

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЁМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОННОГО ВОЛЬТМЕТРА

Цель работы: определить емкости конденсаторов и проверить законы последовательного и параллельного соединения конденсаторов.

Приборы и принадлежности: лабораторный модуль, микроамперметр постоянного тока в корпусе, источник питания типа «Марс»

Краткая теория.

Рассмотрим заряженный уединенный проводник, погруженный в однородный диэлектрик. Носители заряда на проводнике способны перемещаться под действием сколь угодно малой силы. Поэтому равновесие зарядов на проводнике может наблюдаться лишь при выполнении следующих условий:

1. Напряженность поля внутри проводника должна быть равна нулю $E = 0$. Это означает, что потенциал внутри проводника должен быть постоянным ($\varphi = \text{const}$).
2. Напряженность поля на поверхности проводника должна быть в каждой точке направлена по нормали к поверхности, т.е. $E = E_n$.

Следовательно, в случае равновесия зарядов поверхность будет эквипотенциальной, т.е. сообщенный проводнику заряд q распределяется по его поверхности так, чтобы напряженность поля внутри проводника была равна нулю. Если проводнику, уже несшему заряд q , сообщить еще заряд той же величины, то второй заряд должен распределиться по проводнику таким же образом, как и первый. В противном случае он создает в проводнике поле, не равное нулю. Удвоение заряда проводника приводит к удвоению его потенциала.

Между потенциалом φ и зарядом проводника q существует прямая пропорциональность:

$$q = C\varphi \quad (1)$$

Коэффициент C показывает **ёмкость уединённого проводника** и зависит только от размеров и формы проводника, а также от диэлектрической проницаемости окружающего его диэлектрика ϵ , т.е.

$$C = 4\pi\epsilon\epsilon_0 R$$

где ϵ_0 - диэлектрическая постоянная ($\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{Ф/м}$); R - радиус проводника. Ёмкостью в одну фараду обладает уединенный шар в вакууме с радиусом 9 млн.км.

Большую ёмкость можно получить с помощью **плоского конденсатора**.

Всякий конденсатор состоит из двух металлических **обкладок**, отделенных одна от другой слоем диэлектрика. Заряды на поверхностях обкладок, обращенных одна к другой, равны по величине и противоположны по знаку. Если обкладки конденсатора представляют две замкнутые оболочки, причем внутренняя целиком окружена внешней, то поле между **обкладками** не зависит от внешних электрических полей. В реальном конденсаторе обкладки не являются полностью замкнутыми. Практическая независимость внутреннего поля от внешнего достигается тем, что обкладки

располагаются очень близко одна от другой. Если q - заряд одной из обкладок, а $(\varphi_1 - \varphi_2)$ - разность потенциалов между обкладками, то

$$q = C(\varphi_1 - \varphi_2) \quad (2).$$

Постоянная C называется емкостью **конденсатора** и зависит только от размеров и устройства конденсатора:

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}$$

где ε - диэлектрическая проницаемость вещества, заполняющего зазор; ε_0 - диэлектрическая постоянная; S - площадь обкладки; d - величина зазора между обкладками. Ёмкость численно равна заряду, приобретаемому им при единичной разности потенциалов на одной из его обкладок.

Ёмкость конденсатора и уединенного проводника (или электроёмкость) измеряется в фарадах (Ф). На практике применяется микрофарада, равная 10^{-6} фарады и пикофарада, равная 10^{-12} фарады.

Располагая некоторым набором конденсаторов, можно значительно расширить число возможных значений емкостей, если применить соединение конденсаторов в батареи.

При параллельном соединении конденсаторов одна, из обкладок имеет потенциал φ_1 , а другая - φ_2 . Следовательно, каждая из двух систем обкладок накапливает суммарный заряд;

$$q = \sum_{k=1}^n q_k = \sum_{k=1}^n C_k (\varphi_1 - \varphi_2) = (\varphi_1 - \varphi_2) \sum_{k=1}^n C_k$$

Ёмкость батареи получим, разделив q на $(\varphi_1 - \varphi_2)$:

$$C = \frac{q}{(\varphi_1 - \varphi_2)} = \sum_{k=1}^n C_k \quad (3)$$

Таким образом, при параллельном соединении конденсаторов емкости складываются.

При последовательном соединении (см. рис. 2) каждый конденсатор и вся батарея в целом накапливают одинаковый заряд q и напряжение на каждом конденсаторе равно

$$U_k = q/C_k$$

Сумма этих напряжений равна разности потенциалов, приложенной к батарее:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{q}{C} = \sum_{k=1}^n U_k = \sum_{k=1}^n \frac{q}{C_k} = q \sum_{k=1}^n \frac{1}{C_k}$$

Откуда:

$$\frac{1}{C} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{C_k} \quad (4)$$

Таким образом, при последовательном соединении конденсаторов складываются величины, обратные их емкостям.

В данной работе используются две емкости: одна эталонная C_0 и неизвестная C_x , которая может быть составленной из нескольких емкостей, соединенных параллельно и последовательно. От источника питания заряжается эталонная емкость до напряжения U_0 . При этом накапливается заряд $q_0 = C_{эм} U_0$. Затем к эталонной емкости параллельно подключается неизвестная емкость C_x , в результате чего эталонная емкость частично C_0 разряжается до напряжения U_1 заряжая предварительно незаряженную неизвестную емкость до той же разности потенциалов. По закону сохранения заряда:

$$C_{эм}U_0 = C_{эм}U_1 + C_xU_1 \quad (5)$$

где $C_{эм}U_0$ - начальный заряд эталонного конденсатора; $C_{эм}U_1$ - его заряд после подключения к нему конденсатора неизвестной емкости; C_xU_1 - заряд неизвестного конденсатора.

Измеряя U_0 и U_1 электронным вольтметром, можно вычислить неизвестную емкость из (5);

$$C_x = \frac{C_0(U_0 - U_1)}{U_1} \quad (6)$$

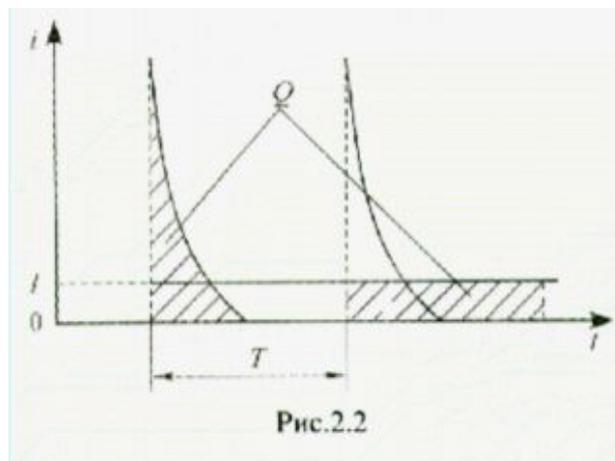
Вывод расчётной формулы

За время T , равное периоду перезарядки конденсатора, через микроамперметр пройдет заряд Q , величина которого определяется площадью (рис. 2.2), ограниченной кривой тока разряда конденсатора I_Q и осью времени t . С другой стороны, Q можно определить через площадь, ограниченную прямой $I = \text{const}$ и осью времени t в пределах периода перезарядки конденсатора. Здесь I - среднее значение тока, которое показывает микроамперметр. Обе площади, выделенные на рис. 2.2, равны, следовательно, можно записать

$$Q = \int_0^T i(t) dt = IT \quad (7)$$

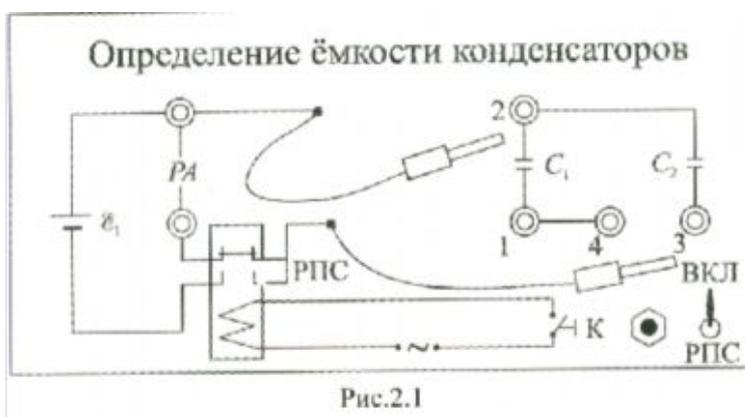
Напряжение U , заряд конденсатора Q и емкость конденсатора C связаны известным соотношением $Q = CU$. Приравнявая (1) и (2), а так же учитывая соотношение $\nu = 1/T$, ν - частота перезарядки конденсатора, равная частоте питания поляризованного реле 50 Гц, получим формулу для расчета ёмкости конденсаторов или их соединений

$$C = \frac{I}{U\nu} \quad (8)$$



Описание установки

В состав лабораторной установки входят: лабораторный модуль, источник питания ИП, стрелочный микроамперметр. Электрическая схема лабораторного модуля изображена на его передней панели (рис. 2.1). Внутри лабораторного модуля на печатной плате смонтированы: поляризационное реле типа РПС—32А, а также два конденсатора. Конденсаторы подключаются к источнику питания с помощью гибких выводов со штекерами. К гнездам "РА" подключается микроамперметр. Один из гибких выводов подключён через поляризационное реле, а второй — непосредственно к источнику тока. Переменное питание на реле подается через тумблер "РПС" и кнопку "К" с нормально разомкнутыми контактами. В первую половину периода замыкаются контакты реле, через которое подается напряжение на гибкие выводы, и конденсатор заряжается. Контакты, в цепь которых включен микроамперметр, разомкнуты. Во вторую половину периода размыкаются контакты реле, через которые подается напряжение на конденсатор, и замыкаются контакты, через которые к заряженному конденсатору подключается измерительный прибор. Этот процесс проходит с частотой питания обмотки поляризационного реле, равной 50 Гц.



Подготовка модуля к работе.

1. Подсоединить к гнездам "РА" микроамперметр.
2. Подключить к лабораторному модулю источник питания ИП.
3. Включить в сеть лабораторный модуль и источник питания.
4. Включить тумблер "РПС" на лицевой панели модуля.
5. Установить на источнике питания ИП напряжение, равное 5В-10В.

Порядок проведения измерений

1. С помощью гибких выводов на панели лабораторного модуля подсоединить конденсатор емкостью C_1 к гнездам 1 и 2 (рис. 2.1).
2. Нажав и удерживая кнопку "К" в течение 3 - 4 с, измерить среднее значение тока разряда конденсатора C_1 .
3. Присоединить гибкие выводы к конденсатору C_2 (гнезда 2 и 3) и измерить его ток разряда.
4. Присоединить гибкие выводы к гнездам 1 и 3 и измерить ток разряда последовательно соединенных конденсаторов C_1, C_2 .
5. Закоротить гнезда 3 и 4 перемычкой, подсоединить гибкие выводы к гнездам 1 и 2 и измерить ток разряда параллельно соединенных конденсаторов C_1 и C_2 .
6. Результаты измерений занести в табл. 2.1.
7. Повторить пункты 1-6, изменяя напряжение на источнике ИП в диапазоне 5 - 10 В с шагом в 1 В.

Таблица 2.1

U, В	I, С	C_1	C_2	$C_{\text{пос}}$	$C_{\text{пар}}$
5	I, мкА				
	C, мкФ				
.....	I, мкА				
	C, мкФ				
10	I, мкА				
	C, мкФ				

Обработка результатов измерений

1. По формуле (1.3) рассчитать емкости конденсаторов C_1 и C_2 и их соединений. Результаты расчета занести в табл. 2.1.
2. Рассчитать абсолютную и относительную погрешности определения одной из ёмкостей.

Контрольные вопросы

1. От каких параметров зависит ёмкость конденсатора?
2. Изложить суть метода определения ёмкости конденсатора посредством измерения тока разрядки.
3. Какой физический смысл имеет площадь, ограниченная кривой графика $I=I(t)$?
4. Вывести формулы для электроемкости последовательно и параллельно соединённых конденсаторов.

Состав работы:

- лабораторный модуль - 1 шт.
- микроамперметр постоянного тока в корпусе – 1 шт.
- источник питания типа «Марс» - 1 шт.

Параметры и состав модуля:

- реле поляризованное типа РПС-32А _____ 1 шт.
- трансформатор 220/24 В _____ 1 шт.
- конденсаторы ёмкости:
C1 = 0,053 мкФ _____ 1 шт.
C2 = 0,14 мкФ _____ 1 шт.

Примечание.

Напряжение источника питания не должно превышать значения, при котором ток при параллельно соединённых конденсаторах не более 100 мкА