

Лабораторная работа ПРОВЕРКА ЗАКОНОВ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО И ПАРАЛЛЕЛЬНОГО СОЕДИНЕНИЙ КОНДЕНСАТОРОВ

Цель работы: ознакомиться с одним из методов измерения емкости конденсатора, измерить величину неизвестной емкости, убедиться в справедливости законов параллельного и последовательного соединений конденсаторов.

Приборы и принадлежности: набор конденсаторов, выпрямитель ВС-24М, двухполюсный переключатель, микроамперметр, вольтметр, реостат, соединительные провода.

КРАТКАЯ ТЕОРИЯ

Рассмотрим конденсатор с емкостью C , который включен в схему (рис. 1). Если переключатель находится в положении 1, то происходит зарядка конденсатора через сопротивление R . Ток зарядки (разрядки) является квазистационарным, так как величина тока в каждый момент времени остается одинаковой во всех сечениях неразветвленной проводящей цепи. Токи проводимости при зарядке конденсатора не являются замкнутыми токами, так как заряды не перемещаются через диэлектрик конденсатора.

Будем считать, что сопротивление R включает в себя и внутреннее сопротивление источника. Тогда, согласно второму закону Кирхгофа:

$$E + U_C + (-IR) = 0,$$

где E - ЭДС источника; U_C - мгновенное значение напряжения, создаваемого зарядами конденсатора; I - мгновенное значение тока, создаваемого зарядами конденсатора.

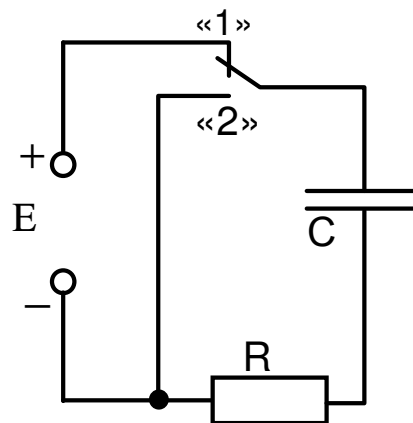


Рис. 1

Считая, что: $U_C = \frac{q}{C}$ и $i = -\frac{dq}{dt}$, получим: $E + U_C + \frac{dU_C}{dt} RC = 0$.

Данное уравнение является дифференциальным уравнением первого порядка с постоянными коэффициентами. Разделяя переменные и интегрируя, получим: $E + U_C = Ae^{-\frac{t}{RC}}$.

Постоянная интегрирования A зависит от начальных условий. Если считать, что отсчет времени начинается с момента замыкания ключа ($t=0$ и $U_C=0$), то $A=E$. Отсюда $U_C = E\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$.

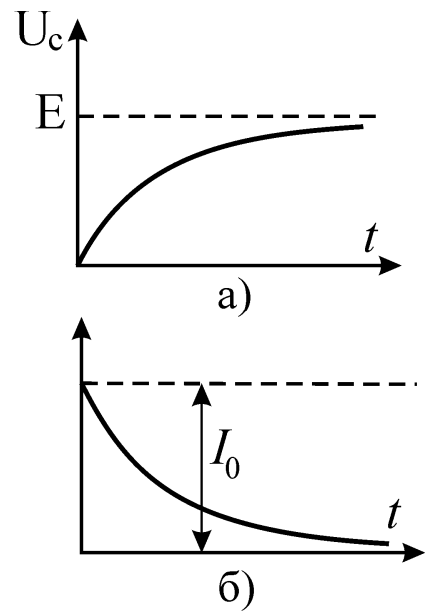


Рис. 2

Знак минус показывает, что при зарядке напряжение конденсатора направлено против ЭДС источника. В начальный момент времени $t=0$ напряжение на конденсаторе равно нулю. С увеличением времени напряжение на конденсаторе непрерывно увеличивается и асимптотически приближается к ЭДС источника (рис. 2,а).

Зависимость тока зарядки от времени имеет вид: $i = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{RC}}$.

Ток имеет наибольшее значение в начальный момент времени и асимптотически стремится к нулю в процессе зарядки конденсатора (рис. 2,б).

Если переключатель перебросить в положение 2, конденсатор начинает разряжаться через сопротивление R . Для процесса разрядки уравнение имеет вид: $U_C + \frac{dU_C}{dt} RC = 0$.

Решая данное уравнение с учетом начальных условий ($t=0$, $U_C=U_0$), получим: $U_C = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}$.

В процессе разрядки конденсатора напряжение на конденсаторе уменьшается и асимптотически приближается к нулю (рис. 3,а). Зависимость тока разрядки от времени имеет такой же вид (рис. 3б): $I = I_0 e^{-\frac{t}{RC}}$.

Полученные формулы показывают, что теоретически процессы зарядки и разрядки протекают бесконечно большое время.

На практике процесс считают установившимся, когда разность между изменяющейся величиной и ее пределом составляет 5% от полного изменения.

Время переходного процесса можно определить, полагая, например, $I = 0,05I_0$:

$$0,05I_0 = I_0 e^{-\frac{t}{RC}}.$$

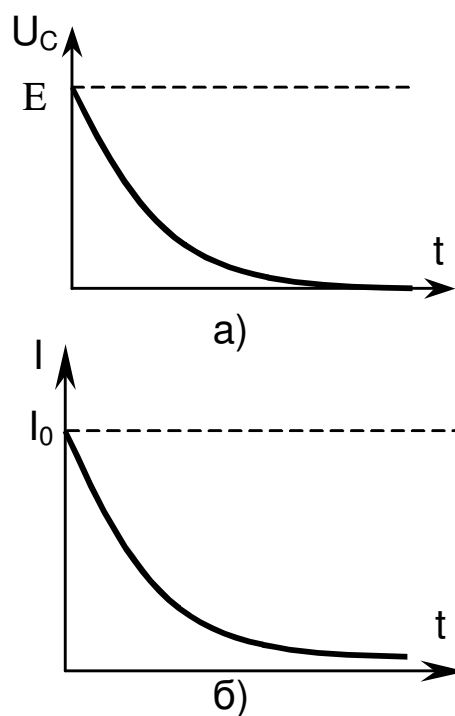


Рис. 3

Отсюда $t = 3RC = 3\tau$. Величина $\tau = RC$ называется временем релаксации или постоянной времени цепи. Эта величина показывает время, в течение которого ток зарядки или разрядки конденсатора уменьшается в $e = 2,71$ раз и составляет 0,37 своего максимального значения.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЕ РАБОТЫ

ЗАДАНИЕ 1. Измерение емкости конденсаторов.

1. Собрать цепь по схеме (рис. 4) включив в цепь конденсатор с известной емкостью C_0 .

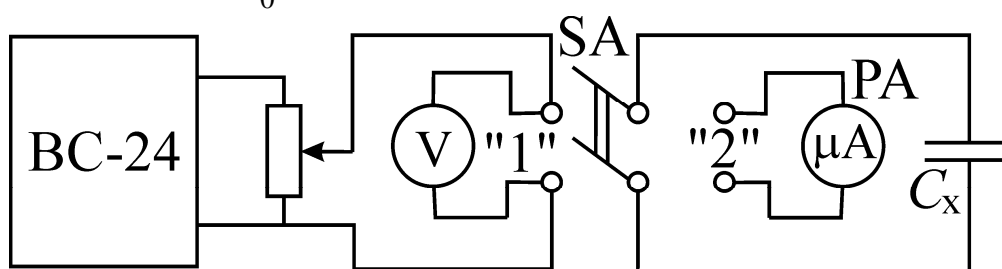


Рис. 4

2. Установить напряжение на клеммах ключа "1" напряжение 2 В.
3. Установить переключатель в положении "1" (конденсатор заряжается).
4. Установить переключатель в положении "2" (конденсатор разряжается через микроамперметр). При этом микроамперметр показывает ток разряда конденсатора, который пропорционален величине заряда конденсатора при данном напряжении.

5. Повторите пп. 3,4 несколько раз и среднее значение тока разряда для данного напряжения запишите в таблицу.

6. Повторите пп. 3-5, изменяя напряжение на выходе выпрямителя. Шаг и пределы изменения напряжения выбрать самостоятельно.

7. Включите в цепь конденсатор с неизвестной емкостью C_x (Отсоединив предварительно конденсатор с известной емкостью C_0).

8. Повторите пп. 2-6 для конденсатора с неизвестной емкостью. Результаты запишите в таблицу.

9. Вычислите неизвестную емкость конденсатора $C_x = C_0 \frac{\bar{I}_x}{\bar{I}_0}$.

10. Найдите среднее значение неизвестной емкости \bar{C}_x .

Таблица 1

№ п/п	$U, В$	$C_0,$ мкФ	$I_0,$ мкА	$\bar{I}_0,$ мкА	$I_x,$ мкА	$\bar{I}_x,$ мкА	$C_x,$ мкФ	$\bar{C}_x,$ мкФ
1								
2								
3								
1								
2								
3								
1								
2								
3								

ЗАДАНИЕ 2. Проверка справедливости законов последовательного соединений конденсаторов.

1. Выполните пункты 2-6 задания 1.

2. Соедините конденсатор с известной емкостью C_0 и конденсатор с найденной емкостью C_x последовательно.

3. Повторите пп. 2-6 задания 1 для полученной батареи конденсаторов соединенных последовательно. Результаты запишите в таблицу.

4. Вычислите емкость батареи конденсаторов, соединенных последовательно $C_{noc} = C_0 \frac{\bar{I}_{noc}}{\bar{I}_0}$.

5. Найдите среднее значение неизвестной емкости \bar{C}_{noc} .

6. Сравните найденное значение с теоретическим $\frac{1}{C_{mnoc}} = \frac{1}{C_0} + \frac{1}{C_x}$.

Контрольные вопросы

1. Напишите формулу для емкости плоского конденсатора, объясните от чего она зависит, в каких единицах измеряется.
2. Как связаны между собой напряжение на обкладках конденсатора и напряженность электрического поля E между обкладками.
3. Как изменятся D и E , если диэлектрик в конденсаторе заменить на диэлектрик с большей ϵ ?
4. Как изменятся векторы \vec{D} и \vec{E} , если увеличить напряжение на конденсаторе?
5. Зависит ли величина тока протекающего через конденсатор от его емкости? Показать это математически.
6. Какова работа раздвигания пластин плоского конденсатора при отключенном источнике напряжения?
7. Два одинаковых конденсатора емкостью C имели напряжение U_1 и U_2 . Как изменится энергия системы, при условии $U_1 > U_2$, если их соединить параллельно?
8. Найдите энергию батареи последовательно соединенных конденсаторов.
9. Вычислите изменение энергии плоского конденсатора при замене твердого диэлектрика воздухом.
10. Найдите напряжение на обкладках плоского конденсатора, если известны соответствующие плотности зарядов, диэлектрические проницаемости и размеры конденсатора.
11. Почему меняется емкость конденсатора при замене в нем одного диэлектрика другим?
12. Как изменится емкость при последовательном соединении двух конденсаторов? Объясните это изменение.
13. Как изменится емкость при параллельном соединении двух конденсаторов? Объясните это изменение.
14. Как взаимосвязаны емкость плоского конденсатора и время его разряда? Напишите формулу и объясните эту зависимость.
15. Зависит ли емкость конденсатора от времени заряда и почему? Зависит ли время заряда конденсатора от его емкости и почему?