

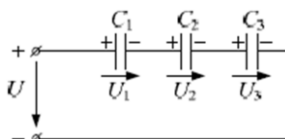
## Лабораторная работа №5

### Исследование электрической цепи с последовательным, параллельным и смешанным соединением конденсаторов. Знакомство с программой *MULTISIM* (мультисим).

Цель работы – с помощью электронной лаборатории *Electronics Workbench*, а также 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 емкостью  $C_3$ .

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

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

С учетом уравнений (2.1) и (2.8) получим

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

Сокращая последнее выражение на  $q$ , находим

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

Для определения  $C_3$  нужно найти величину, обратную найденной по уравнению (2.9). В частном случае при последовательном соединении двух конденсаторов с емкостями  $C_1$  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):

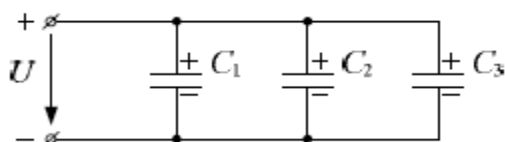
$$C_3 = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}.$$

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.



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

5 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.

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

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


$$q_э = q_1 = q_2 + q_3. \quad (4)$$

7 Рассчитать по формуле (2) энергию  $W_э$ , запасённую эквивалентным конденсатором  $C_э$ , занести в таблицу 2, убедиться, что она равна сумме энергий всех конденсаторов

$$W_э = W_1 + W_2 + W_3. \quad (5)$$

## ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММЫ *MULTISIM* ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ И АНАЛИЗА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

### Основные понятия о программе *Multisim*

Программа *Multisim* – это инструмент, позволяющий собирать и исследовать путём математического моделирования электрические цепи. Для запуска программы необходимо навести курсор на её иконку , и кратковременно нажать левую клавишу мыши. После активации программы на экране монитора откроется рабочее окно программы (рис. 1.1).

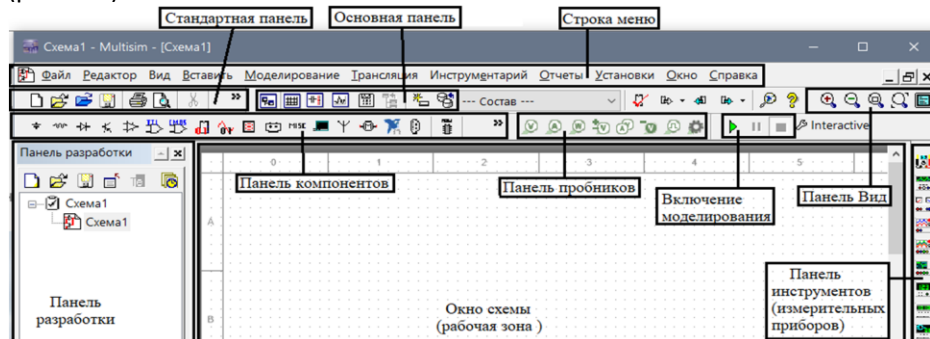


Рисунок 1.1 – Рабочее окно программы *Multisim*

В верхней части экрана расположена строка меню: «Файл», «Редактор», «Вид», «Вставить», «Моделирование», «Трансляция», «Инструментарий», «Отчеты», «Установки», «Окно», «Справка», которые содержат много пунктов – их назначение стандартно для многих Windows-приложений. Пункты меню, которые необходимо использовать рассматриваются при описании порядка выполнения каждой лабораторной работы.

*Панель моделирования*, включает кнопки управления процессом моделирования [Пуск], [Пауза], [Стоп]. Их пиктограммы имеют вид [▶], [||], [■].

Панель *Вид* содержит кнопки масштабирования и доступа к командам меню.

*Панель компонентов* позволяет выбрать элементы, необходимые для создания электрической цепи. Её вид приведён на рисунке 1.2.

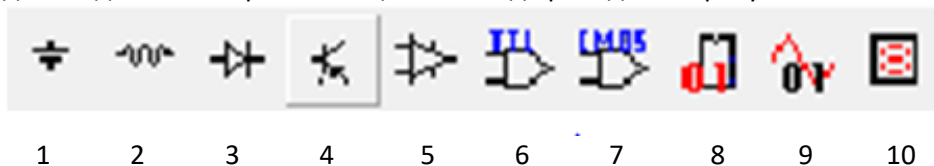


Рисунок 1.2.– Панель компонентов (фрагмент)

Здесь:

**1 – [ИСТОЧНИКИ].** Данная группа содержит различные источники постоянного и переменного напряжения и тока, а также элемент заземления;


**2 – [ПАССИВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ].** Данная группа содержит важнейшие пассивные элементы электротехники (резисторы, катушки индуктивности, конденсаторы, трансформаторы и т. д.);

**3 – [ДИОДЫ].** В ней выпрямительные диоды, стабилитроны и другие диоды.

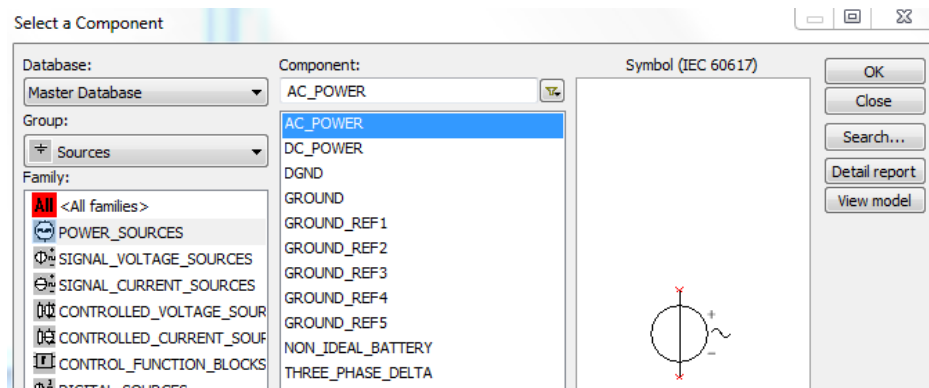
**10 – [ИНДИКАТОРЫ].** В ней измерительные приборы и индикаторы.

Центральную часть экрана занимает окно схемы – рабочая зона, в которой собирается исследуемая электрическая цепь

*Панель инструментов* содержит – [Мультиметр], [Ваттметр], [Оциллограф], [Четырёхканальный оциллограф] и другие приборы, в самом низу – [Датчик тока]. Панель расположена вертикально в правой части экрана.

При нажатии на  **источники** (в левом верхнем углу) появляется меню выбор компонента. В базе данных POWER\_SOURCES выбираем




AC\_POWER жмём OK и переносим элемент в рабочую зону. Установить название и параметры элемента можно после двойного щелчка по нему.



Остальные элементы из панели компонентов вытаскиваются в рабочую зону аналогично. Их можно поворачивать и удалять через правую кнопку мыши. Установка названий и параметров через двойной щелчок левой.


Приборы из панели инструментов (справа) щёлкаются, появляются в правом углу рабочей зоны, с нажатием левой кнопки перетаскиваются в нужную позицию, двойным щелчком раскрываются.

### Продолжение лабораторной работы

8 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], OK. Из группы Basic (правее) перенести 3 конденсатора Capacitor (повернуть). Из группы  [Индикаторы] выбрать два вертикальных вольтметра [VOLTMETER\_V].

9 Собрать схему измерения напряжения на конденсаторах рисунок 2.

10 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  $\mu$  используется английская u). Назвать вольтметры  $U_1$  и  $U_{23}$  и установить для них переменный ток AC.

11 Нажать на запуск моделирования , на вольтметрах появятся напряжения, сравнить их с полученными в электронной лаборатории EWB.

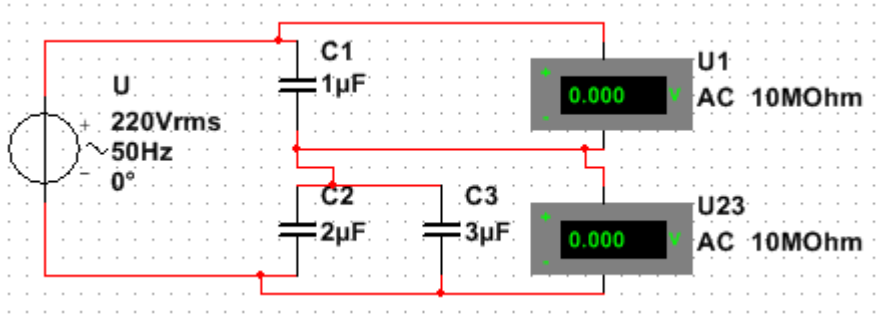


Рисунок 2 – Схема измерения напряжения на конденсаторах

### Содержание отчета

- 1 Наименование и цель работы.
- 2 Схема исследования 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 Результаты сравнения показаний вольтметров в обеих программах.
- 10 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?

- 8 Как в программе **Multisim** вынести элемент на рабочее поле?
- 9 Как его повернуть? Удалить?
- 10 Как установить название и параметры элемента?
- 11 Как вынести измерительный прибор на рабочее поле? Как его раскрыть?