

Конденсатор в цепи переменного тока

Некрасов Александр Григорьевич, кандидат хим. наук

учитель физики ГБОУ СОШ №447 г. Санкт-Петербург .

Цели урока: На основе виртуального эксперимента изучить закономерности протекания переменного тока через конденсатор (емкость).

Задачи урока:

Образовательная: Данный урок посвящен изучению основных свойств электрических цепей переменного тока на примере конденсатора.

Развивающая: Развивать внимание, умение творчески и логически анализировать экспериментальные данные, собирать электрические цепи на моделях, измерять электрические величины. Повышать интерес к физике путем выполнения лабораторной работы, расчета требуемых величин.

Воспитательная: Развивать самостоятельность, аккуратность и внимание при проведении компьютерного эксперимента, чувство ответственности за полученные результаты. Воспитание мировоззренческих понятий: познаваемость окружающего мира, явлений.

Форма урока: виртуальная лабораторная работа.

Теоретическое обоснование

Все электрические цепи образуются путем соединения пассивных и активных элементов. Пассивными элементами электрической цепи называются элементы, в которых электромагнитная энергия преобразуется в другие виды энергии, поглощается или накапливается в виде энергии электрического или магнитного полей. К активным элементам электрической цепи относятся сопротивления (резисторы) R , конденсаторы C , индуктивности L и т.д. Значения R, C, L входят в формулы (q – электрический заряд)

$$U = IR; \Phi = LI, q = CU;$$

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{dU}{dt}; u_L = L \frac{di}{dt}.$$

Если R, L и C не зависит от тока и напряжения, то эти элементы называются «линейными», а цепи, составленные из этих элементов, называются линейными электрическими цепями (кроме катушек с сердечниками). Электромагнитные процессы в электрических цепях описываются с помощью величин: $I, i; U, u; E, e$. Здесь обозначения I, U, E введены для случая постоянного тока. Малой буквой i, u, e обозначают мгновенные значения переменных электрических величин.

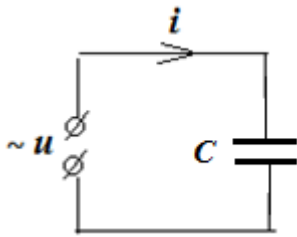
Амплитудные значения будем обозначать большой буквой с нижним индексом « m » (I_m, U_m, E_m).

Изучаемые явления, протекающие в электрических цепях, будем считать квазистационарными, т.е. во всех ее последовательно соединенных участках сила тока в один и тот же момент времени одинакова. Также будем изучать синусоидальный переменный ток одинаковой частоты:

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi),$$

Где $\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}$, φ – начальная фаза при $t = 0$.

Часто для анализа цепей переменного тока применяют векторные диаграммы: совокупность векторов, изображающих токи и напряжения в какой либо цепи синусоидального тока, построенных в определенном масштабе с соблюдением их взаимной ориентации по фазе (величина, стоящая под знаком синуса или косинуса).

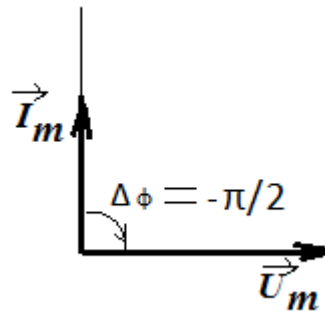
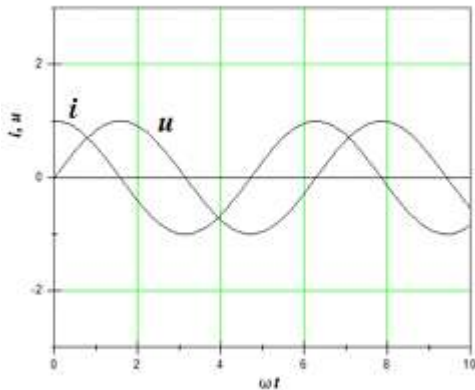


Рассмотрим электрическую цепь, состоящую из источника синусоидального (переменного) тока и емкости C . Приложим переменное напряжение $u = U_m \sin(\omega t + \varphi)$. В цепи пойдет ток $i = \frac{u}{R} = \frac{U_m}{R} \sin(\omega t + \varphi) = I_m \sin(\omega t + \varphi)$, будем для простоты считать $\varphi = 0$. Переменный ток равен

$$i = \frac{dq}{dt} = C \frac{du}{dt} = CU_m \omega \cos \omega t = I_m \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right),$$

где $I_m = \omega C U_m$. Видим, что ток в цепи имеет синусоидальный характер и опережает напряжение по фазе на $\pi/2$. При этом если $i = 0$ u принимает максимальное значение. Фазовый сдвиг равен

$$\Delta\varphi = \varphi_u - \varphi_i = 0 - \frac{\pi}{2} = -\frac{\pi}{2}.$$



можно проиллюстрировать графически (см. рисунок).

Так как $I_m = U_m \omega C = U_m / \frac{1}{\omega C}$ и $I_d = U_d / \frac{1}{\omega C}$, то величина $\frac{1}{\omega C} = X_C$ имеет размерность сопротивления и называется емкостным (реактивным) сопротивлением. С ростом

частоты оно уменьшается по гиперболическому закону. Мгновенная энергия $w_C = \frac{Cu^2}{2} =$

$$\frac{CU_m^2}{2} \sin^2 \omega t = \frac{CU_m^2}{2} (1 - \cos 2\omega t) = \frac{CU_d^2}{2} (1 - \cos 2\omega t),$$

изменяется с частотой 2ω в пределах от 0 до CU_m^2 , и мгновенная мощность $P_C = \frac{dw_C}{dt}$ также изменяется с частотой 2ω и амплитудой $I_d U_d$.

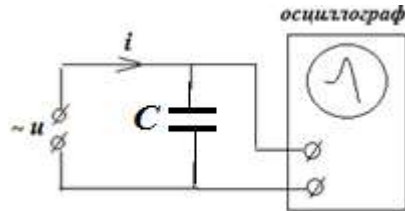
Энергия w_C , поступающая от источника, временно запасается в электрическом поле конденсатора, а затем возвращается в источник. Происходит колебание энергии между источником и конденсатором, при этом активная мощность $P = 0$.

Отметим, что невозможно записать закон Ома для цепей переменного тока, определяющей мгновенное значение тока $i(t)$ в виде отношения приложенного напряжения к сопротивлению соответствующего участка цепи, вследствие того, что между приложенным синусоидальным напряжением и силой тока есть сдвиг по фазе, что характерно для цепи, содержащей емкость. Закон Ома справедлив только для амплитудных значений синусоидальных токов и напряжений. Подчеркнем, что введенное выше понятие реактивного емкостного сопротивления имеет смысл только для синусоидального приложенного напряжения. Это следует, хотя бы из того, что его определение содержат циклическую частоту ω приложенного напряжения. Ясно, что эти понятия неприменимы в случае, когда конденсатор подключен к источнику постоянного напряжения или напряжения, изменяющегося со временем по какому-либо иному (несинусоидальному) закону.

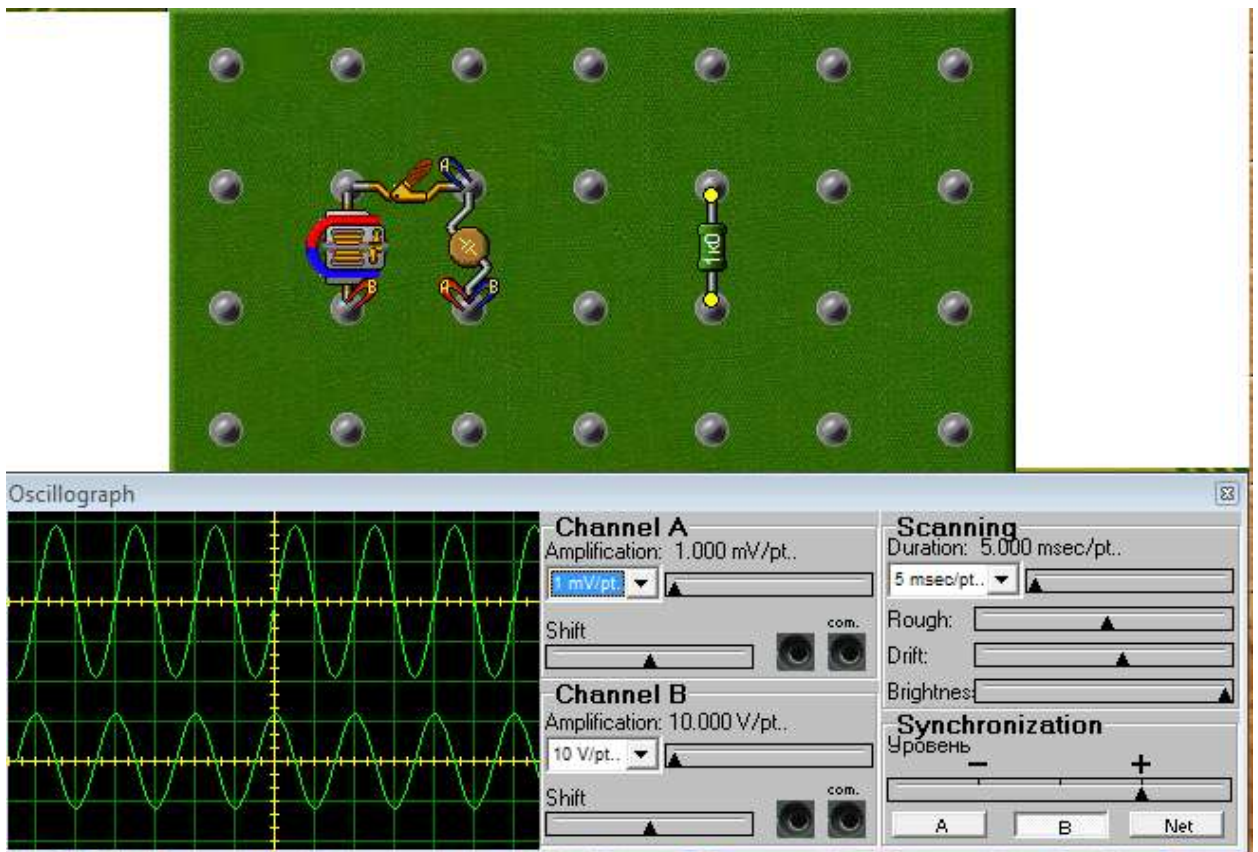
ВИРТУАЛЬНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ



Для проведения виртуального эксперимента будем использовать ЭОР «Начала электроники». На рисунке представлен интерфейс монтажного стола, на котором можно собирать электрические цепи. Соберем цепь, схема которой имеет вид:



Используя «ящички» 1 с элементами цепи, на монтажном столе соответствующую этой схеме цепь переменного тока. С помощью кнопки 2 можно задавать параметры любому элементу цепи. В нашем случае это конденсатор и источник переменного напряжения. Для замыкания и размыкания цепи используется ключ. Кликнув по кнопке 3, вызываем осциллограф. После сборки схемы может произойти непредвиденное: при большом напряжении и малой емкости конденсатора, последний перегорит, и его надо заменить другим. После сборки цепи монтажный стол будет выглядеть:



На экране осциллографа для канала В дается график тока, а для канала А график напряжения. Нетрудно видеть, что эти два графика сдвинуты по фазе на 90^0 , т.е. при

включении в цепь переменного тока емкости ток i опережает по фазе напряжение u на угол 90° . Или, что, то же самое, напряжение u отстает по фазе от тока i на угол 90° .

Заметим, что в реальных конденсаторах имеют место потери мощности, вследствие чего они потребляют энергию от источника. В конденсаторах диэлектрик нагревается под действием токов смещения, причем, чем больше напряжение и частота, тем больше потеря энергии на нагревание. Это характерно для устройств, в которых применяются высокочастотные колебания. Для обычной сети 50 Гц потери в конденсаторах ничтожно малы, что их обычно не учитывают.

Вопросы

1. Как связаны между собой сила тока и приложенное напряжение в цепи, содержащей только емкость C ? Можно ли этой связи придавать вид закона Ома? Применимы ли соответствующие соотношения при несинусоидальном приложенном напряжении?
2. Объясните физическую причину возникновения сдвига по фазе между приложенным синусоидальным напряжением и силой тока в цепи, содержащей емкость.
3. Что такое реактивное сопротивление? В каких случаях имеет смысл понятия емкостного сопротивления?

Литература

1. [http:// www.softportal.com/software-12305-nachala-elektroniki.html](http://www.softportal.com/software-12305-nachala-elektroniki.html)
2. Первая ПОмощь 2.0. ЭОР нового поколения. DVD диск.
3. Бутиков И. Е., Кондратьев А. С. Физика. Электродинамика. Оптика. – М.: ФИЗМАТЛИТ. 2004. - 336 с.
4. Касьянов В. А. Физика. 11 кл.: - М.: Дрофа, 2003. – 416 с.

