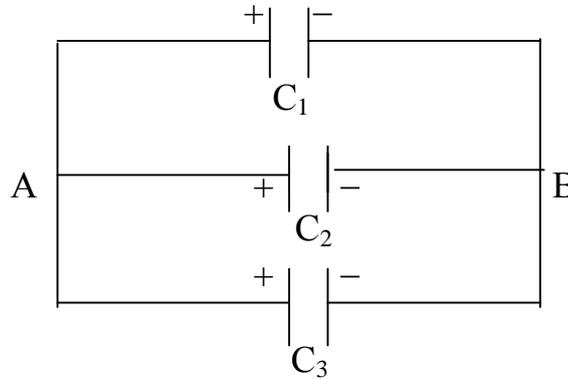


Рис.3

т.е. соединяются обкладки с зарядом одинакового знака. При параллельном соединении конденсаторов разность потенциалов между обкладками на каждом конденсаторе будет одинаковой: $U_1 = U_2 = U_3 = \dots$. При этом заряд на каждом конденсаторе будет зависеть от его емкости:

$$q_1 = C_1 U; \quad q_2 = C_2 U; \quad q_3 = C_3 U.$$

Общий заряд на всем соединении $q_{\text{общ}}$ будет складываться из суммы зарядов на всех конденсаторах: $q_{\text{общ}} = q_1 + q_2 + q_3$.

Тогда емкость всего соединения

$$C_{\text{общ}} = \frac{q_{\text{общ}}}{U_{\text{общ}}} = \frac{q_1 + q_2 + q_3}{U_{AB}} = C_1 + C_2 + C_3 \quad (5)$$

Таким образом, при параллельном соединении конденсаторов общая емкость равна сумме емкостей соединенных конденсаторов.

1.7 Если конденсатор включить в цепь постоянного тока (рис.4а), то ток в цепи будет кратковременным (пока не зарядится конденсатор), т.к. диэлектрик между обкладками конденсатора разрывает цепь. Этот ток быстро убывает и прекращается (лампочка быстро вспыхнет и погаснет), как только разность потенциалов между обкладками конденсатора достигнет величины, равной ЭДС источника. Эта разность потенциалов направлена навстречу ЭДС источника.

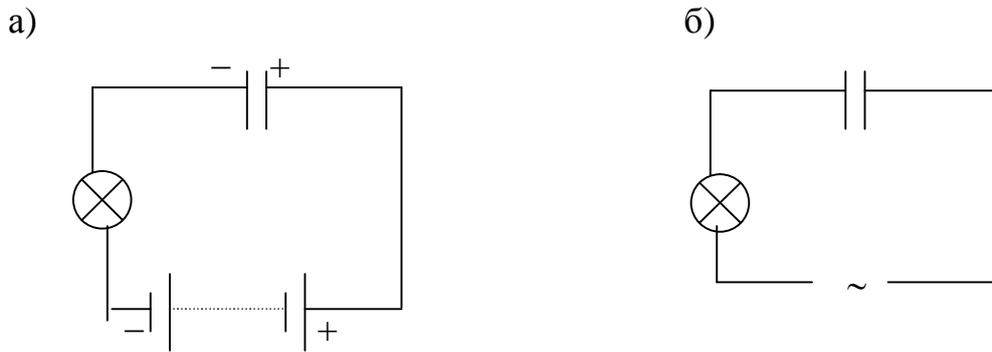


Рис.4

Если подключить конденсатор к источнику переменного тока (рис.4б), т.е. тока непрерывно меняющего свое направление, то конденсатор будет непрерывно как бы заряжаться и разряжаться. Если при постоянном токе заряды непрерывно «уходят» от одного полюса источника и приходят к другому полюсу, то в такой цепи конденсатор является разрывом цепи. А при переменном токе заряды совершают колебания с частотой тока и практически не смещаются от своих положений, поэтому конденсатор не является препятствием для прохождения через него переменного тока. В цепи переменного тока конденсатор имеет сопротивление

$$R_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi\nu C} \quad (6)$$

где ν – частота переменного тока.

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение понятий:
 - потенциал поля заряда;
 - разность потенциалов;
 - диэлектрическая проницаемость среды;
 - емкость проводника, конденсатора;
 - конденсатор;
 - плоский конденсатор.
2. Укажите единицы измерения емкости в системе СИ.
3. От чего зависит емкость проводника? Плоского конденсатора ?
4. Как надо соединять конденсаторы последовательно? Какую емкость в этом случае получим?
5. Как надо соединять конденсаторы параллельно? Какую емкость в этом случае получим?
6. Найдите емкость батареи конденсаторов при параллельном и последовательном соединении конденсаторов:

а) $C_1 = 2 \text{ мкФ}$	$C_2 = 2 \text{ мкФ}$
б) $C_1 = 10 \text{ мкФ}$	$C_2 = 5 \text{ мкФ}$

- в) $C_1 = 200 \text{ пФ}$ $C_2 = 400 \text{ пФ}$
 г) $C_1 = 1 \text{ мкФ}$ $C_2 = 1000 \text{ пФ}$
 д) $C_1 = 4 \text{ мкФ}$ $C_2 = 40 \text{ мкФ}$

7. Объясните, почему при последовательном соединении конденсаторов равны их заряды, а при параллельном соединении –напряжение на них.
 8. Объясните, почему постоянный ток не проходит через конденсатор, а для переменного тока конденсатор не является препятствием.

2. Выполнение работы

2.1 В данной работе измерение емкости производится мостовым методом на переменном токе. Принципиальная схема моста представлена на рис. 5,

где R_1 и R_2 – сопротивления,

C_1 и C_2 – конденсаторы,

 –источник переменного тока,

 –индикатор тока.

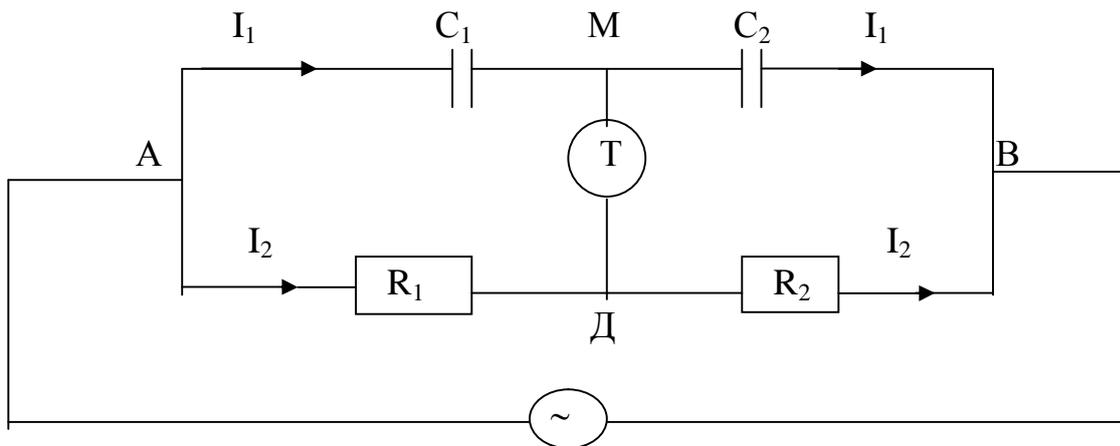


Рис.5

В соответствии с теорией мостовых схем (см. описание работы №1) при отсутствии тока в индикаторе Т, потенциалы точек М и Д равны, т.е. $\varphi_M = \varphi_D$. Следовательно,

$$\varphi_A - \varphi_M = \varphi_A - \varphi_D; \quad \varphi_M - \varphi_B = \varphi_D - \varphi_B \quad (7)$$

По закону Ома:

$$U_{AM} = \varphi_A - \varphi_M = I_{AM} \cdot R_{C_1} = \frac{I_{AM}}{2\pi\nu C_1}$$

$$U_{MB} = \varphi_M - \varphi_B = I_{AM} \cdot R_{C_2} = \frac{I_{AM}}{2\pi\nu C_2}$$

Аналогично, на участке АДВ

$$U_{AD} = I_{AD} \cdot R_1; \quad U_{DB} = I_{AD} \cdot R_2.$$

При балансе моста (т.е. $I_{MD} = 0$)

$$\frac{I_{AM}}{2\pi\nu C_1} = I_{AD} \cdot R_1 \quad ; \quad \frac{I_{AM}}{2\pi\nu C_2} = I_{AD} \cdot R_2.$$

Преобразуем полученные выражения:

$$\frac{I_{AM}}{I_{AD}} = 2\pi\nu C_1 R_1 = 2\pi\nu C_2 R_2 \quad ,$$

откуда
$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{R_2}{R_1} \quad (8)$$

2.2 Схема экспериментальной установки изображена на рис.6,

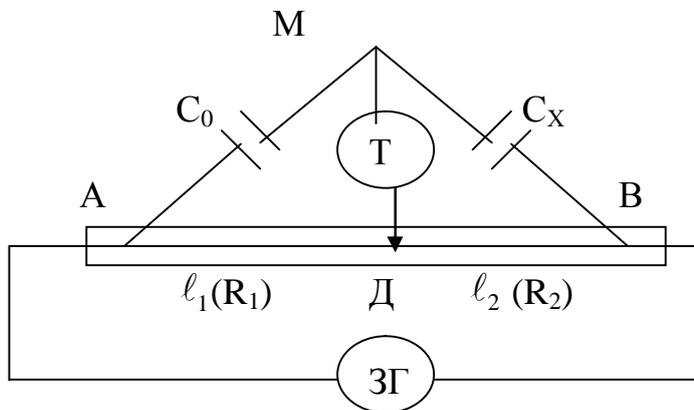


Рис.6

где C_0 – конденсатор известной емкости;

C_x – конденсатор неизвестной емкости;

АВ – реохорд;

ЗГ – генератор переменного тока звуковой частоты (звуковой генератор);

Г – наушники.

Реохорд состоит из проволоки с большим удельным сопротивлением, натянутой по линейке между контактами А и В. По линейке может также скользить подвижный контакт Д. К точкам А и В подводится от генератора переменное напряжение частотой от 500 Гц до 2000 Гц, а к точкам М и Д подсоединяются наушники. Передвигая движок реохорда Д добиваемся отсутствия звука в наушниках (баланс моста). В этом случае ток в диагонали моста МД отсутствует и $\varphi_M = \varphi_D$. Используя (8) запишем:

$$\frac{C_0}{C_x} = \frac{R_2}{R_1}, \quad \text{откуда} \quad C_x = \frac{C_0 \cdot R_1}{R_2} \quad (9)$$

где R_1 и R_2 – сопротивление проволоки длиной $AD = \ell_1$ и $DB = \ell_2$

Т.к. сопротивления $R_1 = \rho \frac{\ell_1}{s}$ и $R_2 = \rho \frac{\ell_2}{s}$, то $\frac{R_1}{R_2} = \frac{\ell_1}{\ell_2}$.

Рабочая формула для расчета неизвестной электроемкости конденсатора принимает окончательный вид:

$$C_x = C_0 \frac{\ell_1}{\ell_2} \quad (10)$$

Контрольные вопросы

9. Начертите принципиальную схему моста для определения емкости. Укажите ее элементы и их назначение.
10. Что такое баланс «моста» и как его определить?
11. Выведите формулы (8) и (10).
12. Что такое реохорд? Плечи реохорда?
13. Как определить сопротивление плеч реохорда?
14. Почему в качестве источника тока используется генератор тока переменной звуковой частоты?

2.3 Порядок выполнения измерений

1. Собрать электрическую цепь по схеме (рис.6) с каким – либо конденсатором неизвестной емкости C_1 .
2. Проверьте правильность соединений в схеме у лаборанта или у преподавателя.
3. Установите движок реохорда Д приблизительно в середине линейки и отрегулируйте звук в наушниках.
4. Медленно сдвиньте движок, например, вправо. Если звук усиливается, то измените направление смещения движка.
5. Передвигая движок, определите место, в котором звук имеет минимальную громкость. Очень медленным движением движка определите точку, в которой звук в наушниках будет отсутствовать.
6. Измерьте поточнее ℓ_1 и ℓ_2 .
7. Определите погрешности $\Delta \ell_1$ и $\Delta \ell_2$ (для этого необходимо повторить измерения несколько раз).
8. По формуле (10) определите емкость взятого вами конденсатора.
9. Замените конденсатор на другой и определите его емкость C_2 .

10. Измеренные вышеуказанным способом конденсаторы с емкостями C_1 и C_2 включите в цепь вместе, сначала параллельно, а потом последовательно. Измерьте общую емкость двух конденсаторов так же, как это делали для этих же конденсаторов в отдельности по формуле (5).

11. Занести все данные в таблицу измерений.

Таблицы измерений

1. Определение C_1

$C_0, \text{мкФ}$	$l_1, \text{см}$	$\Delta l_1, \text{см}$	$l_2, \text{см}$	$\Delta l_2, \text{см}$	$C_1, \text{мкФ}$	$\Delta C_1, \text{мкФ}$
-------------------	------------------	-------------------------	------------------	-------------------------	-------------------	--------------------------

2. Определение C_2

$C_0, \text{мкФ}$	$l_1, \text{см}$	$\Delta l_1, \text{см}$	$l_2, \text{см}$	$\Delta l_2, \text{см}$	$C_2, \text{мкФ}$	$\Delta C_2, \text{мкФ}$
-------------------	------------------	-------------------------	------------------	-------------------------	-------------------	--------------------------

3. Определение общей емкости при

а) параллельном соединении

$C_0, \text{мкФ}$	$l_1, \text{см}$	$\Delta l_1, \text{см}$	$l_2, \text{см}$	$\Delta l_2, \text{см}$	$C_{\text{ОБЩ}}, \text{мкФ}$	$\Delta C_{\text{ОБЩ}}, \text{мкФ}$
-------------------	------------------	-------------------------	------------------	-------------------------	------------------------------	-------------------------------------

б) последовательном соединении

$C_0, \text{мкФ}$	$l_1, \text{см}$	$\Delta l_1, \text{см}$	$l_2, \text{см}$	$\Delta l_2, \text{см}$	$C_{\text{ОБЩ}}, \text{мкФ}$	$\Delta C_{\text{ОБЩ}}, \text{мкФ}$
-------------------	------------------	-------------------------	------------------	-------------------------	------------------------------	-------------------------------------

Результаты работы:

$$C_1 = C_1 \pm \Delta C_1$$

$$C_2 = C_2 \pm \Delta C_2$$

$$C_{\text{ОБЩ ПОСЛ}} = C_{\text{ОБЩ ПОСЛ}} \pm \Delta C_{\text{ОБЩ ПОСЛ}}$$

$$C_{\text{ОБЩ ПАР}} = C_{\text{ОБЩ ПАР}} \pm \Delta C_{\text{ОБЩ ПАР}}$$

Сравните значения $\Delta C_{\text{ОБЩ ПОСЛ}}$ и $\Delta C_{\text{ОБЩ ПАР}}$, рассчитанные по формулам (4) и (5) с полученными экспериментально.

Литература

1. Савельев И.В. Курс общей физики Т.2 М, 1988г.
2. Сивухин Д.В. Общий курс физики. Электричество М., 1983г.
3. Майсова И.И. Практикум по курсу общей физики стр. 178-180.