

## Лабораторная работа № 6.

### КОНДЕНСАТОР И РЕЗИСТОР В ЦЕПИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

**Цель работы:** Исследовать схему с последовательным соединением конденсатора и резистора, построить векторную диаграмму токов и напряжений, треугольники сопротивлений и мощностей

#### Краткие сведения из теории

Переменные токи и напряжения изменяются по синусоидальному закону

$$i = I_m \sin(\omega t + \psi_i); \quad u = U_m \sin(\omega t + \psi_u),$$

где  $I_m, U_m$  – амплитудные значения;

$\omega$  – угловая частота,  $\omega = 2\pi f$ ;  $f$  – частота;

$\psi_i, \psi_u$  – значения начальной фазы.

Синусоидальные функции (рисунок 1,а) удобно представлять как проекции вращающихся векторов (рисунок 1,б) на вертикальную ось.

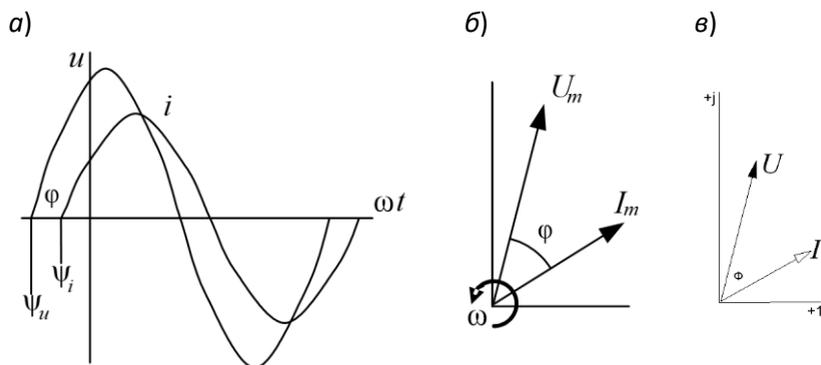


Рисунок 1 – Изображение переменных токов и напряжений синусоидами (а), проекциями вращающихся векторов (б) и векторами на комплексной плоскости (в)

Здесь  $\varphi$  – угол сдвига фаз между током и напряжением.

В расчётах и на векторных диаграммах используют действующие значения переменного тока и напряжения, которые меньше амплитудных в  $\sqrt{2}$  раз

$$I = I_m / \sqrt{2}; \quad U = U_m / \sqrt{2}.$$

На векторной диаграмме (рисунок 1,в) на комплексной плоскости токи и напряжения показывают в виде векторов, длина которых, в соответствующем масштабе, равна действительному значению, а направление соответствует начальной фазе.

Напряжение на конденсаторе пропорционально интегралу от протекающего через него тока

$$u_C = \frac{1}{C} \int idt = \frac{1}{C} \int I_m \sin \omega t = \frac{I_m}{\omega C} \sin(\omega t - 90^\circ),$$

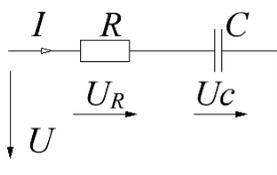
где  $C$  – ёмкость.

Напряжение на идеальном конденсаторе отстаёт от тока по фазе на  $90^\circ$  (электрических). Соответственно ток через конденсатор опережает на  $90^\circ$  приложенное напряжение. Значения напряжения и силы тока в конденсаторе связаны через ёмкостное сопротивление

$$U_C = x_C I, \text{ где } x_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}, \text{ в комплексном виде } \bar{U} = -j X_C \bar{I}.$$

Конденсатор не потребляет энергию. Заряжаясь, он её запасает, а разряжаясь – отдаёт, поэтому он называется реактивным элементом. Ёмкостное сопротивление является реактивным. Также реактивная мощность обмена энергией между конденсатором и питающей цепью

$$Q_C = x_C I^2 = \frac{U^2}{x_C} = \omega C U^2 = 2\pi f C U^2, \text{ в комплексном виде } -jQ_C = -j\omega C U^2.$$



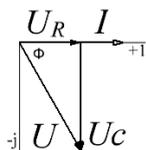
При последовательном соединении конденсатора и резистора их сопротивления складываются, но эта сумма не арифметическая и не алгебраическая, а геометрическая.

$$\text{Полное сопротивление } Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}.$$

$$\text{В комплексном виде } \underline{Z} = R - jX_C.$$

По элементам течёт один и тот же ток  $I$ , который считаем

действительным и направляем по горизонтальной оси.

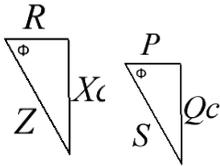


Напряжение на резисторе  $U_R = I \cdot R$ , совпадает по фазе с током. Напряжение на конденсаторе  $U_C = I \cdot X_C$ , отстаёт

по фазе от тока на  $90^\circ$ , в комплексном виде  $\bar{U}_C = -j \bar{I} X_C$ ,

его откладываем вертикально вниз. Суммарное

напряжение  $\bar{U} = \bar{U}_R + \bar{U}_C$  отстаёт по фазе от тока  $\bar{I}$  на угол  $\phi$ .



Подобными будут треугольники сопротивлений со сторонами  $R$ ,  $X_C$  и  $Z$ , а также треугольники мощностей со сторонами  $P$ ,  $Q_C$  и  $S$ . Полная мощность  $S = \sqrt{P^2 + Q_C^2}$ , в комплексном

виде  $\underline{S} = \underline{U} \cdot \underline{I}^* = P - jQ_C$ . Здесь  $\underline{I}^*$  - комплексно-сопряжённый вектор тока. Коэффициент мощности  $\cos\phi = P / S$  показывает, какая часть энергии, циркулирующей между источником и нагрузкой, потребляется. Конденсатор не потребляет энергию, а запасает и отдаёт; он обменивается энергией с питающей сетью, поэтому его сопротивление и мощность – реактивные ёмкостные. При расчётах в комплексном виде они умножаются на  $-j$ , где  $j$  – мнимая единица.

**Следует помнить, что при увеличении ёмкости конденсатора, а также частоты тока, сопротивление конденсатора уменьшается (обратно-пропорционально ёмкости и частоте)**

### Порядок выполнения работы

1 Двойным щелчком по иконке  открыть программу **Multisim**. Из группы элементов  [Источники] (в левом верхнем углу, щёлкнуть два раза левой клавишей мыши, откроется окно [Выбор компонента]) из базы данных [POWER\_SOURCES] в рабочую зону перенести источник переменного тока [AC\_POWER] и заземление [GROUND]. Из группы Basic (правее) перенести резистор RESISTOR и конденсатор переменной ёмкости VARIABLE\_CAPACITOR (повернуть).

С панели [Измерительные приборы] (вертикальная полоса справа) в рабочую зону перенести два мультиметра, ваттметр, осциллограф и датчик тока (внизу панели).

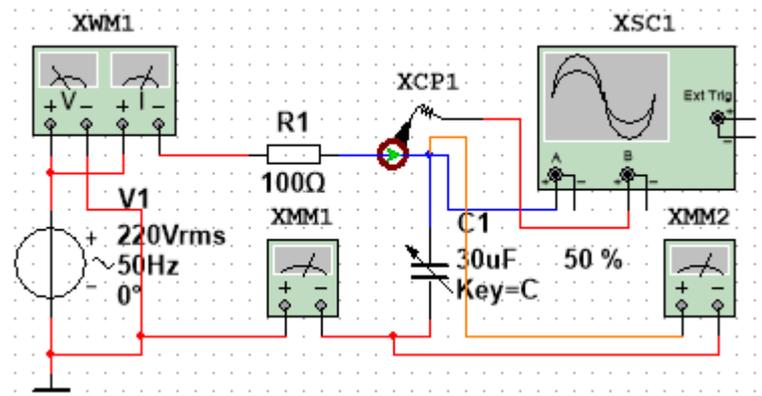


Рисунок 2 – Схема последовательного соединения конденсатора и резистора

2 Собрать схему. Датчик тока устанавливается на провод. Установить напряжение источника 220 В, 50 Гц; сопротивление резистора 100 Ом, ёмкость конденсатора 30 мкФ (**μF**, вместо греческой буквы μ используется английская u), управляющую клавишу **Key=C**. Раскрыть приборы двойным щелчком, расположить их как показано на рисунке 3. Сделать мультиметр XMM1 амперметром переменного тока, а XMM2 – вольтметром переменного тока. На осциллографе установить развёртку **5 мс/дел**, чувствительность канала А – **100 В/дел**, канала В – **1кВ/дел**, синхронизацию однократную – **Одн.**

Сделать провод идущий к входу А осциллографа синим – выделить правой кнопкой и установить цвет – осциллограмма напряжения будет синей.

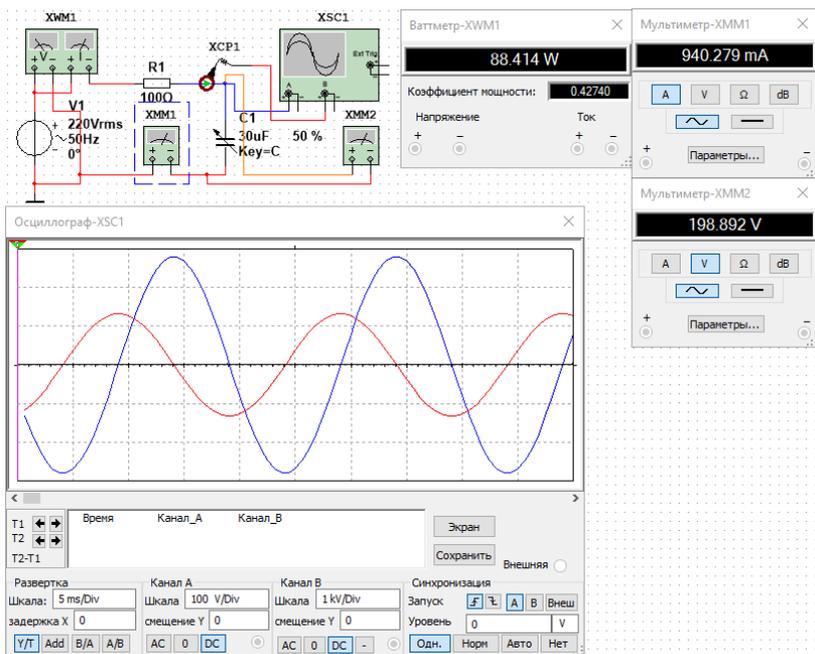


Рисунок 3 -- Пример расположения панелей измерительных приборов

3 Запустить моделирование ►, на приборах появятся показания, на осциллографе – синусоиды. Увидеть что ток (красный) опережает по фазе напряжение (синее). Показания приборов занести в таблицу 1.

4 Рассчитать емкостное сопротивление  $X_C = U_C / I$ ; напряжение на резисторе  $U_R = I \cdot R$ ; полную мощность цепи  $S = U \cdot I$ , ВА (вольт-ампер); реактивную мощность конденсатора  $Q = U_C \cdot I$ , вар (вольт-ампер реактивный); занести в таблицу 1. Рассчитать коэффициент мощности  $\cos\varphi = P / S$  (сравнить с измеренным значением из таблицы 1).

Таблица 1 – Исследование соединения конденсатора и резистора

$C, \%$	$C, \text{мкФ}$	$P, \text{Вт}$	$\cos\varphi$	$I, \text{А}$	$U_C, \text{В}$	$X_C, \text{Ом}$	$U_R, \text{В}$	$S, \text{ВА}$	$Q, \text{вар}$
30 %									
50 %									
100 %									

5 Повторить измерения и расчёты для  $C$  30 % и  $C$  100 %, уменьшая ёмкость клавишами Shift + C, увеличивая – C, язык EN. При изменении ёмкости использовать остановку  и повторный запуск .

6 Заметить, что при уменьшении ёмкости сопротивление конденсатора переменному току увеличивается, а при увеличении – уменьшается.

7 Построить векторную диаграмму токов и напряжений для опыта  $C$  50% (указать масштабы А/см, В/см. Построить треугольник сопротивлений (указать масштаб Ом/см). Построить треугольник мощностей (указать масштаб Вт/см). Убедиться что они подобны треугольнику напряжений.

### Содержание отчета

1 Наименование и цель работы.

2 Схема исследования – ваттметр кружочком, мультиметры кружочками.

3 Таблица 1 результатов измерений и вычислений.

4 Расчёт сопротивления  $X_C = U_C / I$ ; напряжения на резисторе  $U_R = I \cdot R$ ; полной мощности цепи  $S = U \cdot I$ , ВА (вольт-ампер); реактивной мощности конденсатора  $Q = U_C \cdot I$ , вар (вольт-ампер реактивный) для опыта с  $C$  50%.

5 Векторная диаграмма токов и напряжений, треугольник сопротивлений и треугольник мощностей для опыта с  $C$  50%.

6 Заключение по работе.

### Контрольные вопросы

1 От чего и как зависит сопротивление конденсатора?

2 Почему сопротивление конденсатора называется реактивным?

3 Как сложить сопротивление резистора и конденсатора при последовательном соединении?

4 Как использовать при этом комплексные числа?

5 Как строятся треугольники сопротивлений?

6 Как сложить напряжения на резисторе и конденсаторе?

- 7 Как строится векторная диаграмма токов и напряжений?
- 8 Как складывается активная и реактивная мощности?
- 9 Как использовать при этом комплексные числа?
- 10 Как строятся треугольники мощностей?
- 11 Что показывает коэффициент мощности  $\cos\varphi$ ? Как его определить?