

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 206
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕМКОСТИ КОНДЕНСАТОРА МЕТОДОМ ПЕРЕЗАРЯДКИ

Цель и содержание работы

Целью работы является ознакомление с методом измерения емкости конденсаторов способом их периодической зарядки и разрядки

Работа состоит в измерении емкости отдельных конденсаторов и их соединений.

Краткая теория работы

Пара проводников называется конденсатором, если заряды на проводниках всегда одинаковы по абсолютной величине, но противоположны по знаку. Так как разность потенциалов между этими проводниками (обкладками) прямо пропорциональна величине заряда, находящегося на обкладках в данный момент, то отношение

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

не зависит ни от q , ни от $\Delta\varphi$. Оно зависит только от геометрии конденсатора и от диэлектрической проницаемости ε среды, заполняющей пространство между обкладками.

Физическая величина C называется емкостью конденсатора.

Простейшие измерения емкости с помощью переменного тока, произведенные на основании закона Ома стрелочными приборами, являются довольно грубыми. Более распространены измерения на переменном токе с применением мостовых (компенсационных) схем.

В прецизионных измерениях емкости на переменных токах используется резонансный метод.

В данной работе применен способ определения емкости методом перезарядки, относящийся к первому типу. Предположим, что исследуемый конденсатор емкости C разряжается через микроамперметр, сопротивление которого R . Получим закон изменения разрядного тока со временем для цепи, показанной на рис. 1.



Рис. 1. Эквивалентная схема разрядной цепи конденсатора.

Так как в цепи нет сторонних сил, то полное напряжение при обходе по цепи равно нулю. Но оно складывается, в любой момент времени из напряжения на конденсаторе $\frac{q(t)}{C}$ и напряжения на сопротивлении $I(t) \cdot R$. Поэтому

$$\frac{q(t)}{C} + I(t)R = 0$$

Дифференцируя это уравнение по времени и пользуясь определением силы тока $I = \frac{dq(t)}{dt}$ получаем уравнение для функции $I(t)$:

$$\frac{I}{C} + \frac{dI}{dt}R = 0$$

откуда

$$\frac{dI}{I} = -\frac{dt}{RC}.$$

Интегрируя, получаем

$$\ln I = -\frac{t}{RC} + const$$

и окончательно

$$I = I_0 e^{-\frac{t}{RC}}, \quad (2)$$

где постоянная интегрирования I_0 есть сила тока в момент начала разряда конденсатора $t = 0$. Величина $1/RC$ характеризует быстроту разряда конденсатора и называется *постоянной времени* для данной RC цепи.

Зависимость разрядного тока от времени представлена графически на рис. 2.

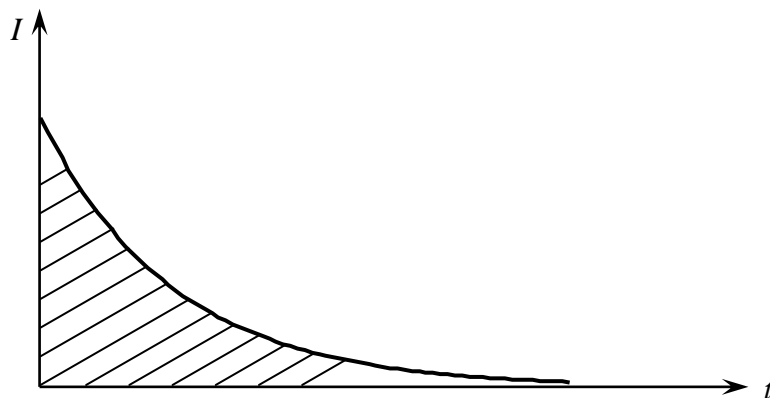


Рис. 2. Зависимость разрядного тока конденсатора от времени.

Полный заряд конденсатора Q до разряда был равен $Q = \int_0^{\infty} Idt$, что изобразится площадью под кривой разрядного тока. Стрелочный прибор (микроамперметр) дает возможность определить полный заряд конденсатора по среднему току при периодической его разрядке.

На рис. 3 приведена схема, позволяющая периодически заряжать и разряжать конденсатор.

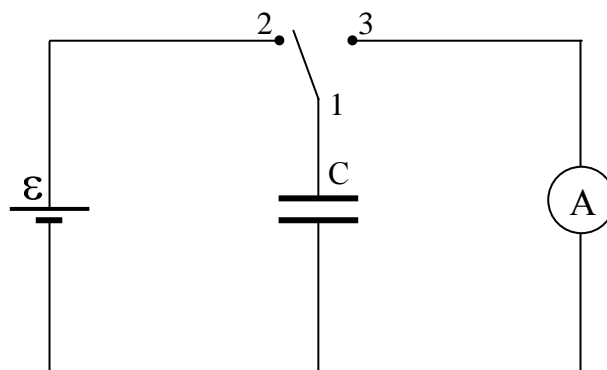


Рис. 3.

При замыкании контактов 1-2 конденсатор заряжается до $Q = C\varepsilon$, а при замыкании контактов 1-3 он полностью разряжается через микроамперметр. Подберем интервал времени τ между двумя последовательными разрядами конденсатора много меньше характерного времени установления стрелки микроамперметра. Для этого достаточно заряжать и разряжать конденсатор с частотой $\nu = \frac{1}{\tau} = 50$ Гц. Тогда, разумеется, стрелка прибора не будет успевать следить за функцией $I(t)$ (на рис. 4.) Микроамперметр будет давать некоторое постоянное отклонение, которое, как можно показать, соответствует средней силе тока

$$I_{\text{cp}} = \frac{Q}{\tau}, \quad (3)$$

то есть $Q = I_{\text{cp}}\tau$ (равно площади заштрихованного участка на рис. 4.)

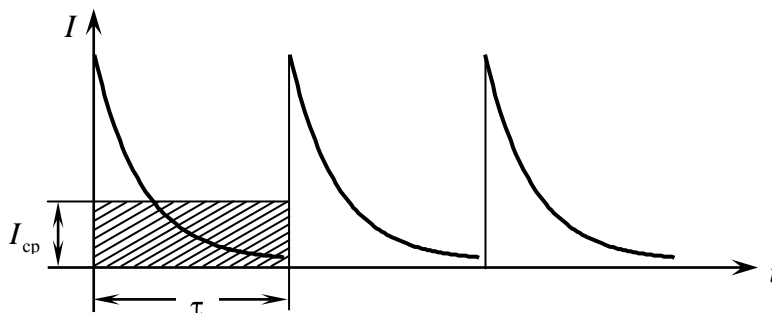


Рис. 4.

Из формул (1) и (3) получаем расчетную формулу для емкости конденсатора. Вводя для источника постоянного напряжения, заряжающего наш конденсатор, вместо \mathcal{E} , более употребительное в технике обозначение U , имеем

$$C = \frac{q(t)}{\Delta\varphi(t)} = \frac{Q}{U} = \frac{I_{\text{cp}}\tau}{U} = \frac{I_{\text{cp}}}{U\nu}. \quad (4)$$

Приборы и принадлежности для выполнения работы.

1. Универсальный источник питания.
2. Вольтметр.
3. Исследуемые конденсаторы.
4. Микроамперметр.
5. Автоматический переключатель.

В качестве автоматического переключателя в данной работе используется реле. Схема его показана на рис. 5.

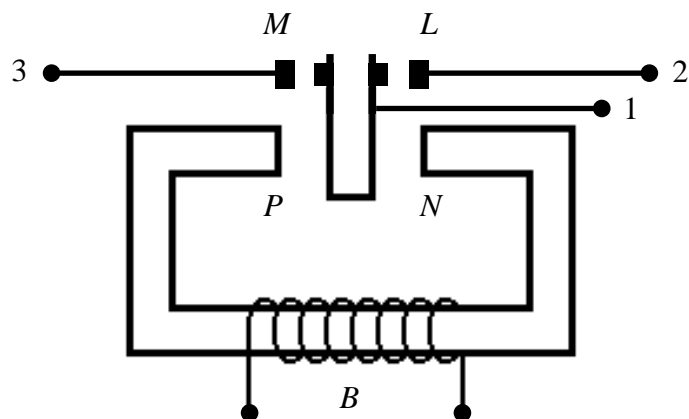


Рис. 5. Схема реле.

На подковообразном железном сердечнике сделана намагничивающая обмотка B , по которой пропускается переменный ток частоты 50 Гц. Между полюсами сердечника помещен намагниченный стержень – якорь. Если через обмотку B пропускается переменный ток, создающий переменное по величине и направлению магнитное поле, то в зависимости от направления тока в обмотке якорь притягивается к одному из полюсов P или N (плоская пружина, удерживающая якорь в среднем положении, при этом изгибается).

Таким образом, клемма 1 через якорь и контакты L и M поочередно соединяется с клеммами 2 и 3 по 50 раз в секунду. Внутреннее сопротивление источника постоянного напряжения, емкость конденсатора и сопротивление микроамперметра выбраны столь малыми, что конденсатор успевает зарядиться и полностью разрядиться за время, меньшее

времени, в течение которого контакты 1–2 и 1–3 замкнуты. Реле работает от переменного напряжения 24 В.

Постоянное напряжение для измерительной цепи, а также переменное напряжение для питания реле снимается с соответствующих клемм “Универсального источника питания”.

Величина постоянного напряжения изменяется с помощью регулятора, находящегося на передней панели источника.

Порядок выполнения работы

Монтажная схема измерительной цепи приведена на рис. 6.

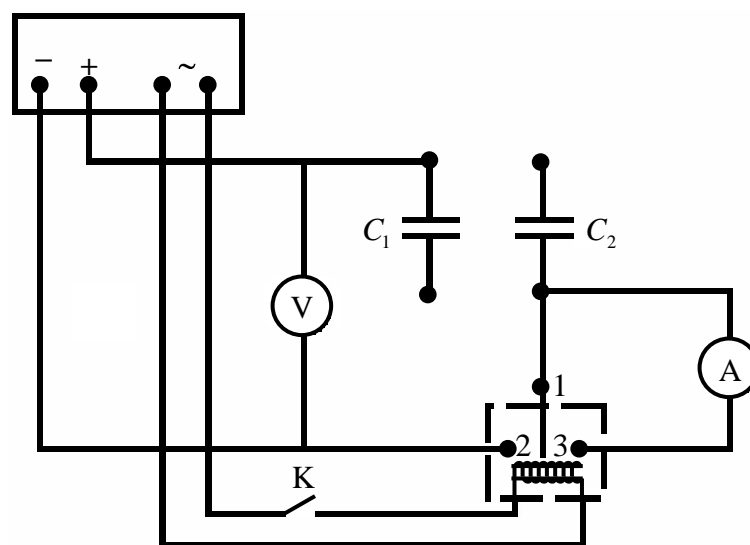


Рис. 6. Монтажная схема.

На панели к соответствующим клеммам присоединены конденсаторы C_1 и C_2 , емкости которых измеряются. Используя проводники, заканчивающиеся однополюсными штекерами, в цепь можно включать емкости C_1 и C_2 по отдельности либо соединенные параллельно или последовательно.

1. После разрешения преподавателя или лаборанта включить в сеть "Универсальный источник питания".
2. Поворотом регулятора постоянного напряжения установить первое значение напряжения. Записать его величину в таблицу.
3. Включить в цепь емкость C_1 .
4. Замкнуть ключ K в цепи питания реле. Определить по микроамперметру средний разрядный ток I_{cp} и записать его в таблицу.

Ключ K замыкать только на короткое время, необходимое для измерения тока.

5. Включить в цепь конденсатор C_2 и повторить измерение $I_{\text{ср}}$.
6. Повторить опыты для параллельного $C_{\text{=}}$ и последовательного $C_{\text{--}}$ соединений конденсаторов C_1 и C_2 . Все результаты записать в таблицу.
7. Повторить измерения (пункты 3 – 6) еще для двух значений напряжения.

Таблица

№ п/п	U , В	I_1 , мкА	I_2 , мкА	$I_{\text{=}}$, мкА	$I_{\text{--}}$, мкА	C_1 , мкФ	C_2 , мкФ	$C_{\text{=}}$, мкФ	$C_{\text{--}}$, мкФ
1									
2									
3									
Средние значения									

Обработка результатов измерений.

1. По формуле (6) вычислить емкости C_1 , C_2 , $C_{\text{=}}$ и $C_{\text{--}}$.
2. Определить их средние значения.
3. Для одного из трех напряжений вычислить погрешности измерений емкостей C_1 , C_2 , $C_{\text{=}}$ и $C_{\text{--}}$. Определите доверительные интервалы, используя методику оценки погрешностей косвенных измерений

Контрольные вопросы

1. Дайте определение емкости конденсатора. От каких величин зависит емкость конденсатора?
2. Выведите формулу для емкости плоского конденсатора.
3. Получите выражение для напряженности поля плоского конденсатора, пластины которого заряжены равномерно с поверхностной плотностью σ
4. Какое поле называется однородным? Каков закон изменения потенциала с расстоянием в однородном электрическом поле?
5. Изобразите поле плоского конденсатора с помощью силовых линий и эквипотенциальных поверхностей.

6. Изобразите принципиальную схему измерений, используемую в работе, и расскажите о методе измерений.
7. Получите формулы для емкости при параллельном и последовательном соединении двух конденсаторов.
8. Выведите закон изменения силы тока от времени при разрядке конденсатора через сопротивление.
9. Как изменяется разность потенциалов на обкладках конденсатора при разрядке его через сопротивление?
10. Получите расчетную формулу для емкости, используемую в данной работе.

Литература

1. *Савельев И.В.* Курс общей физики, т.2.
2. *Калашиников С.Г.* Электричество.