

Оглавление

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОГРАММЕ Multisim	5
1.1. Структура рабочего окна программы	6
1.2. Моделирование работы схем	11
2. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	15
2.1. Исследование резистивного делителя напряжения	15
2.2. Исследование цепи постоянного тока (источник ЭДС)	19
2.3. Исследование резистивного делителя тока	28
2.4. Исследование цепи постоянного тока (источник тока)	32
2.5. Измерение активной мощности цепи	37
2.6. Исследование характеристик фильтров низкой частоты	41
2.6.1. Измерение АЧХ с помощью вольтметра	41
2.6.2. Измерение ФЧХ с помощью двухканального осциллографа	43
2.6.3. Измерение АЧХ и ФЧХ с помощью плоттера Боде	45
2.7. Исследование свойств и характеристик RC-цепей	49
2.7.1. Теоретическая часть	49
2.7.2. Исследование RC-цепочки	55
2.7.3. Исследование CR-цепочки	56
2.7.4. Исследование трехзвенного ФВЧ	56
2.7.5. Исследование цепи Вина	57
2.7.6. Содержание отчета по работе	57
2.8. Исследование однофазных выпрямителей	58
2.8.1. Теоретическая часть	58
2.8.2. Исследование однополупериодного выпрямителя	62
2.8.3. Исследование двухполупериодного выпрямителя	64
2.8.4. Содержание отчета по работе	65
2.9. Исследование транзисторных усилителей напряжения	66
2.9.1. Теоретическая часть	66
2.9.2. Исследование усилителя с общим эмиттером (вариант 1)	71
2.9.3. Исследование усилителя с общим эмиттером (вариант 2)	74
2.9.4. Исследование усилителя с общим коллектором	76
2.9.5. Содержание отчета о работе	78
2.10. Исследование характеристик операционного усилителя	81
2.10.1. Теоретическая часть	81
2.10.2. Исследование влияния напряжения смещения на выходное напряжение в прямом включении	85
2.10.3. Исследование АЧХ и ФЧХ ОУ, включенного по схеме повторителя напряжения	89
2.10.4. Исследование влияния сопротивления нагрузки на величину выходного напряжения	90
2.10.5. Исследование переходных параметров ОУ	90
3. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ	96
Задание 1	96

Задание 2	98
Содержание отчета	104
4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	105

1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПРОГРАММЕ Multisim

Разработка любой электронной схемы сопровождается, как правило, физическим или математическим моделированием. Физическое моделирование связано с большими материальными затратами, поскольку требуется изготовление макетов и их исследование, которое может быть весьма трудоемким. Поэтому часто применяют математическое моделирование с использованием средств и методов вычислительной техники. Одной из таких программ является электронная система моделирования Multisim (Electronics Workbench), отличающаяся простым и легко осваиваемым пользовательским интерфейсом. Широкое распространение Multisim получила в средних и высших учебных заведениях, где она используется в учебных целях в качестве лабораторного практикума по целому ряду предметов (основы электротехники и электроники, основы вычислительной техники и др.).

Система моделирования Multisim имитирует реальное рабочее место исследователя — лабораторию, оборудованную измерительными приборами, работающими в реальном масштабе времени. С ее помощью можно создавать, моделировать как простые, так и сложные аналоговые и цифровые устройства.

В настоящем пособии описываются основные принципы работы с русифицированной электронной системой моделирования Multisim 12.0. Разработчик — National Instruments. Для понимания принципов ее работы необходимо:

- знание принципов работы операционной системы Windows;
- понимание принципов работы основных измерительных приборов (осциллограф, мультиметр, и т.п.);
- знание отдельных элементов электронных схем.

Система моделирования Multisim предназначена для ввода схемы, моделирования и подготовки к следующему этапу, разводке платы, является платформой сквозного проектирования. Работа в реальной лаборатории требует больших затрат на подготовку эксперимента. Multisim — электронная лаборатория, позволяющая сделать изучение электрических схем более доступным. Ошибки экспериментатора в реальной лаборатории могут привести к большим материальным потерям, в то время как, работая в Multisim, обучающийся застрахован от случайного поражения током, а приборы не выйдут из строя из-за неправильно собранной схемы.

1.1. Структура рабочего окна программы

Знакомство с программой следует начать с изучения главного рабочего окна. Для начала работы необходимо запустить программу либо щелчком по ярлыку на рабочем столе, либо в панели Пуск / Программы / National Instruments / Circuit Design Suite / Multisim. На экране монитора появится главное рабочее окно программы — пользовательский интерфейс (рис. 1.1).

Multisim является программой с многооконным графическим интерфейсом, который позволяет строить и редактировать схемы, модели и изображения компонентов, а также представлять результаты расчётов в удобном графическом виде.

Пользовательский интерфейс Multisim 12.0 состоит из следующих элементов:

строка меню (главное меню) позволяет выбирать команды для всех функций;


панель разработки позволяет управлять различными элементами схемы;

панель инструментов состоит из кнопок для быстрого доступа к командам и элементам меню;

окно редактирования (рабочая область);

приборная панель состоит из набора кнопок для доступа к моделям контрольно-измерительных приборов.

Строка меню расположена вверху под строкой названия программы. Она включает следующие компоненты: **Файл, Редактор, Вид, Вставить, Микроконтроллеры, Моделирование, Трансляция, Инструментарий, Отчеты, Установки, Окно, Справка.**

В правом верхнем углу находятся кнопки , предназначенные для запуска, останова и приостановки процесса работы модели электрической схемы. Под запуском работы модели понимается включение источников сигналов и контрольно-измерительных приборов. Кнопка паузы служит для временной остановки процесса работы модели электрической схемы.

Ниже меню расположены панели инструментов. Перед дальнейшей работой убедитесь, что выбраны нужные панели. Для этого наведите курсор на область панелей инструментов и щелкните ПКМ (рис. 1.2). Выбраны должны быть следующие панели: **Стандартная, Вид, Реальные компоненты, Виртуальные, Выключатель моделирования, Приборы.**

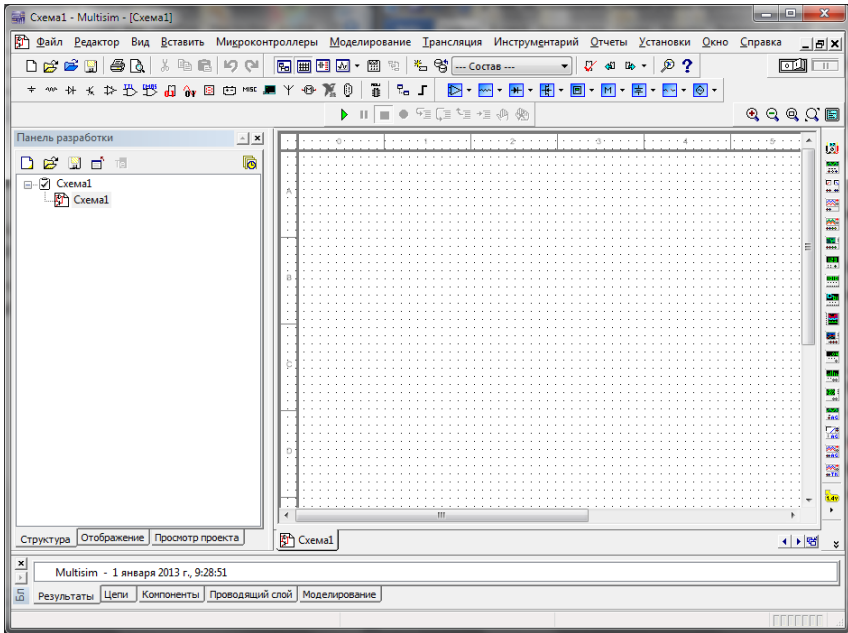


Рис. 1.1. Главное окно программы MultiSim

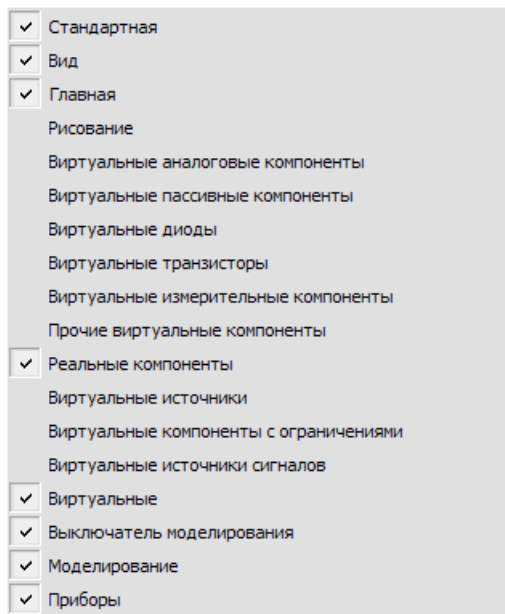


Рис. 1.2. Выбор панелей

Стандартная панель инструментов и панель **Вид** показаны на рис. 1.3. С их помощью можно, не заходя в дополнительное меню, управлять масштабом рабочего поля, отменять последние изменения, а так же сохранять и открывать проекты.



Рис. 1.3. Панели **Стандартная** и **Вид**

Рядом с панелью **Стандартная** расположена панель **Главная** (рис. 1.4).

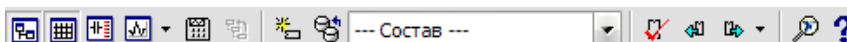


Рис. 1.4. Панель **Главная**

Компоненты – это основа любой схемы, т.е. элементная база, из которой состоит схема. В Multisim работа осуществляется с двумя категориями компонентов: **виртуальными** (virtual) и **реальными** (real). Реальные компоненты являются полными аналогами компонентов, выпускаемых или выпущенных радиоэлектронной промышленностью.

Панель **Реальные компоненты** (по умолчанию) расположена под панелью **Стандартная** и **Вид** (рис. 1.5).



Рис. 1.5. Панель **Реальные компоненты**

MultiSim 12.0 имеет компоненты более 17000 наименований мировых производителей Analog Devices, National Semiconductor, NXP и Philips, содержащихся в следующих библиотеках, представленных кнопками на панели **Реальные компоненты**:

- источники;
- пассивные компоненты;
- диоды;
- транзисторы;
- аналоговые компоненты;
- логика TTL;
- логика CMOS;
- аналого-цифровые компоненты;
- индикаторы;
- компоненты питания;
- прочие компоненты;

периферийные устройства;
ВЧ-компоненты;
электромеханические компоненты;
компоненты NI;
разъёмы;
микроконтроллеры.

Виртуальные компоненты являются математическими моделями семейств (Family) компонентов (резисторы, конденсаторы и т.д.) с любыми произвольными параметрами, присущими данной категории (например, сопротивление, равное 3,89736 Ом).

Панель **Виртуальные** (компоненты) расположена под панелью **Главная** (рис. 1.6). Она содержит девять кнопок (в данной версии). Каждая кнопка панели инструментов представляет собой библиотеку компонентов.



Рис. 1.6. Панель **Виртуальные**

Назначение кнопок (слева направо):

аналоговые;
пассивные;
диоды;
транзисторы;
измерительные;
аналого-цифровые;
с ограничениями;
источники сигналов.

Девять библиотек могут быть вызваны поочередно с помощью этих кнопок в виде отдельных панелей. Для этого необходимо подвести курсор к соответствующей кнопке и щелкнуть ЛКМ. Если же щелкнуть по стрелке рядом с кнопкой, появляется окно, в котором изображены условные обозначения определенной группы электронных компонентов и устройств в виде списка. Например, на рис. 1.7 показана открытая панель **Источники**. Источник питания АС — источник переменного напряжения, Источник питания ДС — источник постоянного напряжения.

Окно редактирования (рабочая область) — это самая большая центральная область — место для непосредственного построения и моделирования схемы.

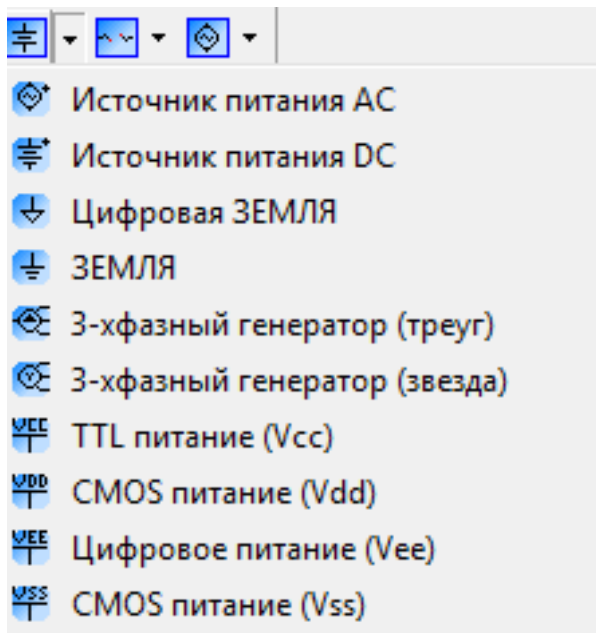


Рис. 1.7. Панель **Источники** (виртуальные)

Справа от рабочей области (по умолчанию) расположена панель **Приборы** (рис.1.8). Multisim имеет виртуальные приборы — программные модели следующих контрольно-измерительных приборов:

- мультиметр;
- функциональный генератор;
- ваттметр;
- осциллограф;
- 4-х канальный осциллограф;
- плоттер Боде (измеритель АЧХ и ФЧХ);
- частотомер;
- генератор слов;
- логический преобразователь;
- характериограф;
- измеритель нелинейных искажений;
- анализатор спектра;
- панорамный анализатор;
- функциональный генератор Agilent;
- мультиметр Agilent.



Рис. 1.8

1.2. Моделирование работы схем

Multisim позволяет строить аналоговые, цифровые и цифро-аналоговые схемы различной степени сложности.

Исследуемая схема собирается на рабочей области при одновременном использовании мыши и клавиатуры.

Последовательность создания схемы следующая.

Прежде чем создавать чертеж принципиальной схемы средствами программы Multisim, необходимо на листе бумаги подготовить ее эскиз с примерным расположением компонентов и с учетом возможности оформления отдельных фрагментов в виде под-схем.

Для удобства размещения компонентов можно сделать видимой сетку по команде в строке меню программы **Вид/Сетка**.

Компоненты электрической схемы, измерительные приборы, источники сигналов и питания извлекаются из соответствующих библиотек при нажатии левой кнопки мыши (ЛКМ) и повторном нажатии ЛКМ на рабочей области виртуальной лаборатории. При этом символ фиксируется на рабочем поле. Объект можно поворачивать на угол, кратный 90° . Для этого объект нужно предварительно выделить, а затем щелкнуть по нему правой кнопкой мыши (ПКМ) и из появившегося меню выбрать команду **90 по часовой** (Ctrl + R) или **90 против часовой** (Ctrl + Shift+R). Вольтметры и амперметры рекомендуется выбирать нужной ориентации сразу из библиотеки **Индикаторы**, чтобы изображение на табло измерительного прибора не было перевернутым.

Установка нужного параметра элемента или технических характеристик прибора производится в диалоговом окне, которое открывается двойным щелчком по значку компонента. В раскрывшемся окне устанавливают требуемые параметры (сопротивление резистора, емкость конденсатора, ЭДС источника, режимы работы прибора и т.д.). Выбор параметра элемента нужно подтвердить нажатием кнопки **ОК**, находящейся обычно внизу в диалоговом окне

Соединение элементов производится в автоматическом режиме: курсор подводится к выводу элемента, появляется точка, затем, после нажатия ЛКМ к курсору привязывается конец прямолинейной цепи, который можно открепить на вывод другого элемента или на участок другой ветви, нажав ЛКМ еще раз. В процессе прокладывания прямолинейной цепи можно нажимать ЛКМ на пус-

том рабочем поле, для фиксации цепи в этой точке. Это бывает необходимо, так как цепь прорисовывается в ортогональном режиме и состоит из горизонтальных и вертикальных отрезков, которые огибают установленные элементы схемы, и не всегда автоматическое огибание бывает самым рациональным.

Цепи можно редактировать следующим образом.

Участки цепи можно переместить. Для этого курсор подводится к участку цепи. Нажимая и удерживая ЛКМ, перемещением мышки изменяем положение цепи. Аналогично перемещаются и узлы схемы.

Все проводники в Multisim по умолчанию черного или красного цвета, но цвет проводника можно изменить. Для этого цепь выделяется щелчком ПКМ. В появившемся меню выбирается команда **Цвет цепи** или **Цвет сегмента**. Открывается окно **Палитра** (рис. 1.9), выбираем из палитры цвет проводника. Рекомендуется окрашивать в разные цвета цепи, подводимые к входам осциллографа, так как графикам, отображаемым на экране осциллографа, присваивается цвет подсоединенных к его входам цепей.

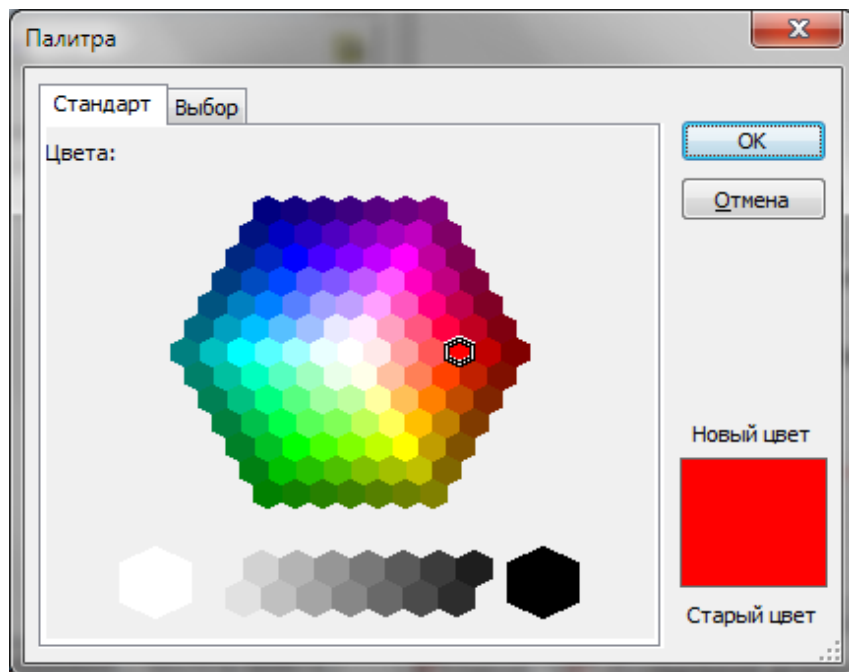


Рис. 1.9. Окно **Палитра**

Удаление цепи. Удаляемая цепь выделяется и нажимается на клавиатуре клавиша Delete или выбирается в контекстном меню (ПКМ по объекту) команда **Удалить** (Delete).

Для создания дополнительного узла схемы нажмите сочетание клавиш CTRL+J, а затем нажмите ЛКМ на нужном месте рабочей области.

Ориентацию выводов вольтметров и амперметров следует выбирать либо горизонтальную, либо вертикальную, чтобы табло измерительного прибора находилось в нужном положении. Щелкнув дважды ЛКМ по прибору, можно задать величины внутренних сопротивлений приборов (очень большое сопротивление для вольтметра и очень маленькое сопротивление для амперметра), выбрать вид измеряемого тока DC (постоянный) и их обозначения (рис. 1.10).

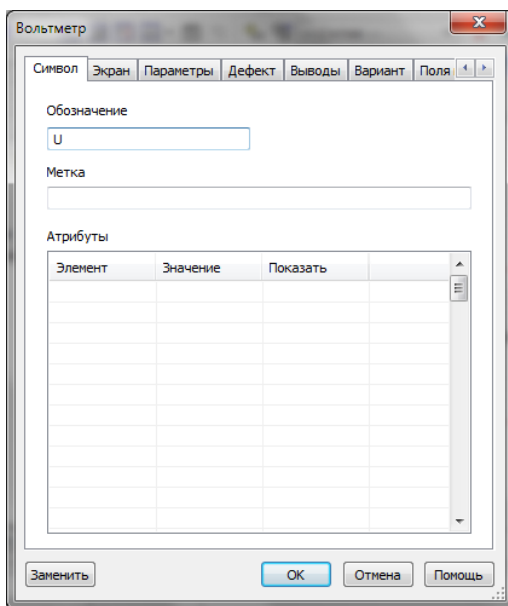


Рис. 1.10. Вкладка **Символ** вольтметра

После создания схемы сетку можно отключить. Multisim — удобное и практичное средство, позволяющее моделировать электрические схемы и анализировать их работу. Результаты моделирования можно вывести на принтер или импортировать в текстовый или графический редактор для их дальнейшей обработки, что дает возможность значительно повысить качественный уровень проведения лабораторных и практических занятий.

При моделировании схем необходимо соблюдать следующие общие правила:

1) Любая схема должна обязательно содержать хотя бы один символ заземления.

2) Любые два конца проводника либо контакта устройства, встречающихся в точке, всегда считаются соединенными. При соединении трех концов (Т- соединение) необходимо использовать символ соединения (узел). Те же правила применяются при соединении четырех и более контактов.

3) В схемах должны присутствовать источники сигнала (тока или напряжения), обеспечивающие входной сигнал, и не менее одной контрольной точки (за исключением анализа схем постоянного тока).

4) В схеме не должны присутствовать контуры из катушек индуктивности и источников напряжения.

5) Источники тока не должны соединяться последовательно.

6) Не должно присутствовать короткозамкнутых катушек.

7) Источник напряжения должен соединяться с катушкой индуктивности и трансформатором через последовательно включенный резистор. К конденсатору, подключенному к источнику тока, обязательно должен быть параллельно присоединен резистор.

2. МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

2.1. Исследование резистивного делителя напряжения

На рис. 2.1.1 представлена простейшая схема делителя напряжения на двух резисторах $R1$ и $R2$. К цепи приложено напряжение источника постоянного тока E . Через резисторы протекает ток I (последовательное включение), на резисторе $R1$ падает напряжение $U1$, на резисторе $R2$ — напряжение $U2$:

$$\begin{aligned} I &= E / (R1 + R2), \\ U1 &= I \cdot R1 = E \cdot R1 / (R1 + R2), \\ U2 &= I \cdot R2 = E \cdot R2 / (R1 + R2). \end{aligned} \quad (2.1.1)$$

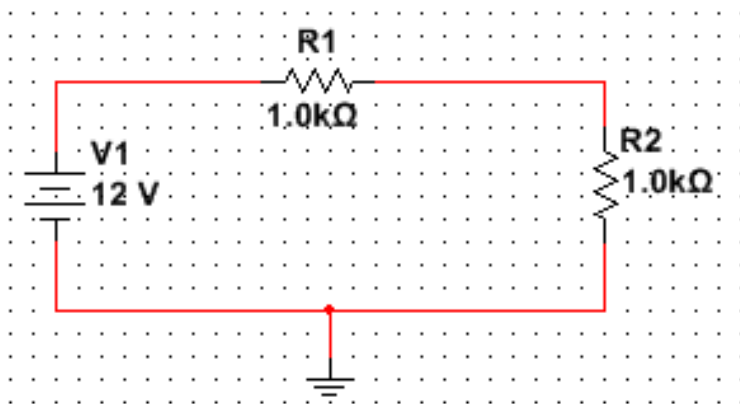


Рис. 2.1.1. Схема делителя напряжения

По формулам (2.1.1) рассчитать падение напряжения на резисторах $R1$ и $R2$ для данных, приведенных в таблице 2.1.1. Результаты расчетов занести в таблицу 2.1.1.

Собрать схему исследования делителя напряжения, представленную на рис. 2.1.2.

Провести экспериментальную проверку полученных результатов. Изменяя в схеме значения сопротивлений и напряжения источника питания, заполните таблицу 2.1.1.

По результатам измерений построить графики зависимости $U1=f(R1)$ при $R2=const$ и $U2=f(R2)$ при $R1=const$ для двух значений $V1$.

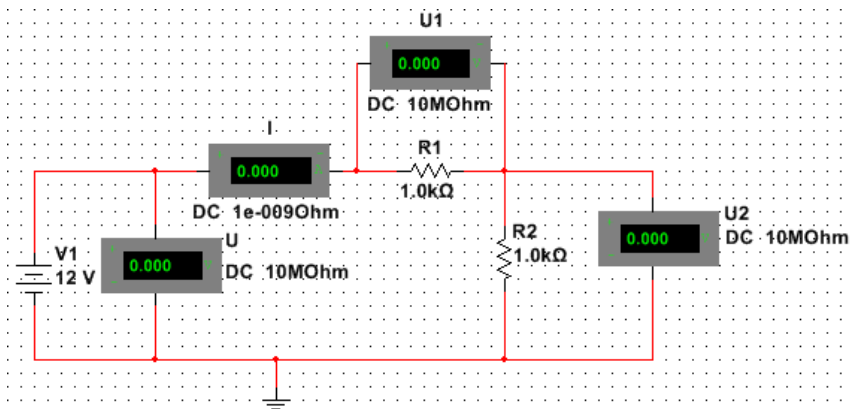


Рис. 2.1.2. Схема исследования делителя напряжения

Таблица 2.1.1

V1, В	R1, Ом	R2, Ом	Ток I (мА)		U1, В		U2, В	
			Расчет	Эксп.	Расчет	Эксп.	Расчет	Эксп.
12	100	50						
	100	100						
	100	200						
	50	100						
	200	100						
	300	100						
6	100	50						
	100	100						
	100	200						
	50	100						
	200	100						
	300	100						

1. Из группы компонентов **Источники** выбрать источник постоянного тока (рис. 2.1.3) и поместить его на рабочую область, расположив, как показано на рис. 2.1.2.

2. Из группы **Пассивные компоненты** выбрать два резистора (рис. 2.1.4) и поместить их на рабочую область. Выделить один резистор, повернуть командой **90 по часовой** (Ctrl + R) и расположить, как показано на рис. 2.1.2.

3. Из группы компонентов **Индикаторы** выбрать вольтметр горизонтальный (рис. 2.1.5), вольтметр вертикальный (рис. 2.1.6) и амперметр горизонтальный (рис. 2.1.7). Расположить их на рабочей области согласно рис. 2.1.2.

4. Из группы **Источники** выбрать заземление (рис. 2.1.8).

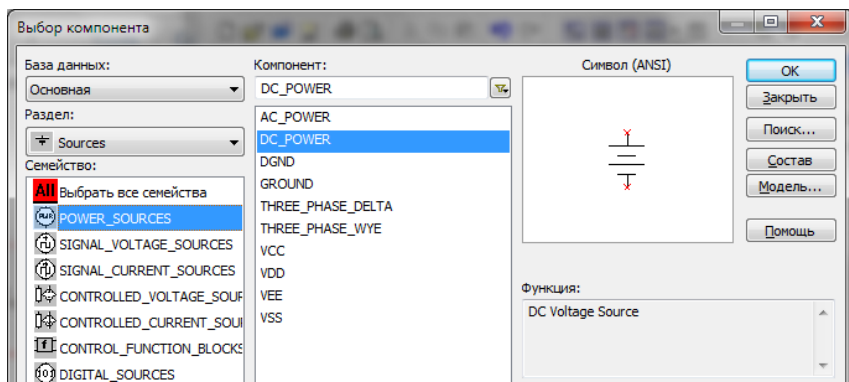


Рис. 2.1.3. Выбор источника постоянного напряжения

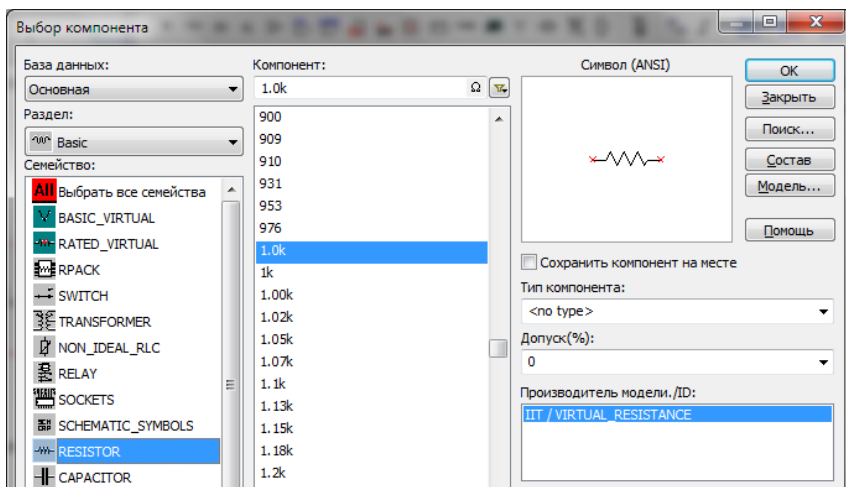


Рис. 2.1.4. Выбор резистора

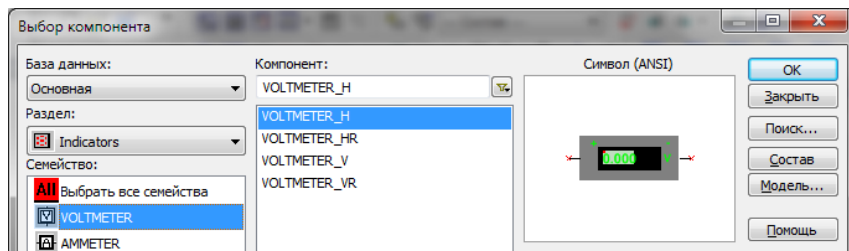


Рис. 2.1.5. Выбор вольтметра горизонтального

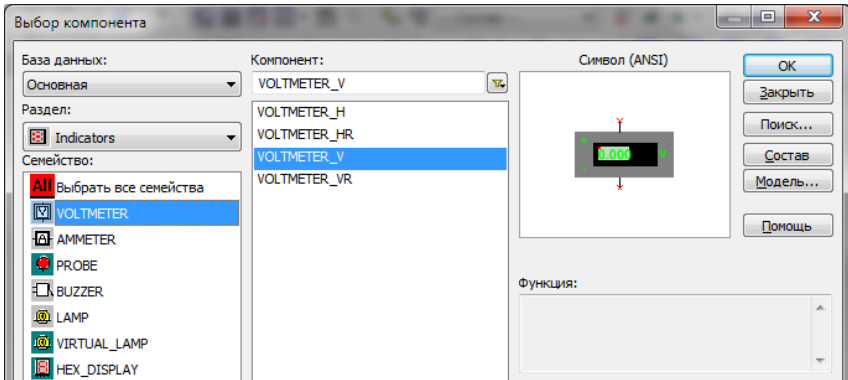


Рис. 2.1.6. Выбор вольтметра вертикального

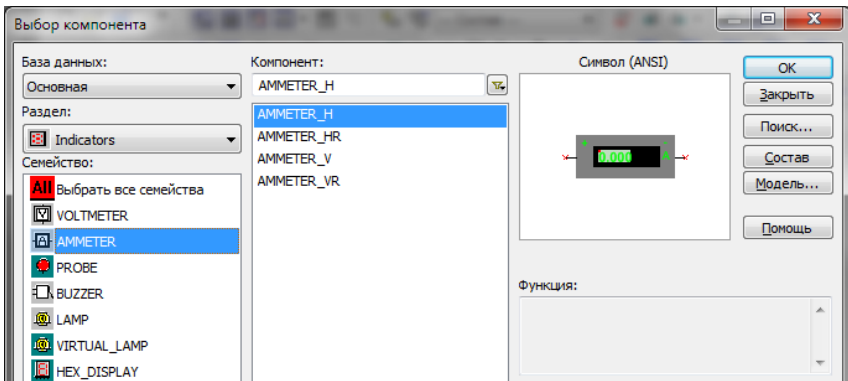


Рис. 2.1.7. Выбор амперметра горизонтального

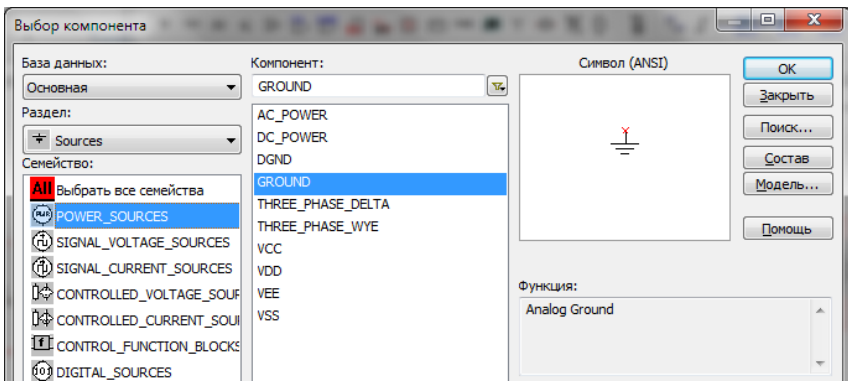


Рис. 2.1.8. Выбор заземления

Запустить эксперимент командой **Пуск (F5)**.

2.2. Исследование цепи постоянного тока (источник ЭДС)

Цель работы: опытным путем проверить основные законы для цепи постоянного тока со смешанным соединением приемников электрической энергии.

Важнейшим электрическим явлением является электрический ток — упорядоченное движение заряженных частиц (электронов). Для существования тока необходимо наличие электрической цепи. Электрическая цепь — это замкнутый путь для тока, состоящий из источников электрической энергии, приемников электрической энергии, соединительных проводов, коммутационных устройств, измерительных приборов.

Источник преобразует в электрическую энергию любой другой вид энергии. Приемник — преобразует электрическую энергию в любой нужный потребителю вид энергии.

Для расчета неразветвленных электрических цепей применяется закон Ома. Закон Ома для электрической цепи, содержащей источник ЭДС (рис. 2.2.1): ток прямо пропорционален ЭДС источника и обратно пропорционален суммарному сопротивлению всей цепи:

$$I = \frac{E}{R_1 + R_2}.$$

Закон Ома для участка цепи:

$$I = \frac{U}{R_1}.$$

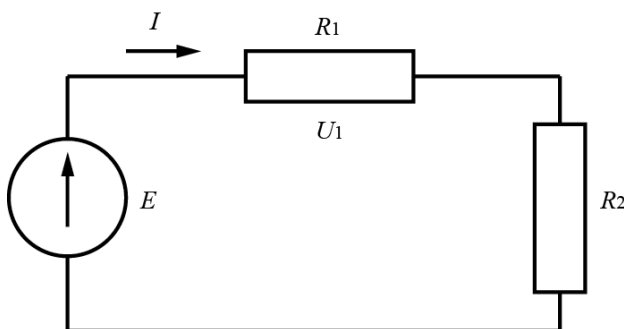


Рис. 2.2.1

Ток, протекающий по сопротивлению R_1 пропорционален напряжению U_1 , действующему на данном участке, и обратно пропорционален его сопротивлению.

Для расчета разветвленных цепей применяют два закона Кирхгофа, называемые также правилами Кирхгофа. Оба закона установлены на основании многочисленных опытов и являются следствием закона сохранения энергии.

В соответствии с первым законом Кирхгофа алгебраическая сумма токов в точке разветвления электрической цепи равна нулю (рис. 2.2.2):

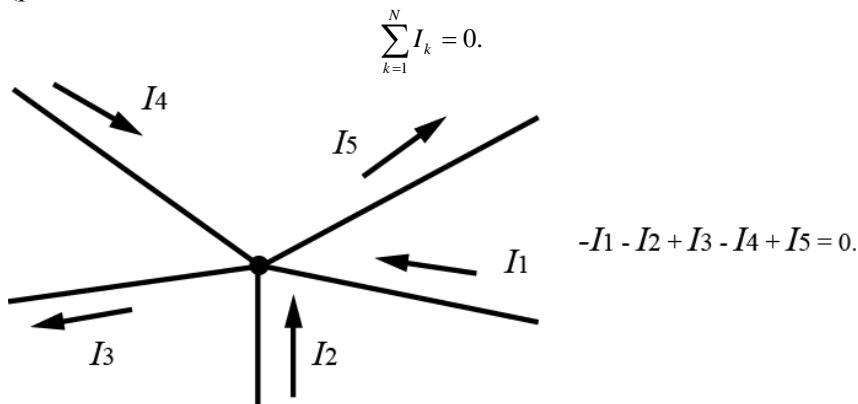


Рис. 2.2.2

По второму закону Кирхгофа алгебраическая сумма ЭДС, действующих в замкнутом контуре, равна алгебраической сумме напряжений и падений напряжения в этом контуре электрической цепи (рис. 2.2.3).

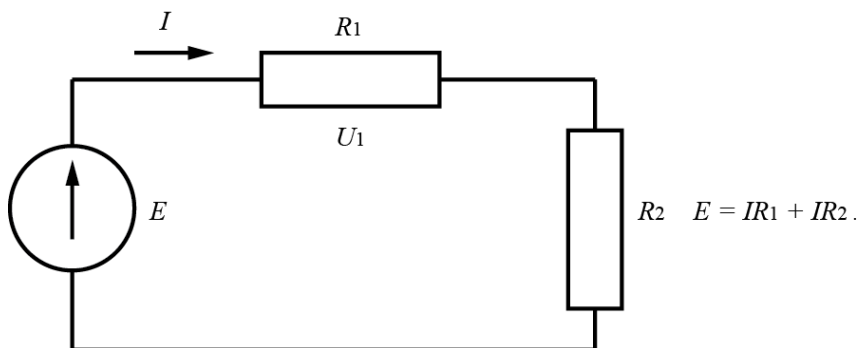


Рис. 2.2.3

При составлении уравнений для расчета в соответствии с указанными законами необходимо учитывать, каким способом соединены элементы рассматриваемой электрической цепи.

При последовательном соединении по всем элементам электрической цепи протекает один и тот же ток (рис. 2.2.4).

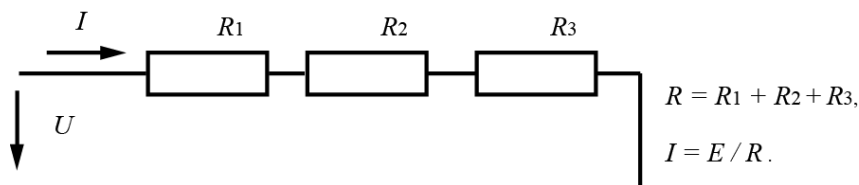


Рис. 2.2.4

Параллельным соединением элементов (ветвей) цепи называется такое, при котором все эти элементы находятся под одним и тем же напряжением (рис. 2.2.5).

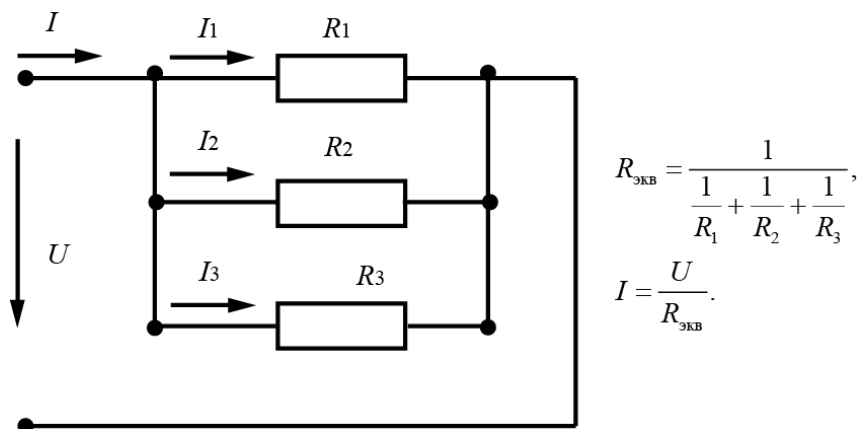


Рис. 2.2.5

При смешанном соединении потребителей электрической энергии, одна часть потребителей соединена параллельно, а другая — последовательно.

На рис. 2.2.6 представлена схема цепи постоянного тока с источником ЭДС.

1. Рассчитать эквивалентные сопротивления, токи и падение напряжения на резисторах $R_1 \dots R_4$ для данных, приведенных в таблице 2.2.1. Расчеты проведите при разомкнутом ключе А. Результаты расчетов занесите в табл. 2.2.1, табл. 2.2.2 и табл. 2.2.3 (в таблицах приняты сокращения: Р — расчет, Э — эксперимент).

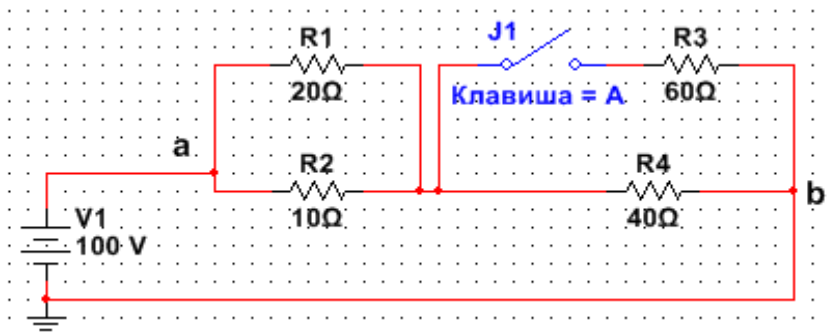


Рис. 2.2.6. Схема цепи постоянного тока (источник ЭДС)

Таблица 2.2.1

V1, В	№	R1, Ом	R2, Ом	R3, Ом	R4, Ом	$R_{экв1}, Ом$	$R_{экв2}, Ом$
50	1	100	50	300	100		
	2	100	100	200	100		
	3	100	200	50	100		
	4	50	100	100	50		
	5	200	100	100	100		
	6	300	100	50	100		
40	7	100	50	300	100		
	8	100	100	200	100		
	9	100	200	50	100		
	10	50	100	100	50		
	11	200	100	100	100		
	12	300	100	50	100		
20	13	100	50	300	100		
	14	100	100	200	100		
	15	100	200	50	100		
	16	50	100	100	50		
	17	200	100	100	100		
	18	300	100	50	100		
	19	100	50	100	50		
	20	200	50	50	100		

Таблица 2.2.2

№	I, мА		I1, мА		I2, мА		I3, мА		I4, мА	
	Р	Э	Р	Э	Р	Э	Р	Э	Р	Э
1										
2										
3										
4										

Окончание табл. 2.2.2

№	$I, \text{мА}$		$I_1, \text{мА}$		$I_2, \text{мА}$		$I_3, \text{мА}$		$I_4, \text{мА}$	
	Р	Э	Р	Э	Р	Э	Р	Э	Р	Э
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										

Таблица 2.2.3

№	$U, \text{мА}$		$U_1, \text{мА}$		$U_2, \text{мА}$		$U_3, \text{мА}$		$U_4, \text{мА}$	
	Р	Э	Р	Э	Р	Э	Р	Э	Р	Э
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										

№	I, мА		I1, мА		I2, мА		I3, мА		I4, мА	
	Р	Э	Р	Э	Р	Э	Р	Э	Р	Э
17										
18										
19										
20										

Расчет цепи выполнить, используя закон Ома:

1.1 Определить эквивалентное сопротивление цепи при разомкнутом ключе:

$$R_{\text{эkv}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_4.$$

1.2 Определить ток в неразветвленной части цепи:

$$I = \frac{E}{R_{\text{эkv}}}.$$

1.3 Определить напряжения U_1 и U_2 . Напряжения U_1 и U_2 равны, так как элементы R_1 и R_2 включены параллельно.

$$U_1 = U_2 = I \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

1.4 Определить напряжения U_3 и U_4 :

$U_{R_3} = 0$, так как в ветви с сопротивлением R_3 обрыв.

$$U_4 = I \cdot R_4.$$

1.5 Определить токи в ветвях схемы:

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U_2}{R_2}.$$

$I_3 = 0$, так как в ветви с сопротивлением R_3 обрыв;

$$I_4 = \frac{U_4}{R_4}.$$

1.6 Проверить выполнение законов Кирхгофа:

первый закон Кирхгофа: $I = I_1 + I_2 = I_4$;

второй закон Кирхгофа: $E = U_1 + U_4 = U_2 + U_4$.

1.7 Записать уравнение баланса мощностей.

2. Рассчитать эквивалентные сопротивления, токи и падение напряжения на резисторах $R1...R4$ для данных, приведенных в табл. 2.2.1. Расчеты проведите при замкнутом ключе А. Результаты расчетов занесите в табл. 2.2.1 ($R_{\text{эkv1}}$), табл. 2.2.4 и табл. 2.2.5.

Таблица 2.2.4

№	$I, \text{мА}$		$I_1, \text{мА}$		$I_2, \text{мА}$		$I_3, \text{мА}$		$I_4, \text{мА}$	
	Р	Э	Р	Э	Р	Э	Р	Э	Р	Э
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										

Таблица 2.2.5

№	$U, \text{мА}$		$U_1, \text{мА}$		$U_2, \text{мА}$		$U_3, \text{мА}$		$U_4, \text{мА}$	
	Р	Э	Р	Э	Р	Э	Р	Э	Р	Э
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										

№	U , мА		U_1 , мА		U_2 , мА		U_3 , мА		U_4 , мА	
	Р	Э	Р	Э	Р	Э	Р	Э	Р	Э
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										

2.1. Определить эквивалентное сопротивление цепи:

$$R_{\text{эв}} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}.$$

2.2. Определить ток в неразветвленной части цепи:

$$I = \frac{E}{R_{\text{эв}}}.$$

2.3. Определить напряжения U_1 и U_2 .

Напряжения U_1 и U_2 равны, так как элементы R_1 и R_2 включены параллельно.

$$U_1 = U_2 = I \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

2.4. Определить напряжения U_3 и U_4 . Напряжения U_3 и U_4 равны, так как элементы R_3 и R_4 включены параллельно.

$$U_3 = U_4 = I \frac{R_3 R_4}{R_3 + R_4}.$$

2.5. Определить токи в ветвях схемы:

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1}, \quad I_2 = \frac{U_2}{R_2}, \quad I_3 = \frac{U_3}{R_3}, \quad I_4 = \frac{U_4}{R_4}.$$

2.6. Проверить выполнение законов Кирхгофа:

первый закон Кирхгофа: $I = I_1 + I_2 = I_3 + I_4$;

второй закон Кирхгофа: $U = U_1 + U_3 = U_2 + U_4$.

2.7. Записать уравнение баланса мощностей.

3. Собрать на рабочей области электрическую цепь постоянного тока (рис. 2.2.7) при разомкнутом ключе.

3.1. Проведите экспериментальную проверку полученных теоретических результатов. Изменяйте в схеме исследования значения сопротивлений и напряжения источника питания. Полученные экспериментальные данные внесите в табл. 2.2.2 и табл. 2.2.3.

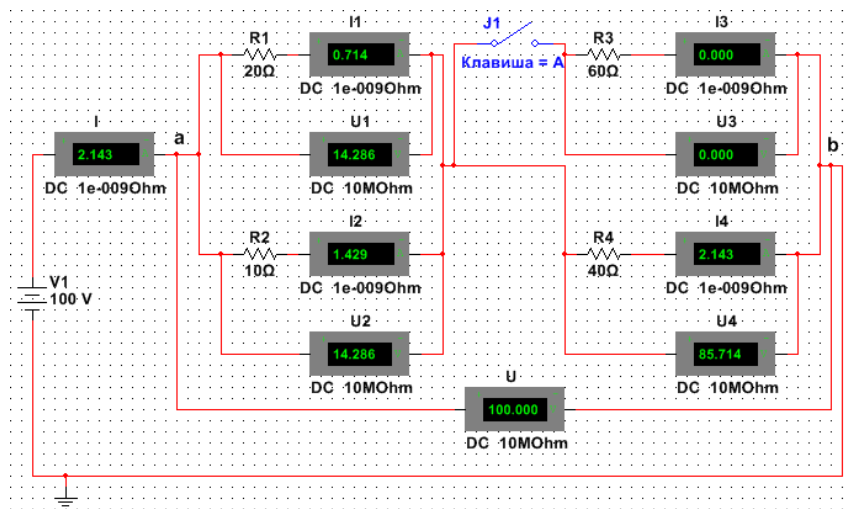


Рис. 2.2.7. Схема исследования цепи постоянного тока

3.2. Сопоставьте результаты измерений и сделайте выводы.

3.3. Замкните ключ, подключив резистор R_3 .

3.4. Проведите экспериментальную проверку полученных теоретических результатов. Изменяйте в схеме исследования значения сопротивлений и напряжения источника питания. Полученные экспериментальные данные внесите в табл. 2.2.4 и табл. 2.2.5.