www.opprib.ru
e-mail: info@opprib.ru

010205. Изучение процесса заряда и разряда конденсатора

Цель работы:
1. Ознакомиться с процессом заряда и разряда конденсатора.
2. Экспериментально определить значение ёмкости конденсатора.

Требуемое оборудование:
Модульный учебный комплекс: МУК-ЭМ1* или МУК-ЭМ2.
Приборы:
1. Генератор напряжений ГН1 1 шт.
2. Стенд с объектами исследования С3-ЭМ01 1 шт.
3. Осциллограф ОЦЛ2 1 шт.
4. Комплект проводников 1 шт.

* Для обеспечения выполнения лабораторной работы требуется дополнительно осциллограф с полосой пропускания не менее 1 МГц

Краткое теоретическое введение

Если двум изолированным друг от друга проводникам сообщить заряды $q1$ и $q2$, то между ними возникает некоторая разность потенциалов $\Delta\varphi$, зависящая от величин зарядов, диэлектрической проницаемости среды и геометрии проводников. При переносе заряда величиной q от одного проводника к другому величина $\Delta\varphi$ будет изменяться прямо пропорционально. Это справедливо для проводников любой геометрической формы и, следовательно, можно ввести понятие взаимной электроемкости C как физической величины, численно равной заряду, который нужно перенести с одного проводника на другой для того, чтобы изменить на единицу разность потенциалов между ними:

$$C = \frac{q}{\Delta\varphi} \tag{1}$$

В системе СИ единица электроемкости называется фарад (Ф).

Существуют такие конфигурации проводников, при которых электрическое поле оказывается сосредоточенным (локализованным) лишь в некоторой области пространства и заряды проводников одинаковы по модулю и противоположны по знаку: $|q1| = |-q2| = q$. Такие системы называются конденсаторами, а проводники, составляющие конденсатор, называются обкладками. Емкость конденсатора является взаимной ёмкостью его обкладок. Конденсаторы служат накопителями электрической энергии.

Простейший конденсатор – система из двух плоских проводящих пластин, расположенных параллельно друг другу на малом по сравнению с размерами пластин расстоянии и разделенных слоем диэлектрика. Такой конденсатор называется плоским. Электрическое поле плоского конденсатора в основном локализовано между пластинами (рис. 1); однако, вблизи краев пластин и в окружающем пространстве также возникает сравнительно слабое электрическое поле, которое называют полем рассеяния. В целом ряде задач можно приближенно пренебрегать полем рассеяния и полагать, что электрическое поле плоского конденсатора целиком сосредоточено между его обкладками. Так, например, значение ёмкости плоского конденсатора, исходя из условия однородности электрического поля, можно вычислить как:

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

где ε_0 – электрическая постоянная;
ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды между обкладками;
S – площадь каждой обкладки;
d – расстояние между обкладками.

Таким образом, величина электроёмкости зависит от формы и размеров проводников и от свойств диэлектрика, разделяющего проводники.

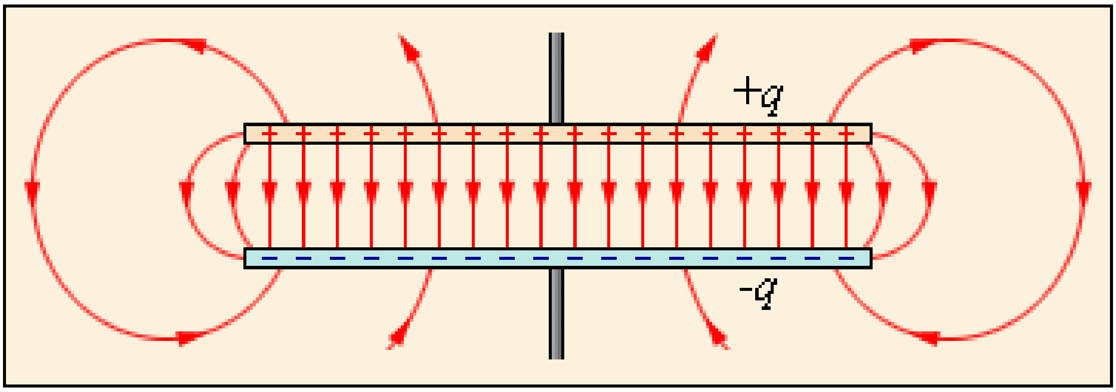

Рис. 1

Рассмотрим процессы заряда и разряда конденсатора. Если заряженный конденсатор замкнуть проводником, то по проводу потечет ток, и конденсатор будет разряжаться.

Пусть U – разность потенциалов между его обкладками, R – сопротивление цепи, через которую происходит разряд. Для мгновенных значений заряда q, силы тока I и напряжения U можно записать:

$$I = \frac{U}{R}, \qquad q = CU, \qquad I = -\frac{dq}{dt} \tag{2}$$

Знак «минус» взят потому, что заряд q на конденсаторе со временем убывает.

Полагаем, что мгновенное значение тока одно и то же во всех поперечных сечениях проводника, замыкающего конденсатор. Исключая силу тока I и напряжение U из уравнений (2), имеем

$$\frac{dq}{dt} + \frac{q}{RC} = 0, \quad \text{или} \quad \frac{dq}{q} = -\frac{1}{RC}dt.$$

Интегрируя это выражение, получаем

$$\ln q = -\frac{t}{RC} + B,$$

где B – постоянная интегрирования, которая определяется на начальных условий, т. е. при $t = 0$ заряд конденсатора q_0:

$$\ln q_0 = B.$$

Тогда имеем

$$\ln q - \ln q_0 = -\frac{t}{RC}, \quad \text{или} \quad q = q_0 e^{-\frac{t}{RC}}, \tag{3}$$

Из выражения (3) следует, что заряд на конденсаторе при его разряде изменяется по экспоненциальному закону. По такому же закону изменяется и напряжение на конденсаторе (рис. 2, кривая 1):

$$U = \frac{q}{C} = \frac{q_0}{C} e^{-\frac{t}{RC}} = U_0 e^{-\frac{t}{RC}}, \tag{4}$$

где U_0 – напряжение в начальный момент времени. Из выражения (3) следует, если $\frac{q_0}{q} = e \approx 2{,}7$, то

$$t = \tau = RC. \tag{5}$$

Величина τ имеет размерность времени и называется временем релаксации, т.е. это время за которое заряд конденсатора (напряжение на обкладках) изменится в e раз. Вообще релаксацией называется любой самопроизвольный процесс перехода системы в устойчивое равновесное состояние. В данном случае это процесс разряда конденсатора.

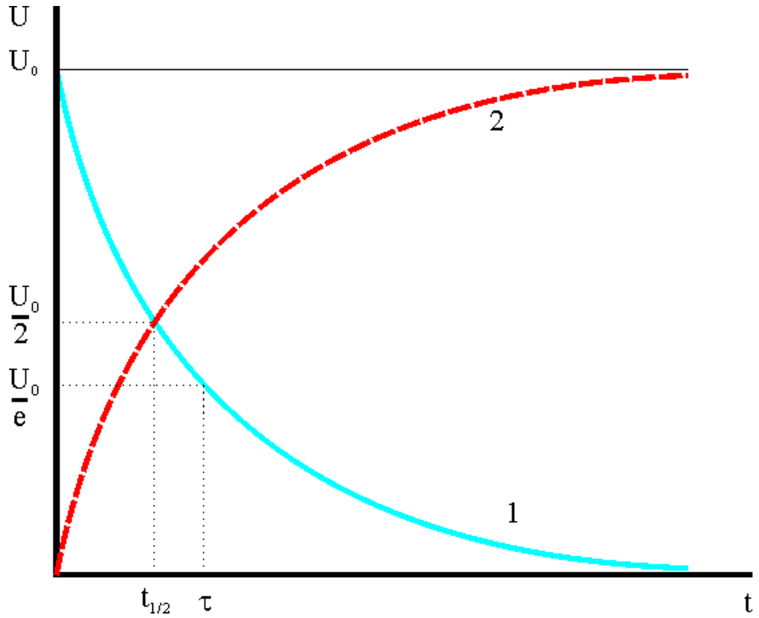

Рис. 2

Для определения времени релаксации можно измерить время $t_{1/2}$, за которое заряд (напряжение) (см. выражения (2), (3)) уменьшается до половины первоначальной величины:

$$\frac{1}{2} q_0 = q_0 e^{\frac{t_{1/2}}{\tau}},$$

Решая последнее выражение относительно $t_{1/2}$, имеем

$$t_{1/2} = \tau \ \ln 2 = \tau \cdot 0{,}693. \tag{6}$$

Закон изменения напряжения на конденсаторе при его заряде (без вывода,) выглядит как

$$U = U_0\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) \tag{7}$$

и на рис. 1 представлен кривой 2.

Методика проведения экспериментов

Полученные теоретические зависимости напряжения на конденсаторе при его разряде или заряде могут быть проверены экспериментально. Для этого следует измерить значения напряжения в разные моменты времени и результаты измерений изобразить в виде точек на координатной плоскости ***XOY,*** где $X=t$, $Y=\ln\frac{U_0}{U}$ (операция линеаризации функции). Если экспериментальные точки в пределах точности измерений ложатся на прямую (рис. 3), то это подтверждает зависимости (4) и (7).

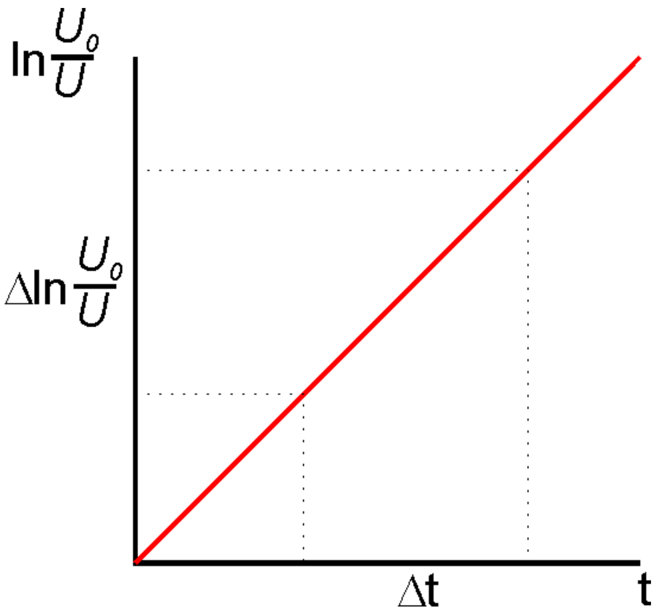

Рис. 3

Для расчета ёмкости конденсатора можно воспользоваться полученным графиком. Для этого необходимо на линейном участке выбрать приращение Δt и найти соответствующее ему приращение $\ln\frac{U_0}{U}$, а затем воспользоваться формулой (8).

$$C = \frac{\Delta t}{R\Delta\ln\frac{U_0}{U}} \tag{8}$$

Для наблюдения процессов зарядки и разрядки конденсатора на осциллографе необходимо периодически подключать и отключать конденсатор от источника. Для этого можно использовать генератор прямоугольных импульсов. Период следования импульсов выбирается исходя из условия $T_{имп} \approx$ 4-6 τ.

Для исследования процессов зарядки и разрядки конденсатора используется модульный учебный комплекс МУК-ЭМ1(2).

Электрическая схема представлена на рис. 4. В качестве источника прямоугольного напряжения используется генератор ГН1. В качестве измерительного прибора используется осциллограф ОЦЛ2. Постоянный резистор и исследуемый конденсатор располагаются в стенде с объектами исследования С3-ЭМ01.

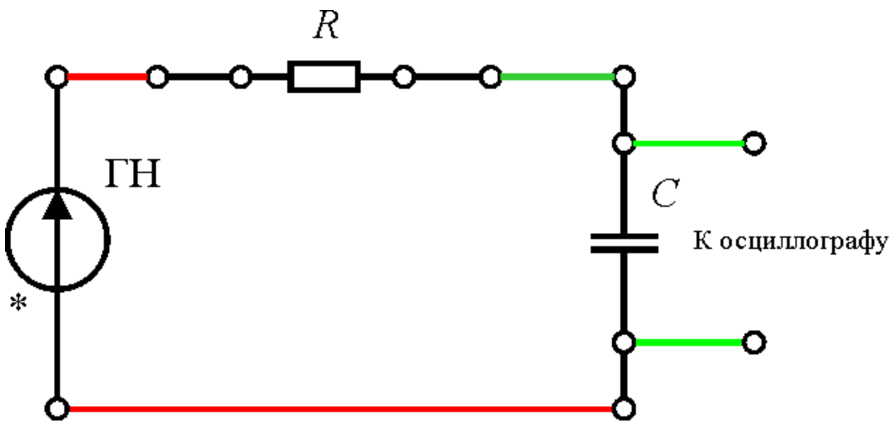

Рис. 4

Рекомендуемое задание к работе

1. Соберите электрическую схему рис. 4. На экране осциллографа получите изображение сигнала заряда и разряда конденсатора.
2. Перерисуйте осциллограмму. Сравните процессы разряда и заряда конденсатора. По осциллограмме измерьте значение U_0. На участке разряда конденсатора для 5-6 отсчетов времени найдите значения $\ln\frac{U_0}{U}$.
3. По полученным результатам постройте график зависимости $\ln\frac{U_0}{U}$ от t. Убедитесь, что в пределах точности измерений, экспериментальные точки ложатся на прямую.
4. Оцените ёмкость конденсатора по формуле (8).
5. Проведите аналогичную процедуру измерений и расчётов, изменив сопротивление цепи R. Сопоставьте полученные Вами значения ёмкости C.

сентябрь 2010