

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Калужский филиал  
федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
**«Московский государственный технический университет имени  
Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»**  
(КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Ю.Е. Гагарин, И.В. Чухраев, О.О. Козеева

## **ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОНИКИ**

Лабораторный практикум

Калуга – 2022

УДК 621.38

Методические указания составлены в соответствии с учебным планом КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана по направлениям подготовки 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника», 09.03.03 «Прикладная информатика», 09.03.04 «Программная инженерия».

Методические указания рассмотрены и одобрены:

-кафедрой «Информационные системы и сети» (ИУК2)  
Протокол № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Зав. кафедрой ИУК2 \_\_\_\_\_ к.т.н., доцент И. В. Чухраев

-методической комиссией факультета ИУК  
Протокол № \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Председатель методической комиссии  
\_\_\_\_\_ к.т.н., доцент М. Ю.Адкин

Автор(ы) \_\_\_\_\_ к.т.н., доцент Чухраев И. В.  
\_\_\_\_\_ ст. преподаватель Козеева О.О.

Практикум содержит описание лабораторных работ по основным разделам дисциплины «Основы электроники»: цели, задачи, необходимые теоретические сведения, указания и порядок выполнения работ.

© Гагарин Ю.Е., Чухраев И. В., Козеева О.О., 2022 г.  
© КФ МГТУ им.Н.Э. Баумана, 2022 г.

# ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

### ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ, ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ЕЁ ВЫПОЛНЕНИЯ

Целью выполнения лабораторной работы является формирование практических навыков моделирования электрических цепей и использование [законов Ома](#) и [Кирхгофа](#) для расчета [электрических цепей](#).

Основными задачами выполнения лабораторной работы являются:

1. определение значения токов в ветвях с помощью моделирования схемы;
2. определение значения токов в ветвях с использованием расчетных формул.

Результатами работы являются:

- схема электрической цепи и значения токов, полученные по показаниям приборов;
- уравнения для заданной электрической цепи и их решение;
- подготовленный отчет.

Необходимое оборудование для выполнения лабораторной работы: - персональный компьютер с программным обеспечением Micro-Cap.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

### Элементы электрических цепей

**Электрическая цепь** – это совокупность определенным образом соединенных друг с другом элементов, создающих пути для прохождения тока. Электрическая цепь состоит из источников и приемников электрической энергии и промежуточных звеньев (проводов), связывающих источники с приемниками.

**Источниками электрической энергии** являются устройства, которые преобразуют химическую, тепловую, механическую и другие виды энергии в электрическую.

**Приемниками электрической энергии**, или так называемой нагрузкой, являются электрические лампы, электрические двигатели и другие устройства, в которых электрическая энергия превращается в световую, тепловую, механическую и в другие виды энергии.

При исследовании процессов в электрических цепях вводится понятие *элемента*, под которым подразумевается не физические существующие электротехнические устройства, а их идеализированные модели, которым теоретически присваиваются определенные электрические и магнитные свойства.

Электрический ток представляет собой упорядоченное движение электрических зарядов. Носителями зарядов в металлах являются свободные электроны, а в жидкостях – ионы. Электрическому току предписывается направление – так называемое *положительное направление*. Но в общем случае ток представляет собой движение электрических зарядов разных знаков в разные стороны, и положительное направление тока выбирается произвольно (на схемах указывается стрелкой).

Элементы электрической цепи могут быть *активными и пассивными*.

К *пассивным элементам электрических цепей* относятся сопротивления, индуктивности и емкости.

1) *Сопротивление* – это идеализированный элемент электрической цепи, приближенно заменяющий резистор, в котором происходит необратимый процесс преобразование электрической энергии в тепловую энергию.

Условное графическое изображение сопротивления показано на рис. 1.

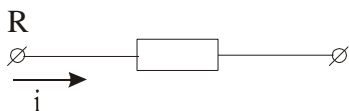


Рис. 1. Условное графическое изображение сопротивления  $R$   
По закону Ома (1826)

$$R = \frac{u}{i}.$$

В Международной системе единиц (СИ)  $i$  измеряется в амперах ( $A$ ),  $u$  – в вольтах ( $B$ ) и сопротивление в Омах ( $Ом$ ). Величина, обратная сопротивлению, называется проводимостью

$$g = \frac{1}{R}.$$

В системе СИ проводимость измеряется в сименсах ( $Сим$ ).

2) **Индуктивность** – идеализированный элемент электрической цепи, приближающийся по свойствам к индуктивной катушке, в которой накапливается энергия магнитного поля.

Условное графическое изображение индуктивности приведено на рис. 2.

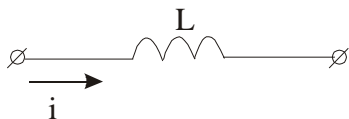


Рис. 2. Условное графическое изображение индуктивности Ток в индуктивности определяется по формуле:

$$i = \frac{1}{L} \int_{-\infty}^t u_L dt .$$

Индуктивность в системе СИ измеряется в генри ( $Гн$ ).

3) **Емкость** – это идеализированный элемент электрической цепи, заменяющий конденсатор, в котором накапливается энергия электрического поля.

Условное графическое обозначение емкости приведено на рис.3.

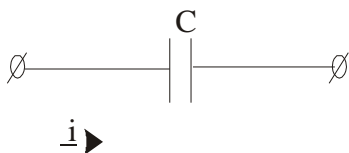


Рис.3. Условное графическое обозначение емкости Ток, проходящий через емкость, определяется по формуле:

$$i = C \frac{du_c}{dt} .$$

В системе СИ емкость измеряется в фарадах ( $\Phi$ ).

**Активными элементами электрических цепей** являются источники электрической энергии: источники напряжения (источник ЭДС) и источники тока.

Упорядоченное перемещение положительных зарядов в источнике от меньшего потенциала к большему возможно за счет присущих источнику сторонних сил. Величина работы, затрачиваемой сторонними силами на

перемещение единицы положительного заряда, называется **электродвижущей силой** (ЭДС) источника.

**Источник напряжения** (источник ЭДС) – это идеализированный источник питания, напряжение на котором не зависит от тока, проходящего через него. Предполагается, что внутри такого идеального источника напряжения пассивные элементы ( $R, L, C$ ) отсутствуют и прохождение через него не вызывает в нем падения напряжения.

На рис. 4 изображен источник напряжения. Стрелка внутри кружка указывает положительное направление ЭДС, т.е. направление возрастания потенциала внутри источника.

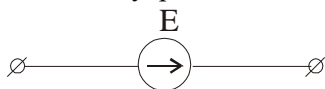


Рис. 4. Идеальный источник напряжения

**Источник тока** – это идеализированный источник питания, который дает ток, не зависящий от величины нагрузки цепи. Предполагается, что внутреннее сопротивление идеального источника бесконечно велико и поэтому параметры внешней электрической цепи, от которых зависит напряжение на зажимах источника, не влияют на ток источника.

На рис. 5 изображен источник тока, стрелка внутри которого показывает положительное направление тока  $I$ .

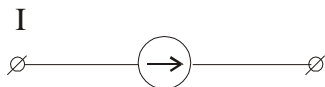


Рис. 5. Идеальный источник тока

**Линейной электрической цепью** называют такую цепь, в которой сопротивления, индуктивности и емкости не зависят от величин и направлений токов и напряжений. Пассивные элементы в таких цепях также являются линейными, т.к. напряжение и ток в каждом элементе связаны линейными уравнениями – алгебраическим или дифференциальным первого порядка.

Для активных элементов электрических цепей, условием линейности идеального источника напряжения является независимость величины ЭДС от тока, проходящего через источник. Условием линейности идеального источника тока является независимость тока от напряжения на его зажимах.

В действительности реальные элементы электрических цепей не являются линейными. Например, при прохождении тока через цепь,

содержащую сопротивление, выделяются тепло. Сопротивление нагревается и его величина изменяется.

Рассмотрим основные определения, относящиеся к электрической цепи.

**Ветвь** образуется одним или несколько последовательно соединенными элементами цепи (рис. 6).

**Узел** – место соединения трех или большего числа ветвей (рис. 6 –7).

Ветви, присоединенные к одной паре узлов, называют **параллельными** (рис. 7).

Любой замкнутый путь, проходящий по нескольким ветвям, называется **контуром** (рис. 6).

Замкнутый контур называется **независимым**, если он содержит хотя бы одну ветвь по сравнению с ранее рассмотренными контурами.

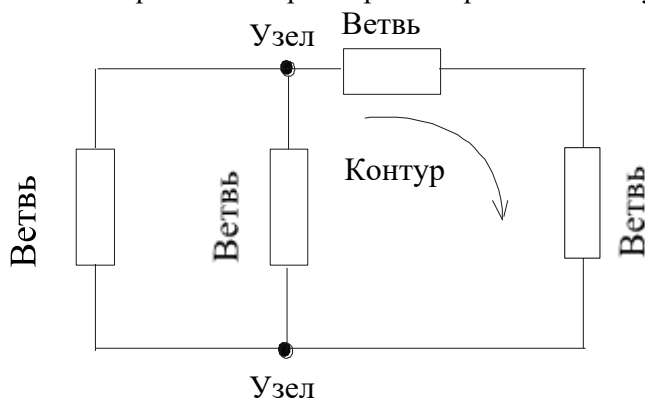


Рис. 6 . Схема электрической цепи

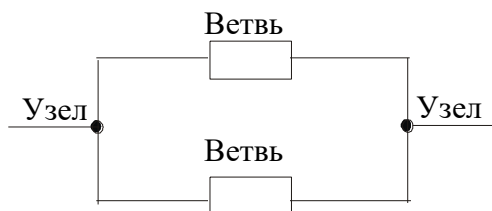


Рис. 7. Параллельное соединение ветвей

### Напряжение на участке цепи

Под напряжением на участке электрической цепи понимают разность потенциалов между крайними точками этого участка.

Рассмотрим участок цепи (рис. 8), на котором есть сопротивление  $R$  и нет ЭДС.

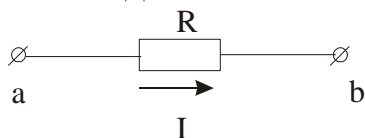


Рис. 8. Участок цепи без источника напряжения

Выберем положительное направление тока (указано стрелкой на рис. 8). Ток течет от более высокого потенциала к более низкому. Поэтому, потенциал точки  $a$  ( $\varphi_a$ ) выше потенциала точки  $b$  ( $\varphi_b$ ) на величину, равную произведению  $I$  на сопротивление  $R$

$$\varphi_a = \varphi_b + IR.$$

Напряжение между точками  $a$  и  $b$  :

$$U_{ab} = \varphi_a - \varphi_b = IR.$$

Рассмотрим участок цепи (рис. 9), на котором имеется не только сопротивление, но и источник напряжения.

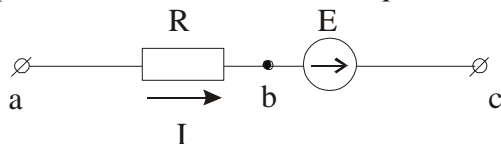


Рис. 9. Участок цепи с источником напряжения По определению напряжения имеем:  $U_{ac} = \varphi_a - \varphi_c$ .

При переходе от точки  $c$  к точке  $b$  ЭДС источника напряжения направлена встречно, поэтому потенциал точки  $b$  меньше, чем потенциал точки  $c$ , на величину ЭДС:

$$\varphi_a = \varphi_c - E$$

Ток течет от более высокого потенциала к более низкому. Поэтому потенциал точки  $a$  выше, чем потенциал точки  $b$  на величину падения напряжения в сопротивлении  $R$ .

$$\varphi_a = \varphi_b - IR$$

В итоге имеем:

$$\varphi_a = \varphi_c - E + IR, \quad u_{ac} = \varphi_a - \varphi_c = IR - E.$$

Если для рис. 9 находить  $u_{ca}$ , то получим:



$$u_{ca} = \varphi_c - \varphi_a = -u_{ac}.$$

Изменения чередования индексов равносильно изменению знака этого напряжения.

### **Закон Ома для участка цепи**

**Закон Ома** устанавливает связь между током и напряжением на некотором участке цепи. Например, для рис. 8 можно записать:

$$u_{ab} = IR$$

или

$$I = \frac{u_{ab}}{R} = \frac{\varphi_a - \varphi_b}{R}.$$

Для участка цепи, изображенного на рис. 9 ток определяется по формуле:

$$I = \frac{\varphi_a - \varphi_c + E}{R} = \frac{u_{ac} + E}{R}.$$

### **Законы Кирхгофа**

Все электрические цепи подчиняются первому и второму закону Кирхгофа.

**Первый закон Кирхгофа.** Алгебраическая сумма токов в узле равна нулю:

$$\sum_i I_i = 0.$$

Знаки токов берутся с учетом выбранных положительных направлений токов. Всем токам, направляемым к узлу, присваивается одинаковый знак, и все токи, направленные от узла учитываются с противоположным знаком.

Например, для рис. 10 по первому закону Кирхгофа получим:

$$I_1 - I_2 - I_3 - I_4 = 0.$$

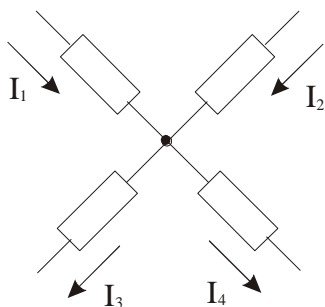


Рис. 10. Пример к первому закону Кирхгофа

Физически первый закон Кирхгофа означает, что движение зарядов в цепи происходит так, что ни в одном из узлов они не скапливаются.

**Второй закон Кирхгофа.** Алгебраическая сумма ЭДС в любом контуре цепи равна алгебраической сумме падений напряжения на элементах этого контура:

$$\sum IR = \sum E.$$

Обход контура совершается в произвольно выбранном направлении. При этом слагаемые входят со знаком плюс, если они совпадают с направлением обхода контура, и со знаком минус, если они не совпадают с ним.

Например, для рис. 11, согласно второму закону Кирхгофа получим:

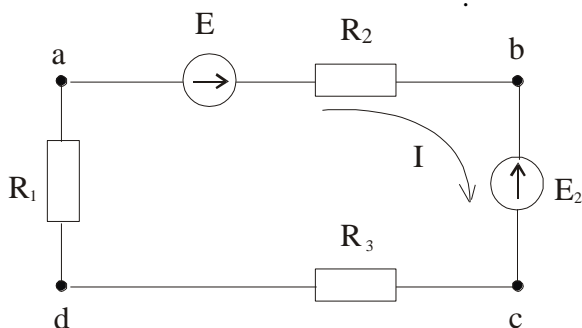


Рис. 11. Пример ко второму закону Кирхгофа

Если на схеме (рис. 11) нанести точки  $a, b, c, d$ , то полученное уравнение можно записать в другом виде:

$$U_{ab} + U_{bc} + U_{cd} + U_{da} = 0.$$

В этом случае второй закон Кирхгофа можно сформулировать следующим образом: алгебраическая сумма напряжений вдоль любого замкнутого контура равна нулю.

Законы Кирхгофа используются для нахождения токов в ветвях схемы. Порядок анализа электрических цепей с помощью законов Кирхгофа следующий:

- 1) произвольно выбирается направление токов во всех ветвях;
- 2) для  $(k-1)$  узла, где  $k$  – число узлов, составляется уравнение по [первому закону Кирхгофа](#);
- 3) выбираются независимые контура (их число  $n-k+1$ , где  $n$  – число ветвей) и произвольно устанавливаются в них направление обходов;
- 4) для каждого независимого контура составляется уравнение по [второму закону Кирхгофа](#);
- 5) решается система  $n$  – уравнений с  $n$  – неизвестными, составленных по пунктам 2 и 4;
- 6) появление отрицательных результатов, для каких – либо токов означает, что их истинное направление противоположно выбранному.

**Пример.** Найти токи в ветвях схемы рис. 12, при следующих исходных данных:

$$E_1 = 15B, E_2 = 30B, R_1 = R_3 = R_5 = 20 \text{ Ом}, R_2 = R_4 = 10 \text{ Ом}.$$

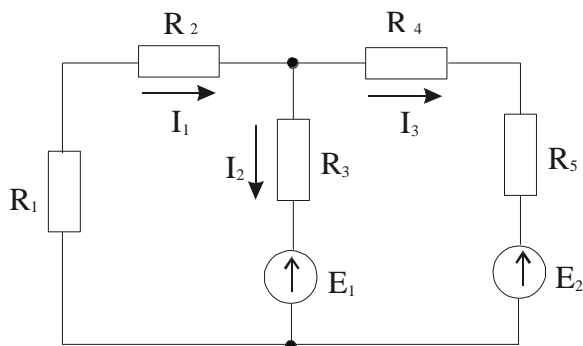


Рис. 12. Схема электрической цепи

**Решение:**

Следуя порядку анализа электрических цепей, произвольно выберем направления токов во всех ветвях. В схеме два узла, поэтому по [первому закону Кирхгофа](#) можно составить одно уравнение:

$$I_1 = I_2 + I_3.$$

Количество независимых контуров в данной схеме равно 2. Направления обхода контуров выбираем по часовой стрелке. Для контура  $R_1 R_2 R_3 E_1$  по второму закону Кирхгофа получим:

$$R_1 I_1 + R_2 I_1 + R_3 I_2 = -E_1.$$

Для контура:  $E_1 R_3 R_4 R_5 E_2$

$$R_4 I_3 + R_5 I_3 - R_3 I_2 = -E_2 + E_1.$$

Совместное решение трех уравнений дает результат:  $I_1 = -0,5 \text{ A}$ ,  $I_2 = 0 \text{ A}$ ,  $I_3 = -0,5 \text{ A}$ .

Отрицательные значения токов  $I_1$  и  $I_3$  говорит о том, что выбранные направления этих токов не совпадают с истинными направлениями. В действительности токи  $I_1$  и  $I_3$  текут в обратном направлении.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

На выполнение лабораторной работы отводится 4 академических часов: 3 часов на выполнение и сдачу лабораторной работы и 1 час на подготовку отчета.

Порядок выполнения:

1. Изучить краткий теоретический материал.
2. Собрать схему электрической цепи и определить значения токов в ветвях схемы.
3. Составить уравнения для заданной электрической цепи и вычислить значения токов в ветвях схемы.
4. Оформить отчет.
5. Защитить выполненную работу у преподавателя.

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Для электрической цепи (рис.22) найдем токи в ветвях.

1) Для того чтобы в программе Micro-Cap установить обозначение элементов европейского типа необходимо задать соответствующие настройки через пункт *Default Properties For New Circuits...* на вкладке главного меню *Options* (рис. 13).

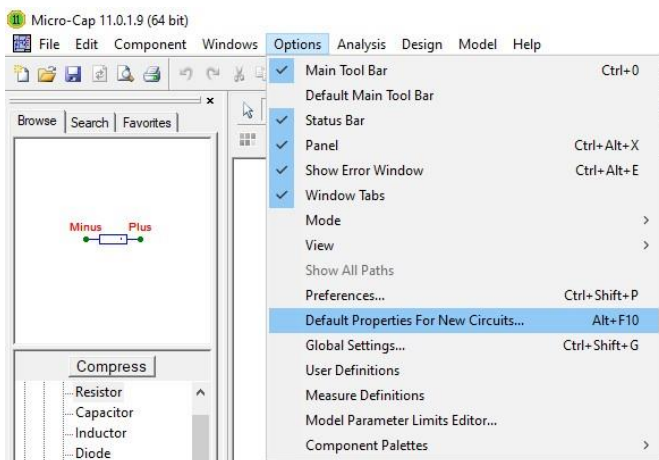


Рис. 13. Настройка отображения элементов схемы

В открывшемся окне нужно развернуть пункт *Schematics* и выбрать пункт *View*. Далее в списке *Shape Group Priority* переместить значение *Euro* в начало (рис. 14).

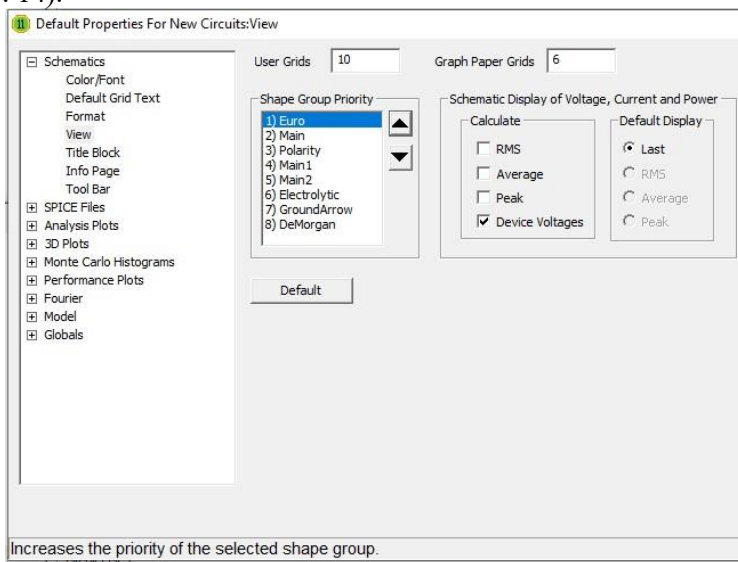


Рис. 14. Настройка отображения элементов схемы

При моделировании электрической схемы необходимо воспользоваться источниками ЭДС *Voltage Source* из раздела *Component – Analog Primitives – Waveform Sources* (рис. 15):

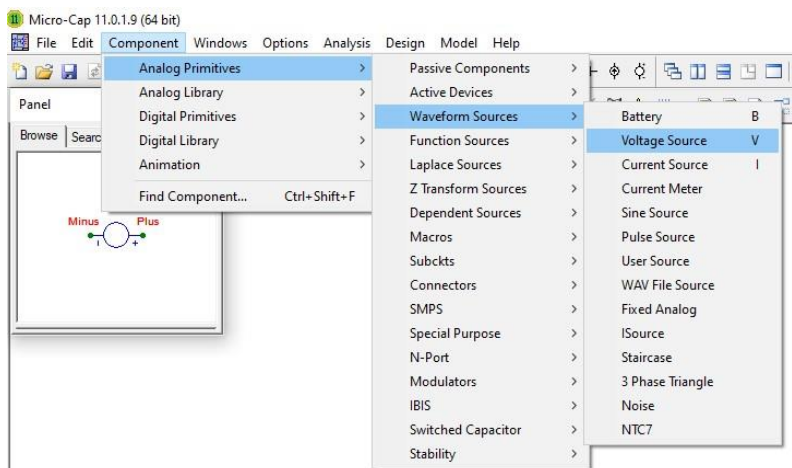


Рис. 15. Источник ЭДС в Micro-Cap

Также необходимо выбрать резисторы *Resistor* из раздела *Analog Primitives – Passive Components* (рис. 16):

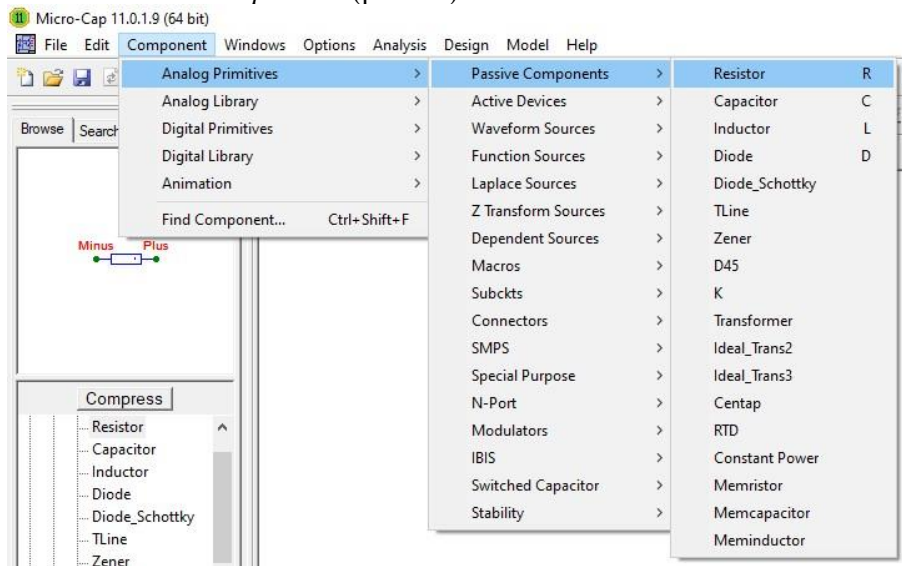


Рис. 16. Резистор в Micro-Cap

Для измерения, например, силы тока можно воспользоваться амперметром *Animated Meter* из раздела *Component – Animation* (рис. 17).

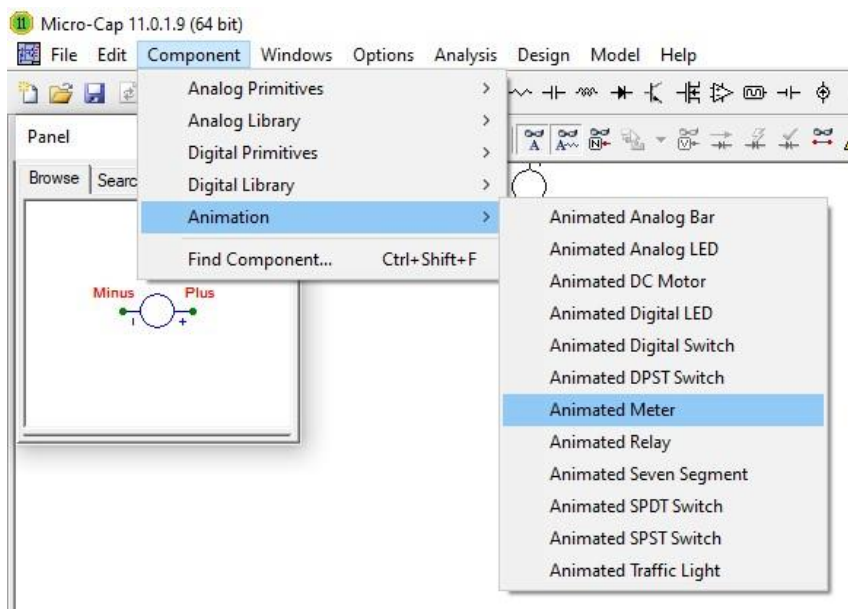


Рис.17. Амперметр в Micro-Cap

Также необходимо в свойствах данного элемента установить соответствующее значение *Amps* (рис. 18):

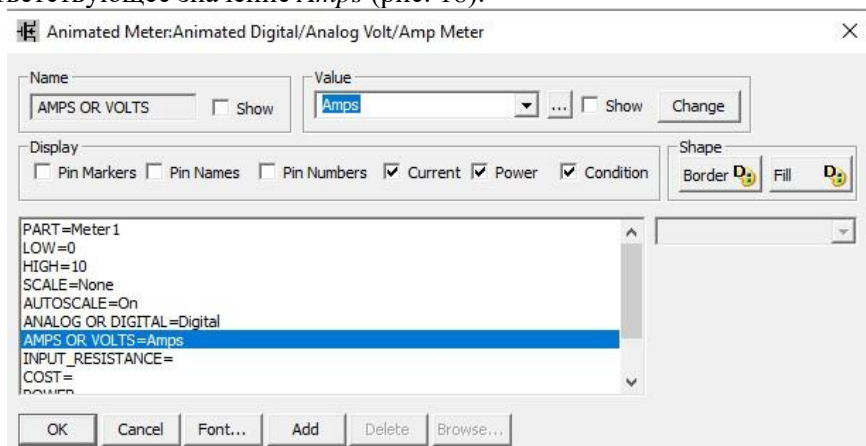


Рис. 18. Настройка компонента для измерения силы тока

Или настроить отображение силы тока в ветвях схемы, выбрав пункт *Currents* на панели инструментов (рис. 19):

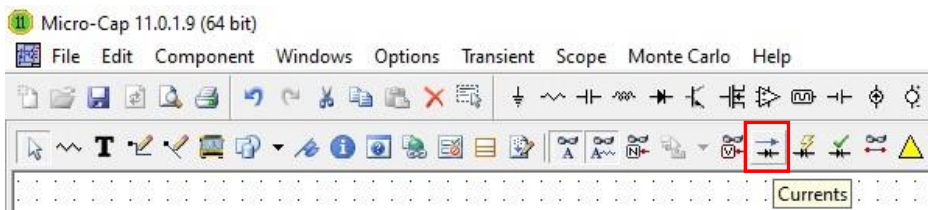


Рис. 19. Настройка отображения силы тока на схеме

Для каждого источника ЭДС задается значение напряжения (рис. 20):

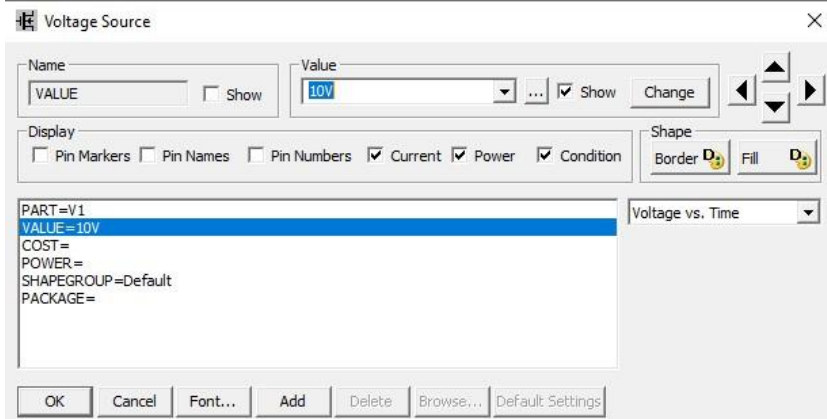


Рис. 20. Характеристики источника постоянного напряжения

Для каждого резистора задается сопротивление (рис. 21):

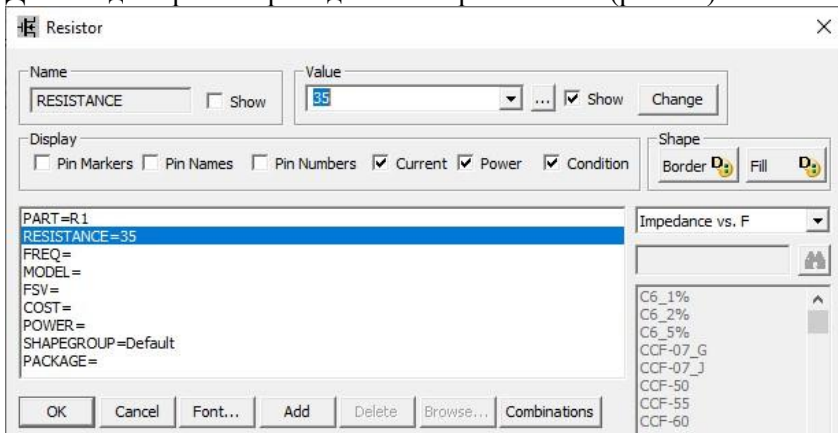


Рис. 21. Характеристики резистора

Каждый элемент электрической цепи должен быть обозначен соответствующей меткой.



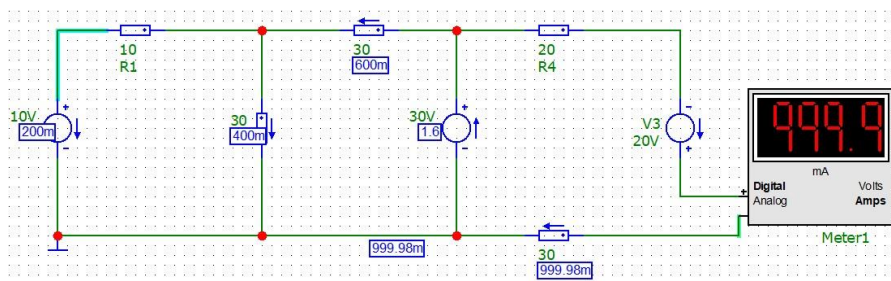


Рис. 22. Схема электрической цепи

В результате измерений получим:  $I_1 = 0,2 \text{ A}$  ,  $I_2 = -0,4 \text{ A}$  ,  $I_3 = -0,6 \text{ A}$  ,  $I_4 = 1,6 \text{ A}$  ,  $I_5 = -1 \text{ A}$ .

2) В схеме три узла ( $k = 3$ ) и пять ветвей ( $n = 5$ ). По [первому закону Кирхгофа](#) составим два уравнения, по [второму закону Кирхгофа](#) – три уравнения:

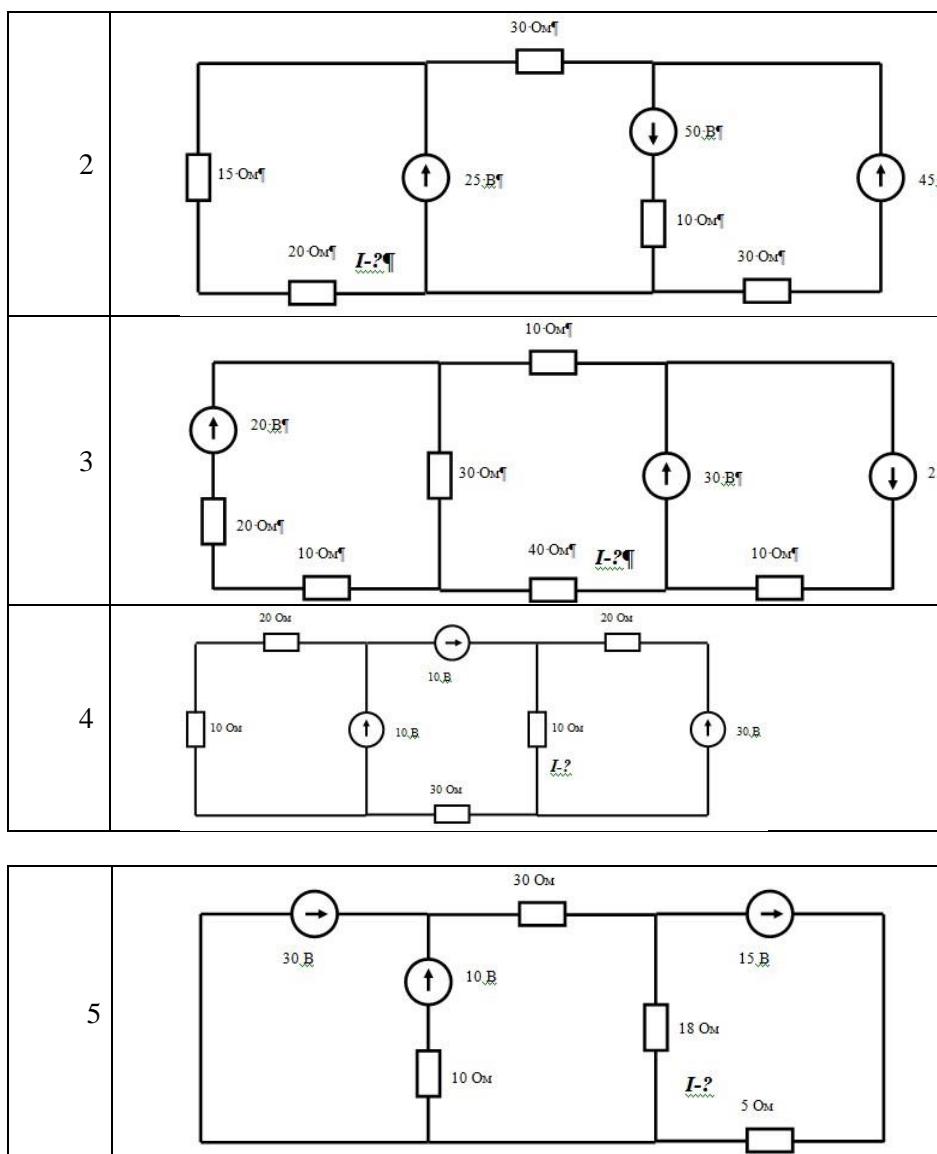
$$\begin{cases} I_2 = I_1 + I_3 \\ I_3 + I_5 = I_4 \\ -R_1 I_1 - R_2 I_2 = E_1 \\ R_2 I_2 + R_3 I_3 = -E_2 \\ -R_4 I_5 - R_5 I_5 = E_2 + E_3 \end{cases}$$

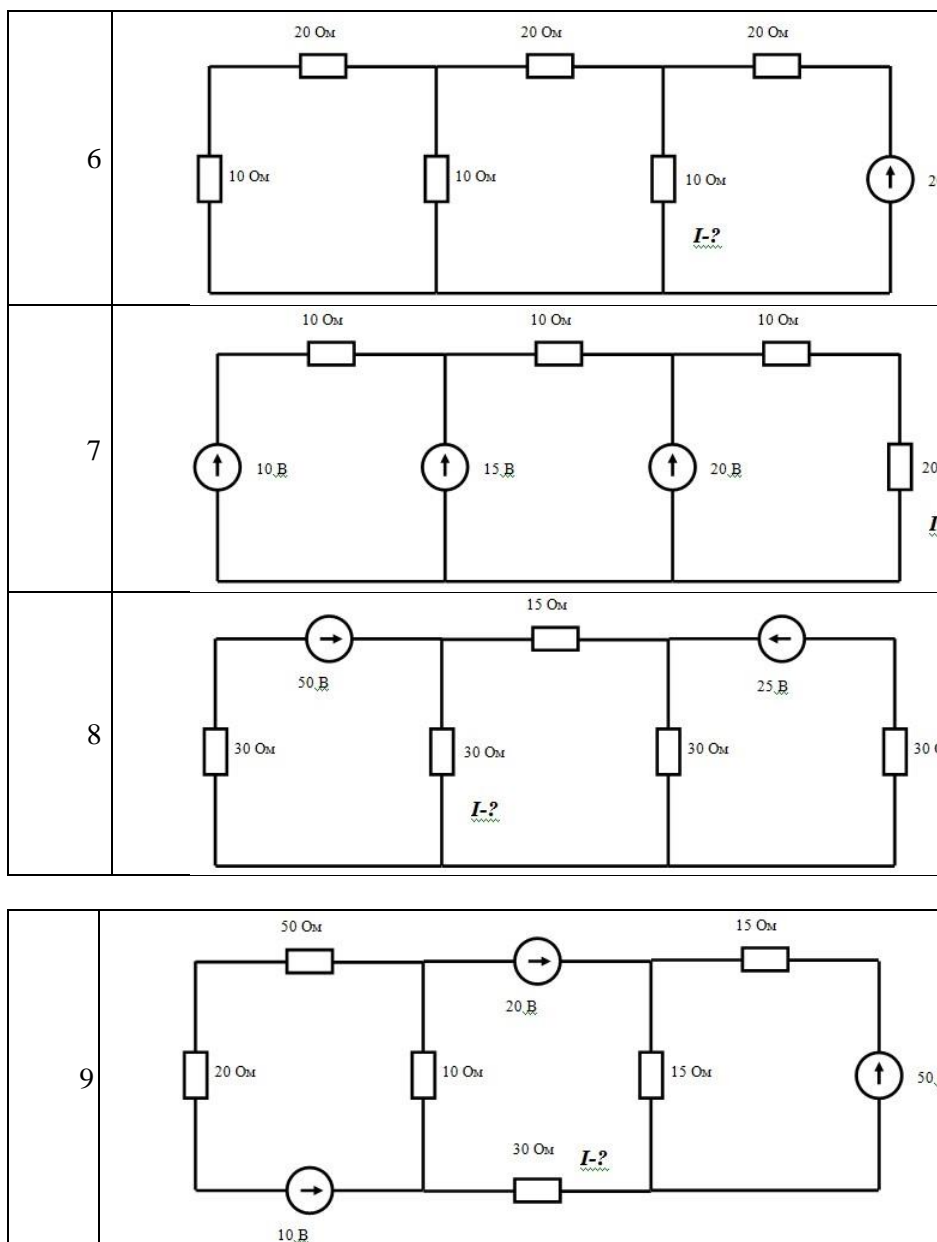
Совместное решение трех уравнений дает результат:  $I_1 = 0,2 \text{ A}$  ,

$I_2 = -0,4 \text{ A}$  ,  $I_3 = -0,6 \text{ A}$  ,  $I_4 = -1,6 \text{ A}$  ,  $I_5 = -1 \text{ A}$  . [Отрицательные значения токов](#) говорит о том, что выбранные направления токов не совпадают с истинными направлениями.

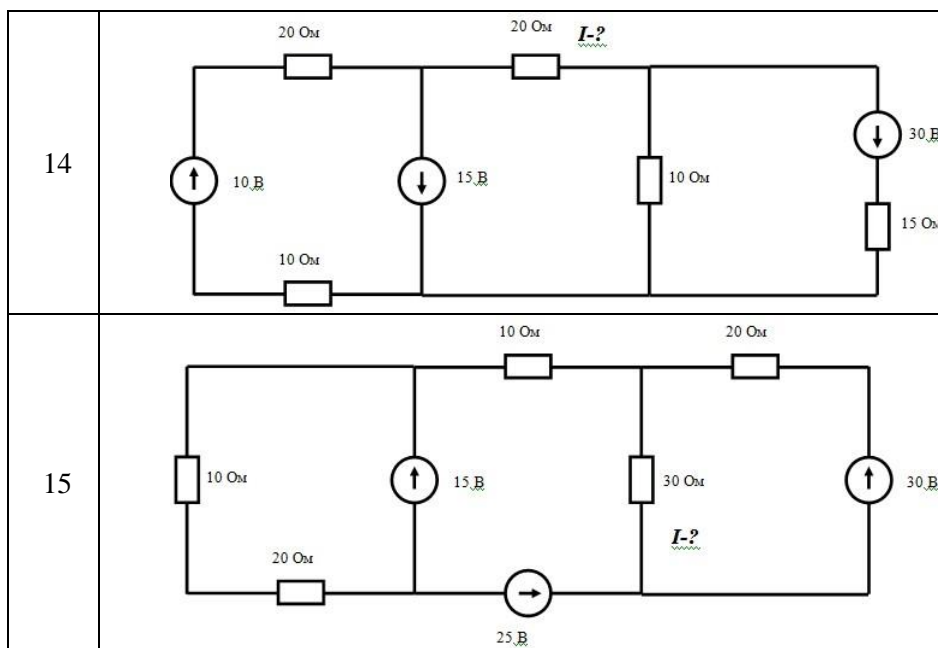
## ВАРИАНТЫ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЗАДАНИЙ

№	Исследуемая электрическая схема
1	





10	
11	
12	
13	



## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. В чем отличия между источниками и приемниками электрической энергии?
2. На какие группы делятся элементы электрических цепей?
3. Какие элементы электрических цепей относятся к пассивным?
4. Приведите формулы для определения тока, проходящего через пассивные элементы.
5. Что понимается под ЭДС источника?
6. Дайте определение линейной электрической цепи.
7. Сформулируйте закон Ома для участка цепи.
8. В чем заключаются законы Кирхгофа, и каковы цели их использования?
9. Для схемы (рис. 12), определите токи в ветвях при следующих исходных данных:  $E_1 = 10V$ ,  $E_2 = 30V$ ,  $R_1 = R_3 = 20 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = R_4 = R_5 = 20 \text{ Ом}$ .

## ФОРМА ОТЧЕТА ПО ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЕ

Номер варианта студенту выдается преподавателем. Отчет на защиту предоставляется в печатном виде.

Структура отчета (на отдельном листе(-ах)):

- титульный лист;
  - цели и задачи работы;
  - формулировка задания (вариант);
  - схема электрической цепи и значения токов, полученные по показаниям приборов;
  - уравнения для заданной электрической цепи и результаты их решения;
  - выводы.
- ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов, И.И. Электротехника и основы электроники / И.И. Иванов, Г.И. Соловьев, В.Я. Фролов – СПб.:Изд-во «Лань», 2012. – 736 с.
2. Марченко, А.Л. Основы электроники: учебное пособие / А.Л. Марченко. – М.: ДМК Пресс, 2016. – 296 с.
3. Судоплатов, С.В. Дискретная математика: учебник / С.В. Судоплатов, Е.В. Овчинникова. - 4-е изд. - Новосибирск : НГТУ, 2012. - 278 с. [Электронный ресурс]. - URL:<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=135675>.
4. Новиков, Ю.В. Введение в цифровую схемотехнику / Ю.В. Новиков. – М.: Интернет-Университет Информационных Технологий (ИНТУИТ), 2016.– 392 с. [Электронный ресурс] – URL: <http://www.iprbookshop.ru/52187.html> – ЭБС «IPRbooks».

### ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

5. Аристов, А.В. Физические основы электроники. Сборник задач и примеры их решения : учебно-методическое пособие / А.В. Аристов, В.П. Петрович ; Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», Министерство образования и науки Российской Федерации. - Томск : Издательство Томского политехнического университета, 2015. - 100 с. [Электронный ресурс]. - URL:<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=442087>.
6. Федоров, С.В. Электроника: учебник / С.В. Федоров, А.В. Бондарев; Министерство образования и науки Российской Федерации. - Оренбург: ОГУ, 2015. - 218 с. [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=438991>.