

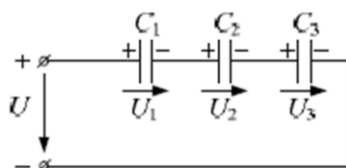
Лабораторная работа №5

Исследование электрической цепи с последовательным, параллельным и смешанным соединением конденсаторов.

Цель работы – с помощью программы **MULTISIM** исследовать распределение напряжений между последовательно соединёнными конденсаторами, а также рассчитать эквивалентную ёмкость, распределение зарядов, количество запасённой энергии и проверить баланс энергии.

Краткие сведения из теории

На рисунке изображены три конденсатора, соединённые последовательно



Две крайние обкладки последовательной цепочки конденсаторов присоединены к зажимам источника постоянного напряжения, другие обкладки с источником непосредственно не соединяются и заряжаются вследствие электростатической индукции. Поэтому заряд всех конденсаторов и каждого в отдельности один и тот же:

$$q = q_1 = q_2 = q_3. \quad (2.8)$$

Для упрощения схемы электрической цепи группу конденсаторов можно заменить одним с эквивалентной ёмкостью C_s .

Напряжение на группе последовательно соединённых конденсаторов равно сумме напряжений на каждом конденсаторе:

$$U = U_1 + U_2 + U_3.$$

С учетом уравнений (2.1) и (2.8) получим

$$\frac{q}{C_s} = \frac{q}{C_1} = \frac{q}{C_2} = \frac{q}{C_3}.$$

Сокращая последнее выражение на q , находим

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}. \quad (2.9)$$

Для определения C_s нужно найти величину, обратную найденной по уравнению (2.9). В частном случае при последовательном соединении двух конденсаторов с ёмкостями C_1 и C_2 находим

$$\frac{1}{C_3} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} = \frac{C_2 + C_1}{C_1 C_2}. \quad (2.10)$$

Находим значение C_3 , как обратное выражению (2.10):

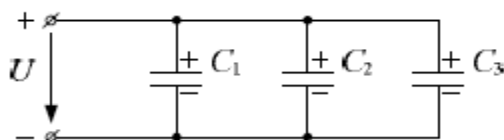
$$C_3 = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}.$$

Если в последовательную цепь соединяется n конденсаторов одинаковой емкости C_n , то эквивалентная емкость

$$C_3 = \frac{C_n}{n}.$$

Как видим, последовательное соединение конденсаторов уменьшает эквивалентную емкость. Она будет меньше емкости любого из последовательно соединенных конденсаторов.

При параллельном соединении конденсаторов



все конденсаторы находятся под одним и тем же напряжением U , а заряды получаются разными:

$$q_1 = C_1 U; \quad q_2 = C_2 U; \quad q_3 = C_3 U. \quad (2.11)$$

Каждый конденсатор получает заряд независимо от другого, поэтому общий заряд равен сумме зарядов конденсаторов:

$$q = q_1 + q_2 + q_3. \quad (2.12)$$

Подставляя в уравнение (2.12) выражения зарядов из уравнений (2.11) и сокращая на U , получаем

$$C_3 = C_1 + C_2 + C_3.$$

Эквивалентная емкость равна сумме емкостей. При параллельном соединении n конденсаторов одинаковой емкости C_n эквивалентная емкость

$$C_3 = n \cdot C_n.$$

Как видим, параллельное соединение конденсаторов увеличивает эквивалентную емкость батареи этих конденсаторов.

Смешанное соединение конденсаторов применяют тогда, когда необходимо увеличить емкость батареи и уменьшить напряжение до допустимого рабочего на каждом конденсаторе.

Заряд конденсатора равен произведению ёмкости на напряжение

$$q = C \cdot U, \text{ Кл (кулон)}, \quad (1)$$

где C – ёмкость в фарадах (Ф). $1 \text{ мкФ} = 10^{-6} \text{ Ф}$; $1 \text{ нФ} = 10^{-9} \text{ Ф}$; $1 \text{ пФ} = 10^{-12} \text{ Ф}$.

Энергия электрического поля, запасённая конденсатором

$$W = 0,5 \cdot C \cdot U^2 \text{ Дж (джоуль)}. \quad (2)$$

Энергия, запасённая группой конденсаторов равна энергии, запасённой эквивалентным конденсатором.

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**], ОК. Из группы **Basic** (правее) перенести 3 конденсатора **Capacitor** (повернуть через правую клавишу). Из группы  [**Индикаторы**] выбрать два вертикальных вольтметра [**VOLTMETER_V**].

2 Назвать источник U , установить 220 В, 50 Гц (через двойной щелчок). Назвать конденсаторы и установить их ёмкости 1 мкФ, 2 мкФ и 3 мкФ (uF, вместо греческой буквы μ используется английская u). Назвать вольтметры U_1 и U_{23} и установить для них переменный ток AC.

3 Собрать схему измерения напряжения на конденсаторах рисунок 1.

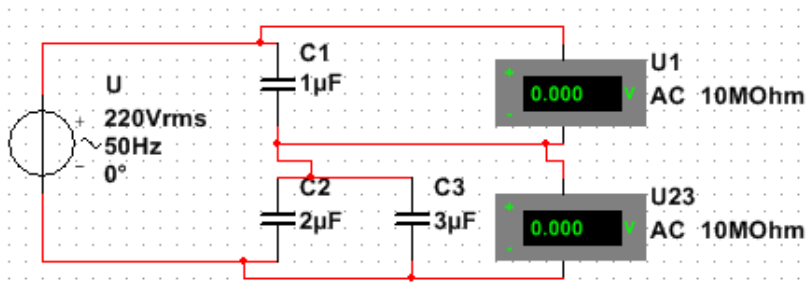


Рисунок 1 – Схема измерения напряжения на конденсаторах

4 Нажать на запуск моделирования , на вольтметрах появятся напряжения, занести их в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты измерений и вычислений

U , В	U_1 , В	U_{23} , В	q_1 , Кл	q_2 , Кл	q_3 , Кл	W_1 , Дж	W_2 , Дж	W_3 , Дж	C_3 , мкФ	q_3 , Кл	W_3 , Дж

5 Рассчитать по формуле (1) заряд и по формуле (2) энергию, запасённую каждым конденсатором. Занести в таблицу 1.

6 Рассчитать ёмкость параллельно включённых конденсаторов $C_{23} = C_2 + C_3$. Рассчитать эквивалентную ёмкость последовательно включённых конденсаторов C_1 и C_{23} и занести в таблицу 1.

$$C_3 = C_1 \cdot C_{23} / (C_1 + C_{23}). \quad (3)$$

7 Рассчитать по формуле (1) заряд q_3 эквивалентного конденсатора C_3 , занести в таблицу 1, убедиться, что он равен заряду последовательно включённого конденсатора C_1 а также сумме зарядов параллельно включённых конденсаторов C_2 и C_3

$$q_3 = q_1 = q_2 + q_3. \quad (4)$$

8 Рассчитать по формуле (2) энергию W_3 , запасённую эквивалентным конденсатором C_3 , занести в таблицу 2, убедиться, что она равна сумме энергий всех конденсаторов

$$W_3 = W_1 + W_2 + W_3. \quad (5)$$

9 Открыть новый файл. 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 конденсатор переменной ёмкости **VARIABLE_CAPACITOR** (повернуть). Из группы  перенести амперметр. С панели **[Измерительные приборы]** (вертикальная полоса справа) в осциллограф и датчик тока (внизу панели).

10 Собрать схему. Датчик тока устанавливается на провод. Установить напряжение источника 220 В, 50 Гц; сопротивление резистора 100 Ом, ёмкость конденсатора 30 мкФ (**uF**, вместо греческой буквы μ используется английская **u**), управляющую клавишу **Key=C**. Раскрыть осциллограф двойным щелчком, расположить их как показано на рисунке 2. На осциллографе установить развёртку **5 мс/дел**, канал А – **200 В/дел**, канал В – **1кВ/дел**, синхронизацию однократную – **Одн**.

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

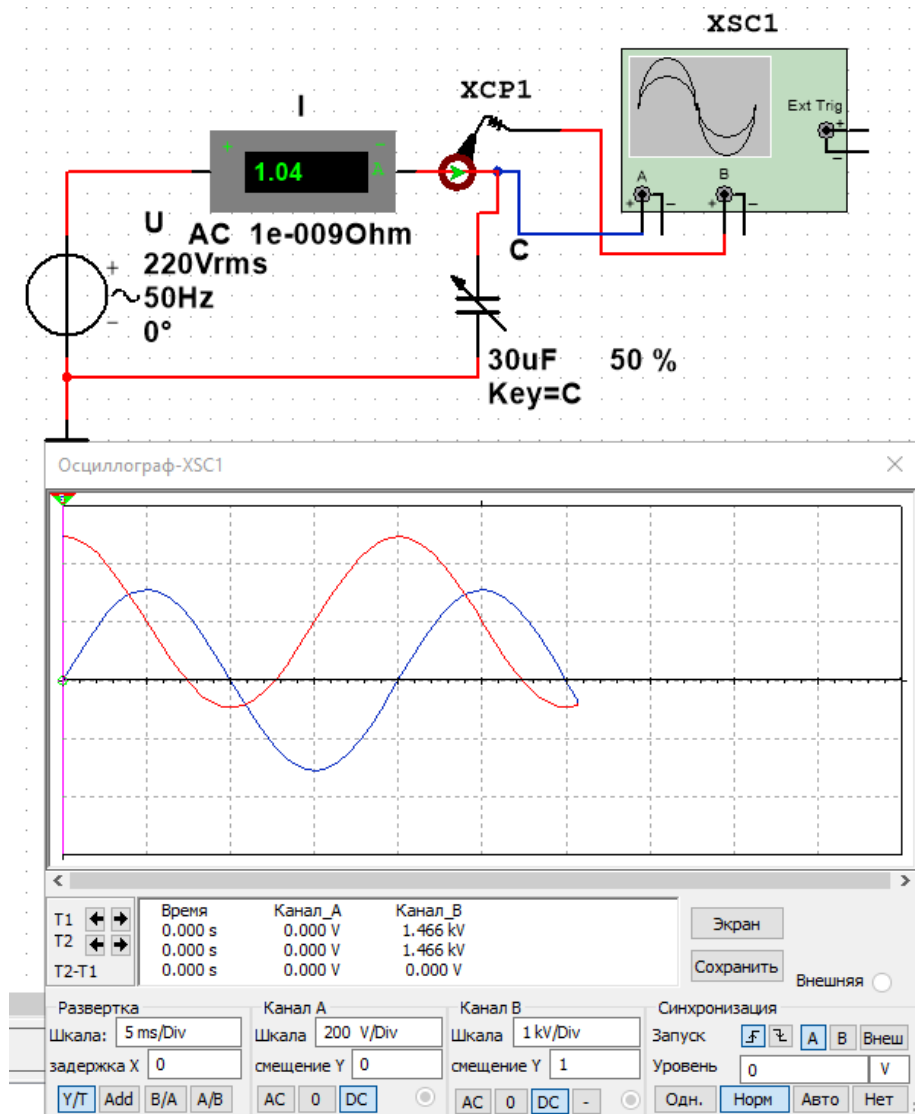


Рисунок 2 – Схема исследования конденсатора переменной ёмкости

14 Нажать на запуск моделирования ►, на приборах появятся показания, на осциллографе – синусоиды. Увидеть что напряжение

(синее) Отстаёт по фазе от тока (красного) на 90° (электрических). Показания приборов занести в таблицу 2.

Таблица 2 – Исследование конденсатора переменной ёмкости

Ёмкость, %	Ёмкость, мкФ	Напряжение, В	Сила тока, А	Сопротивление, Ом
30 %				
50 %				
100 %				

Рассчитать сопротивление $X_C = U / I$. Повторить для C 30 % и C 100 %, уменьшая ёмкость клавишами *Shift* + *C*, увеличивая – *C*, язык *EN*. При изменении ёмкости использовать остановку  и повторный запуск .

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

Содержание отчета

- 1 Наименование и цель работы.
- 2 Схема исследования 1 с вольтметрами – кружочками.
- 3 Таблица 1 результатов измерений и вычислений.
- 4 Расчёт суммарной ёмкости двух параллельно соединённых конденсаторов и эквивалентной ёмкости трёх конденсаторов по формуле (3).
- 5 Расчёты зарядов всех конденсаторов (и эквивалентного) по формуле (1).
- 6 Проверка формулы распределения зарядов (4).
- 7 Расчёты энергий, запасённых всеми конденсаторами (и эквивалентным) по формуле (2).
- 8 Проверка формулы баланса запасённых энергий (5).
- 9 Схема исследования 2.
- 10 Расчёт сопротивления конденсатора.
- 11 Заключение по работе.

Контрольные вопросы

- 1 Как определяется эквивалентная ёмкость при последовательном соединении конденсаторов?

2 Как определяется эквивалентная ёмкость при параллельном соединении конденсаторов?

3 Как определяется эквивалентная ёмкость при смешанном соединении конденсаторов?

4 Как определяется заряд конденсатора?

5 Как определяется энергия, запасённая в конденсаторе?

6 Как распределяются заряды в системе из нескольких конденсаторов?

7 Как суммируется запасённая энергия в системе из нескольких конденсаторов?