

**Министерство образования Иркутской области  
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение  
Иркутской области  
«Иркутский техникум транспорта и строительства»**

Методические указания  
к практическим занятиям по курсу  
ОП.03 «ЭЛЕКТРОТЕХНИКА»  
по специальности среднего профессионального образования  
**23.02.06 Техническая эксплуатация подвижного состава железных дорог**

Иркутск, 2025 г.

Настоящие методические указания составлены для практических работ, выполнение которых предусмотрено программой для обучающихся по специальности среднего профессионального образования **23.02.06 Техническая эксплуатация подвижного состава железных дорог**

Разработчик:

Новиков Владимир Валентинович, преподаватель высшей квалификационной категории

Рассмотрено и одобрено на заседании

ДЦК

Протокол № 9 от 26.05.2025 г.

## **Инструкция по правилам безопасности труда для учащихся**

1. Будьте внимательны и дисциплинированы, точно выполняйте указания преподавателя.
2. Не приступайте к выполнению работы без разрешения преподавателя.
3. Размещайте приборы, материалы, оборудование на своем рабочем месте таким образом, чтобы исключить их падение или опрокидывание.
4. Перед выполнением работы внимательно изучите ее содержание и ход выполнения.
5. При проведении опытов не допускайте предельных нагрузок измерительных приборов. При работе с приборами из стекла соблюдайте особую осторожность.
6. Следите за исправностью всех креплений в приборах и приспособлениях. Не прикасайтесь и не наклоняйтесь (особенно с неубранными волосами) к вращающимся частям машин.
7. При сборке экспериментальных установок используйте провода (с наконечниками и предохранительными чехлами) с прочной изоляцией без видимых повреждений.
8. При сборке электрической цепи избегайте пересечения проводов. Запрещается пользоваться проводником с изношенной изоляцией и выключателем открытого типа (при напряжении выше 42 В).
9. Источник тока к электрической цепи подключайте в последнюю очередь. Собранную цепь включайте только после проверки и с разрешения учителя. Наличие напряжения в цепи можно проверять только с помощью приборов или указателей напряжения.
10. Не прикасайтесь к находящимся под напряжением элементам цепей, лишенным изоляции. Не производите переключения в цепях и смену предохранителей до отключения источника электропитания.
11. Следите за тем, чтобы во время работы случайно не коснуться вращающихся частей электрических машин. Не производите переключения в электрических цепях машин до полной остановки якоря или ротора машины.

## **Оценка практических работ**

**Оценка «5»** ставится в том случае, если учащийся:

- а) выполнил работу в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов и измерений;
- б) самостоятельно и рационально выбрал и подготовил для опыта необходимое оборудование, все опыты провел в условиях и режимах, обеспечивающих получение результатов и выводов с наибольшей точностью;
- в) в представленном отчете правильно и аккуратно выполнил все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления и сделал выводы;
- г) правильно выполнил анализ погрешностей;
- д) соблюдал требования безопасности труда.

**Оценка «4»** ставится в том случае, если выполнены требования к оценке «5», но:

- а) опыт проводился в условиях, не обеспечивающих достаточной точности измерения,
- б) или было допущено два-три недочета, или не более одной негрубой ошибки и одного недочета.

**Оценка «3»** ставится, если работа выполнена не полностью, но объем выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы, или если в ходе проведения опыта и измерений были допущены следующие ошибки:

- а) опыт проводился в нерациональных условиях, что привело к получению результатов с большей погрешностью,
- б), или в отчете были допущены в общей сложности не более двух ошибок (в записях

единиц, измерениях, в вычислениях, графиках, таблицах, схемах, анализе погрешностей и т. д.), не принципиального для данной работы характера, но повлиявших на результат выполнения,

в) или не выполнен совсем или выполнен неверно анализ погрешностей (VIII—X класс);

г) или работа выполнена не полностью, однако объем выполненной части таков, что позволяет получить правильные результаты и выводы по основным, принципиально важным задачам работы.

**Оценка «2»** ставится в том случае, если:

а) работа выполнена не полностью, и объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов,

б) или опыты, измерения, вычисления, наблюдения производились неправильно,

в) или в ходе работы и в отчете обнаружилось в совокупности все недостатки, отмеченные в требованиях к оценке «3».

## **Перечень практических занятий**

**Практическое занятие № 1.** Соединение проводников: последовательное, параллельное, смешанное.

**Практическое занятие № 2** Расчет электрических цепей различными методами.

**Практическое занятие № 3** Последовательное и параллельное соединение источников постоянного тока. Определение общего ЭДС соединения

**Практическое занятие № 4** Расчет сложных электрических цепей методами законов Кирхгофа и узлового напряжения. Эквивалентное сопротивление цепи

**Практическое занятие № 5** Определение электрических параметров электрической цепи постоянного тока

**Практическое занятие № 6** Расчет магнитных цепей. Основные расчетные уравнения для магнитной цепи (участка, узла, контура) Расчет неразветвленной однородной и неоднородной магнитных цепей

**Практическое занятие № 7** Построение векторных диаграмм последовательного и параллельного соединения элементов. Полное электрическое сопротивление.

**Практическое занятие № 8** Классификация электрических сопротивлений Измерение средних электрических сопротивлений косвенным методом Измерение средних сопротивлений мостом и омметром Измерение больших сопротивлений мегомметром

**Практическое занятие № 9** Измерение мощности в цепи постоянного и переменного тока. Измерение мощности в цепях трехфазного тока. Измерение энергии в цепях переменного тока. Счетчики электрической энергии

**Практическое занятие № 10** Энергетические системы, Электростанции, Электросети. Распределение электрической энергии между потребителями

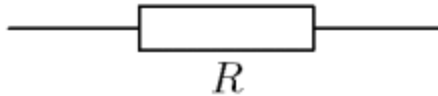
## Практическое занятие № 1. Соединение проводников: последовательное, параллельное, смешанное.

### 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Есть два основных способа соединения проводников друг с другом — это последовательное и параллельное соединения.

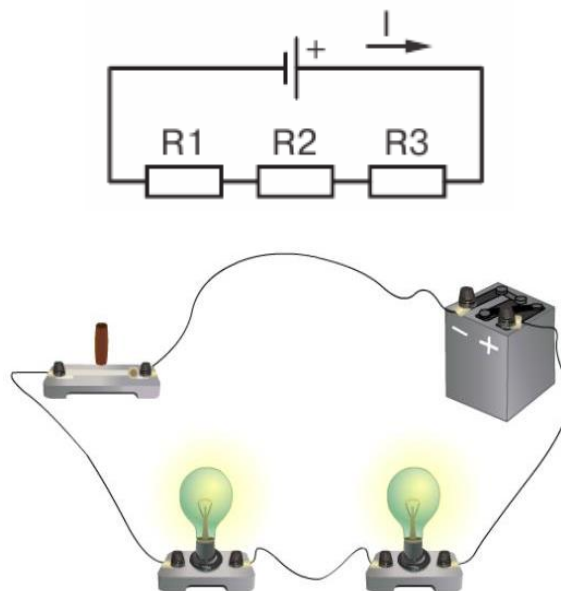
Различные комбинации последовательного и параллельного соединений называют смешанным соединением проводников.

Проводник, обладающий сопротивлением  $R$ , называется резистором, графически изображается следующим образом



### Последовательное соединение проводников

Возьмем три постоянных сопротивления  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  и включим их в цепь так, чтобы конец первого сопротивления  $R_1$  был соединен с началом второго сопротивления  $R_2$ , конец второго — с началом третьего  $R_3$ , а к началу первого сопротивления и к концу третьего подведем проводники от источника тока:



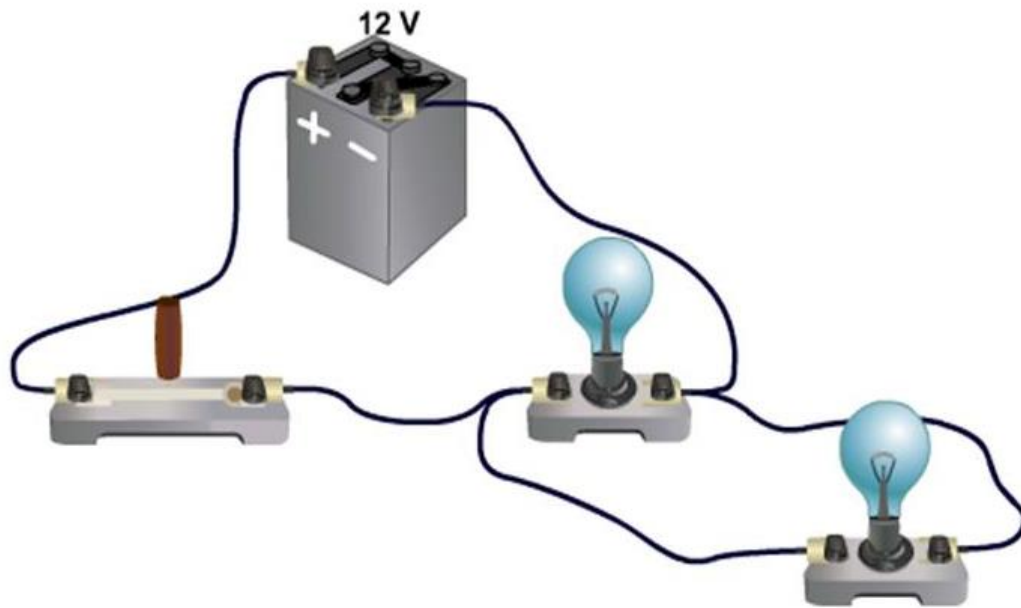
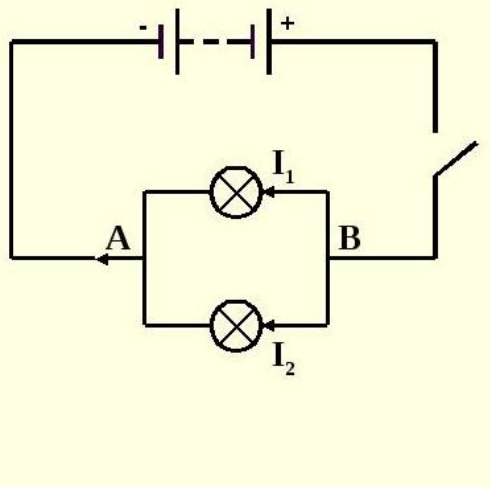
Такое соединение сопротивлений называется последовательным. Очевидно, что ток в такой цепи будет во всех ее точках один и тот же.  $I_1=I_2=I_3=...=I_n$

### Основные свойства последовательного соединения :

1. При последовательном соединении проводников сила тока в них одинакова.
2. Напряжение на участке, состоящем из последовательно соединённых проводников, равно сумме напряжений на каждом проводнике:  $U=U_1+U_2+...+U_n$ .
3. Сопротивление участка, состоящего из последовательно соединённых проводников, равно сумме сопротивлений каждого проводника.  $R=R_1+R_2+...+R_n$

## Параллельное соединение проводников

Возьмем два постоянных сопротивления  $R_1$  и  $R_2$  и соединим их так, чтобы начала этих сопротивлений были включены в одну общую точку А, а концы — в другую общую точку В. Соединив затем точки А и В с источником тока, получим замкнутую электрическую цепь. Такое соединение сопротивлений называется параллельным соединением.



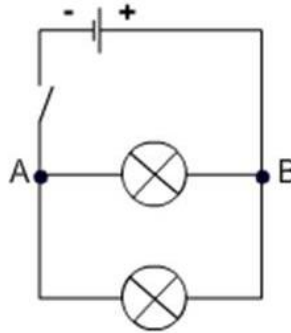
### Основные свойства параллельного соединения:

1. Напряжение на каждой ветви одинаково и равно напряжению на неразветвлённой части цепи. Неразветвленная электрическая цепь — это участок электрической цепи (ветвь), в котором ток имеет одинаковое значение по всей длине:  $U_1=U_2=U_3=...=U_n$
2. Сила тока в неразветвлённой части цепи равна сумме сил токов в каждой ветви:  
 $I=I_1+I_2+...+I_n$
3. Величина, обратная сопротивлению участка параллельного соединения, равна сумме величин, обратных сопротивлениям ветвей.

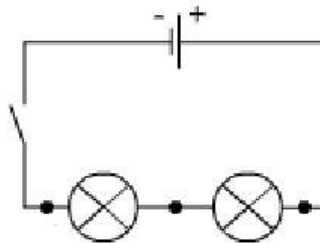
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

## 2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1. Соберите проводники параллельно, как показано на схеме:



2.2. Соберите проводники последовательно, как показано на схеме:



2.3. Визуально оцените яркость горения ламп в случае параллельного и в случае последовательного включения.

2.4. Подтвердите свои наблюдения расчетами по формулам, указанным ниже:

$U = U_1 + U_2 + \dots + U_i$	$U = U_1 = U_2 = \dots = U_i$
$I = I_1 = I_2 = \dots = I_i$	$I = I_1 + I_2 + \dots + I_i$
$R = R_1 + R_2 + \dots + R_i$	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_i}$

2.5. Расчеты и выводы запишите в рабочей тетради.

## Практическое занятие № 2 Расчет электрических цепей различными методами.

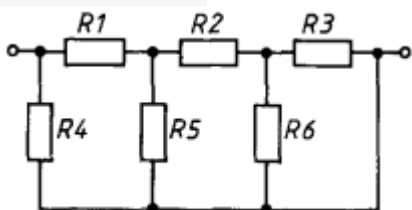
### 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Универсального метода преобразования электрических цепей нет.

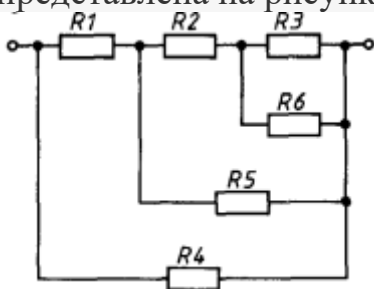
**Метод простейших эквивалентных преобразований.** Простейшие примеры преобразования цепи — это 1) замена двух последовательно соединённых сопротивлений  $r_1$  и  $r_2$  одним сопротивлением  $r_1 + r_2$ ; 2) замена двух параллельно соединённых сопротивлений  $r_1$  и  $r_2$  одним сопротивлением  $r_1 \cdot r_2 / (r_1 + r_2)$ . Эти две замены лежат в основе данного метода.

При решении задач в первую очередь необходимо установить, какие проводники соединены между собой последовательно, какие параллельно. Отдельные участки схемы с параллельно или последовательно соединёнными резисторами заменяются одним эквивалентным резистором. Постепенным преобразованием участков схему упрощают и приводят к простейшей схеме, состоящей из одного резистора. При этом используются свойства последовательно и параллельно соединённых проводников.

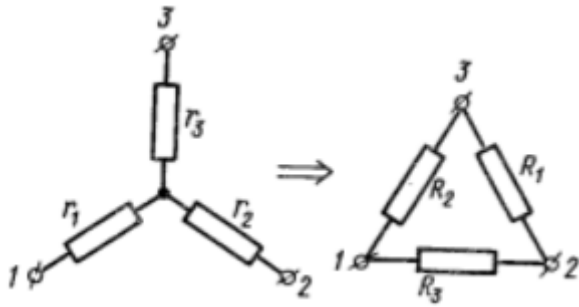
**Задача 1.** Найти общее сопротивление цепи.  $R_1 = R_2 = 4 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = 8 \text{ Ом}$ .



**Решение:** В этой задаче часто неправильно определяют, какие сопротивления включены последовательно, а какие параллельно. Эквивалентная схема представлена на рисунке. Расчет по формулам дает ответ 4 Ом.



**Метод замены «треугольника» на «звезду».** Данный метод позволяет быстро рассчитать сопротивления участков цепи в том случае, когда не удастся установить симметричного распределения токов.

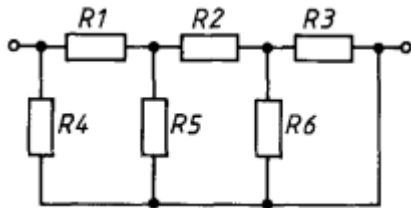


Если в схеме к некоторым узлам подключены сопротивления  $R_1, R_2, R_3$  в виде «треугольника», то его можно заменить на элемент «звезда» с сопротивлениями  $r_1, r_2, r_3$ , которые рассчитываются по формулам

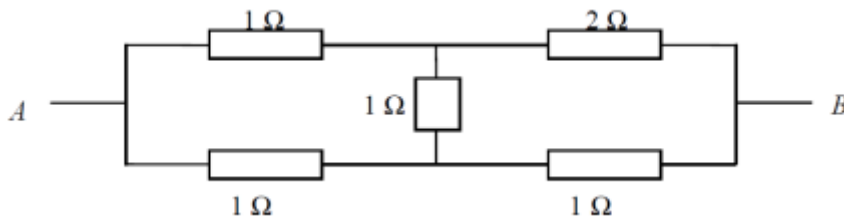
$$r_1 = \frac{R_2 R_3}{R_1 + R_2 + R_3}, r_2 = \frac{R_3 R_1}{R_1 + R_2 + R_3}, r_3 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2 + R_3}.$$

## 2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Задача 1. Найти общее сопротивление цепи.  $R_1 = R_2 = 10 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = 20 \text{ Ом}$ .



Задача 2. В схеме, изображенной на рисунке, определить сопротивление между точками А и В.



## Практическое занятие № 3 Последовательное и параллельное соединение источников постоянного тока. Определение общего ЭДС соединения

### 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

При последовательном соединении источников общая ЭДС равна алгебраической сумме ЭДС отдельных источников, общее внутреннее сопротивление равно сумме внутренних сопротивлений отдельных источников. Для определения знака ЭДС каждого источника

нужно выбрать положительное направление движения на участке с этим источником. ЭДС источника берётся со знаком «+», если направление действия ЭДС совпадает с выбранным направлением. В противном случае ставится знак «-».

При параллельном соединении источников с одинаковыми ЭДС и возможно различными внутренними сопротивлениями общая ЭДС (ЭДС батареи) равна ЭДС одного источника. Внутреннее сопротивление батареи рассчитывается как при параллельном соединении проводников с сопротивлениями, равными внутренним сопротивлениям источников. При параллельном соединении источников с различными ЭДС выражение для ЭДС батареи усложняется и здесь не приводится.

## 2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Задача 17.1

В схеме на рис. 17.1  $\mathcal{E}_1 = 12$  В,  $\mathcal{E}_2 = 3$  В,  $r_1 = 1$  Ом,  $r_2 = 2$  Ом,  $R = 6$  Ом.

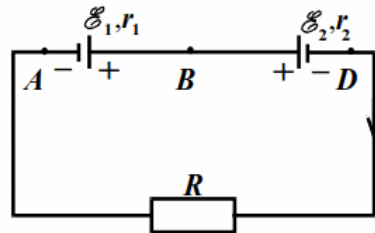


Рис. 17.1

Найти напряжения на зажимах источников, т. е. разность потенциалов  $\varphi_A - \varphi_B$  и  $\varphi_B - \varphi_D$ .

#### РЕШЕНИЕ

ЭДС батареи последовательно соединённых источников:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 = 9 \text{ В.}$$

Причём, полярность батареи совпадает с полярностью источника  $\mathcal{E}_1$  т. к.  $\mathcal{E}_1 > \mathcal{E}_2$ .

Ток по закону Ома для замкнутой цепи  $I = \mathcal{E} / (R + r_1 + r_2) = 1$  А. По закону Ома для участков цепи  $AB$  и  $BD$ :

$$\varphi_A - \varphi_B + \mathcal{E}_1 = I r_1, \quad \varphi_B - \varphi_D - \mathcal{E}_2 = I r_2.$$

Отсюда  $\varphi_A - \varphi_B = I r_1 - \mathcal{E}_1 = -11$  В,  $\varphi_B - \varphi_D = I r_2 + \mathcal{E}_2 = 5$  В.

Найти ток через резистор с сопротивлением  $R$  в схеме на рис. 17.2.

РЕШЕНИЕ

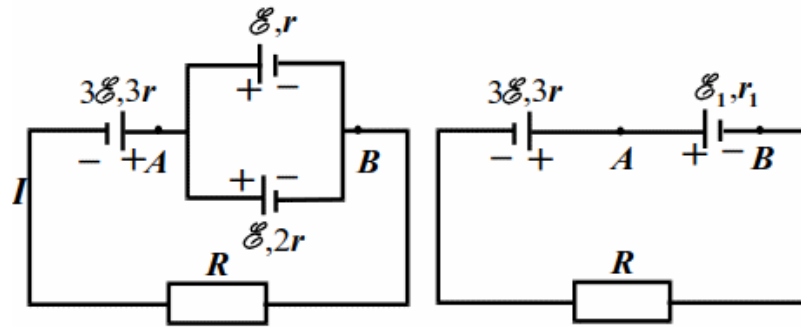


Рис. 17.2

Рис. 17.3

Между точками  $A$  и  $B$  имеем параллельное соединение источников. На рис. 17.3 показана эквивалентная схема, для которой  $\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}$ ,  $r_1 = r \cdot 2r / (r + 2r) = 2r/3$ . Общая ЭДС и внутреннее сопротивление последовательно соединённых источников с ЭДС  $3\mathcal{E}$  и  $\mathcal{E}_1$ :

$$\mathcal{E}_0 = 3\mathcal{E} - \mathcal{E}_1 = 3\mathcal{E} - \mathcal{E} = 2\mathcal{E}.$$

$$r_0 = 3r + r_1 = 3r + 2r/3 = 11r/3.$$

$$\text{Ток } I = \frac{\mathcal{E}_0}{R + r_0} = \frac{6\mathcal{E}}{3R + 11r}.$$

#### Практическое занятие № 4 Расчет сложных электрических цепей методами законов Кирхгофа и узлового напряжения. Эквивалентное сопротивление цепи

##### 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

ЭДС источника питания равна  $E_1=5$  В, а сопротивления  $R_1=100$  Ом,  $R_2=510$  Ом,  $R_3=10$  кОм. Рассчитать напряжения на резисторах и ток через каждый резистор.

Рассмотрим алгоритм расчета сложных электрических цепей методами законов Кирхгофа.

1. Выполните схему по условию задачи
2. Обозначьте направление ЭДС источников
3. Укажите предполагаемое направление токов
4. Выберите направление обхода для всех независимых контуров
5. Запишите 1 и 2 законы Кирхгофа
6. Решите полученную систему уравнений

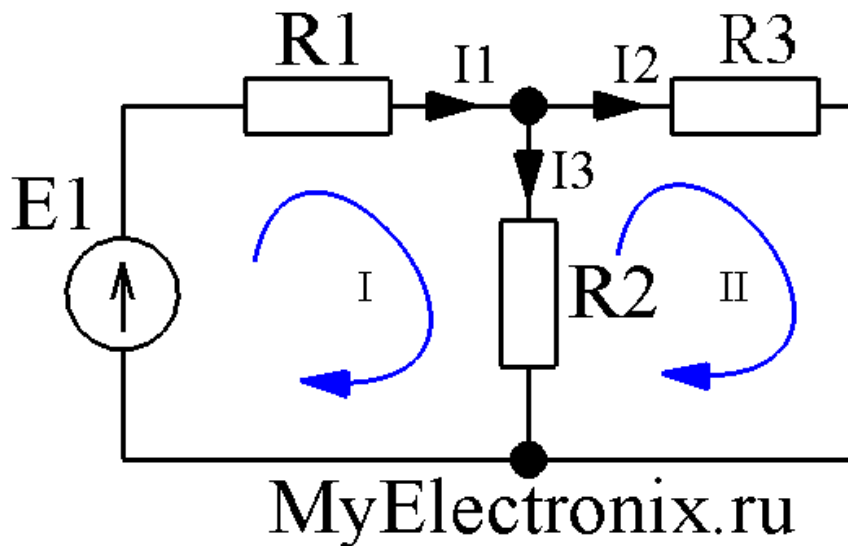


Рисунок 1 – Простая схема

В этой схеме мы можем видеть три контура.

Контуров три, независимых из них только два. Третий контур включает в себя все остальные и не может считаться независимым. При всех расчетах используются только *независимые* контуры.

Определим в каждом контуре *направление обхода* контура. Направление обхода каждого контура выполнено синей стрелкой.

Определим направление токов в ветвях: просто поставим его наугад. Не важно, угадаем мы сейчас направление или нет. Если угадали, то в конце расчета мы получим ток со знаком плюс, а если ошиблись – со знаком минус. Итак, обозначим токи в ветвях черными стрелочками с подписями  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ .

Мы видим, что в контуре №1 направление токов  $I_1$  и  $I_3$ , а также направление источника питания совпадают с направлением обхода, поэтому будем считать их со знаком плюс. В контуре №2 ток  $I_2$  совпадет с направлением обхода, поэтому будет со знаком плюс, а ток  $I_3$  направлен в другую сторону, поэтому будет со знаком минус. Запишем второй закон Кирхгофа для контура №1:

$$E_1 = I_1 \cdot R_1 + I_3 \cdot R_2$$

А теперь запишем этот же закон для контура №2:

$$0 = I_2 \cdot R_3 - I_3 \cdot R_2$$

Видим, что в контуре №2 нет источников питания, поэтому в левой части (где у нас согласно второму закону Кирхгофа стоит сумма ЭДС) у нас нолик. Итак, у нас есть два уравнения, а неизвестных-то у нас три ( $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ). А нам известно, что для нахождения *трех* неизвестных нужна система с *тремя* независимыми уравнениями. Где же взять третье недостающее уравнение? А, например, из первого закона Кирхгофа! Согласно этому закону мы можем записать:

$$I_1 = I_2 + I_3$$

У нас есть три уравнения и три неизвестных и нам остается только решить вот такую вот систему уравнений

$$I_1 \cdot R_1 + I_3 \cdot R_2 = E_1$$

$$I_2 \cdot R_3 - I_3 \cdot R_2 = 0$$

$$I_1 = I_2 + I_3$$

Подставим конкретные числа.

$$I_1 \cdot 100 + I_3 \cdot 510 = 5$$

$$I_2 \cdot 10 \cdot 10^3 - I_3 \cdot 510 = 0$$

$$I_1 = I_2 + I_3$$

Опустим процесс решения, а сразу приведем результат

$$I_1 \approx 8,54 \text{ мА}$$

$$I_2 \approx 0,415 \text{ мА}$$

$$I_3 \approx 8,13 \text{ мА}$$

Все токи получились у нас со знаком плюс. Значит, что мы верно угадали их направление.

Из условия задачи необходимо найти не только токи через резисторы, но и падение напряжения на них. Как это сделать? Например, с помощью закона Ома

$$U = I \cdot R$$

находим напряжение на каждом резисторе

$$U_{R1} = I_1 \cdot R_1 \approx 8,54 \cdot 10^{-3} \cdot 100 = 0,85 \text{ В}$$

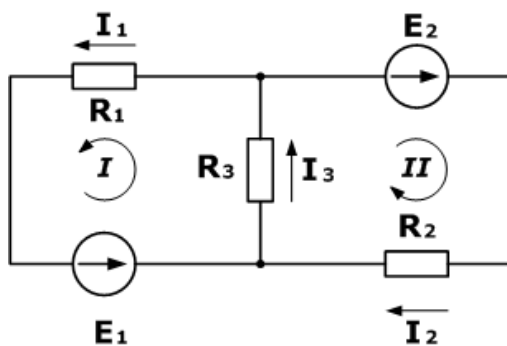
$$U_{R2} = I_3 \cdot R_2 \approx 8,13 \cdot 10^{-3} \cdot 510 = 4,15 \text{ В}$$

$$U_{R3} = I_2 \cdot R_3 \approx 0,415 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^3 = 4,15 \text{ В}$$

## 2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Решите задачу:

1. Дана схема, и известны сопротивления резисторов и ЭДС источников. Требуется найти токи в ветвях, используя законы Кирхгофа.



**Дано**

$$R_1 = 100 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 150 \text{ Ом}$$

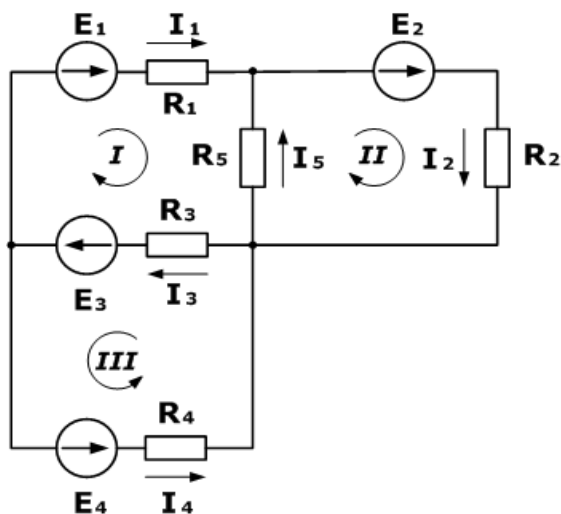
$$R_3 = 150 \text{ Ом}$$

$$E_1 = 75 \text{ В}$$

$$E_2 = 100 \text{ В}$$

$$I_1, I_2, I_3 - ?$$

2. Зная сопротивления резисторов и ЭДС трех источников найти ЭДС четвертого и токи в ветвях.



### Дано

$$R_1 = 130 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 100 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 150 \text{ Ом}$$

$$R_4 = 200 \text{ Ом}$$

$$R_5 = 80 \text{ Ом}$$

$$E_1 = 30 \text{ В}$$

$$E_2 = 60 \text{ В}$$

$$E_3 = 80 \text{ В}$$

$$I_5 = 0,206 \text{ А}$$

$$I_1, I_2, I_3, I_4 - ?$$

$$E_4 - ?$$

**Практическое занятие № 6 Расчет магнитных цепей. Основные расчетные уравнения для магнитной цепи (участка, узла, контура) Расчет неразветвленной однородной и неоднородной магнитных цепей**

### ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Магнитная цепь (МЦ) — это устройство из ферромагнитных сердечников с воздушными зазорами или без них, по которым замыкается магнитный поток. Применение ферромагнетиков имеет целью получение наименьшего магнитного сопротивления, при котором требуется наименьшая МДС для получения нужной магнитной индукции или магнитного потока.

Простейшая магнитная цепь — это сердечник кольцевой катушки. Применяются магнитные цепи неразветвленные и разветвленные, отдельные участки которых выполняются из одного или из разных материалов. Расчет магнитной цепи сводится к определению МДС по заданному магнитному потоку, размерам цепи и ее материалам. Для расчета цепь делят на участки  $l_1$ ,  $l_2$  и т. д. с одинаковым сечением по всей длине участка, т. е. с однородным

полем, определяют магнитную индукцию  $B = \frac{\Phi}{S}$  на каждом из них и по кривым намагничивания находят соответствующие напряженности магнитного поля. Магнитная цепь (МЦ) состоит из двух основных элементов: - источника магнитной энергии; - магнитопровода.

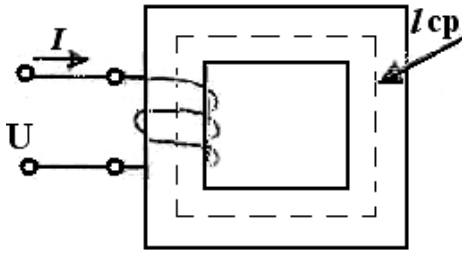
Источник магнитной энергии в реальных МЦ бывает двух видов:

- постоянный магнит; - электромагнит.

Электромагнит представляет собой катушку индуктивности, размещенную на магнитопроводе, и подключенную к источнику напряжения.

Магнитопровод по своей конструкции может быть разветвленным и неразветвленным.

На рис.1. показана неразветвленная магнитная цепь с электромагнитом.



Основные параметры МЦ:

1. МДС – магнитодвижущая сила (основной параметр источника магнитной энергии):

$F = I w$  (А), где  $I$  - ток в обмотке (А),  $w$  - число витков обмотки электромагнита.

2. Напряженность магнитного поля на любом участке МЦ.

$H = \frac{F}{l_{CP}} = w \frac{I}{l_{CP}}, (\frac{A}{M})$ .  $l_{ср}$  –длина средней линии магнитопровода (м).  $l_{ср}$  проводится на чертеже строго по середине сечения магнитопровода.

3. магнитная индукция:  $B = \mu \mu_0 H$  (Тл), где  $\mu$  - магнитная проницаемость вещества, из которого изготовлен магнитопровод.

$\mu_0$  - магнитная постоянная,  $\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7}$  Гн /м

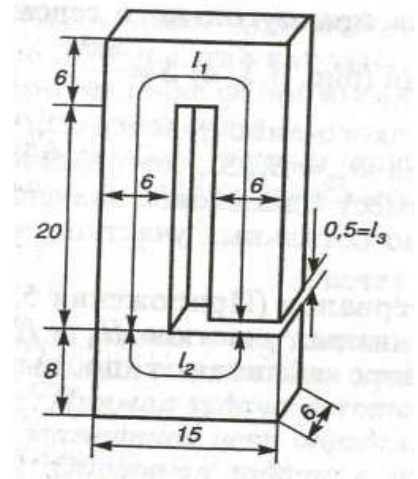
4. Магнитный поток:  $\Phi = B \cdot S$  (Вб), где  $S$  - площадь поперечного сечения магнитопровода.

## 2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

При расчете магнитной цепи может быть поставлена задача определения намагничивающей силы (н.с.) при заданном магнитном потоке или индукции - это прямая задача. Обратная задача - определить магнитный поток по намагничивающей силе.

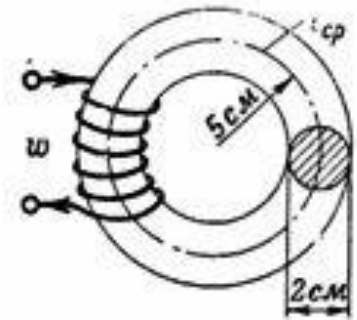
### Задача 1

Определить число витков обмотки, расположенной на сердечнике из электротехнической листовой стали, размеры которого указаны на рис. в см, если по обмотке проходит ток  $I= 5$  А, который создает в магнитной цепи магнитный поток  $\Phi=43,2 \cdot 10^{-4}$  Вб.



### Задача 2.

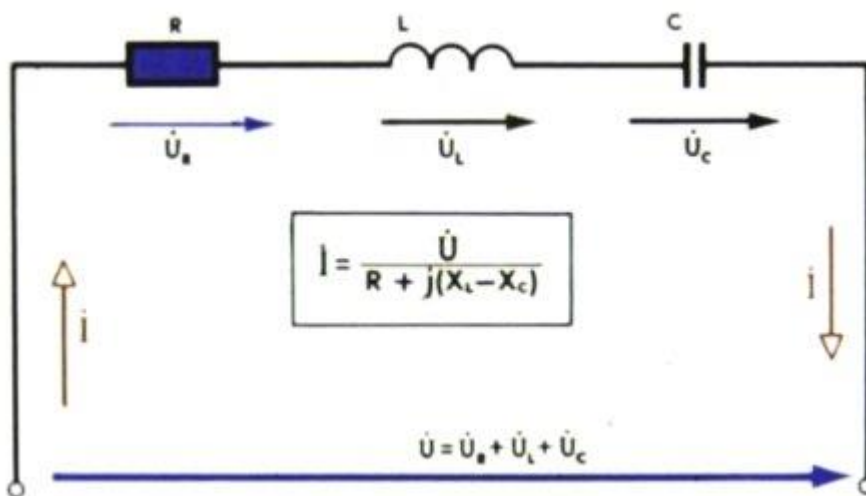
Каким должен быть намагничивающий ток  $I$  катушки, имеющей 200 витков, чтобы ее н. с. создала в чугунном кольце магнитный поток  $\Phi = 15700 \text{ Мкс} = 0,000157 \text{ Вб}$ ? Средний радиус чугунного кольца  $r = 5 \text{ см}$ , а диаметр его сечения  $d = 2 \text{ см}$



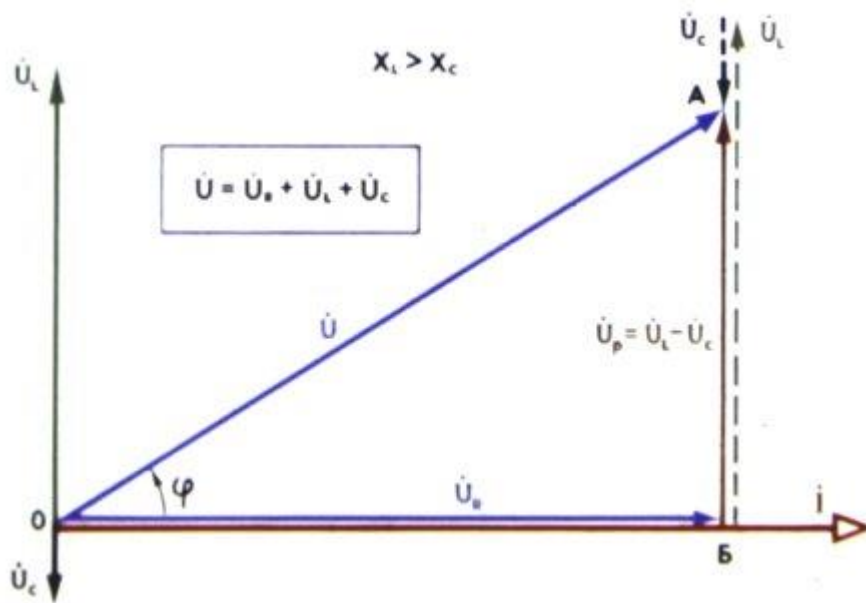
**Практическое занятие № 7** Построение векторных диаграмм последовательного и параллельного соединения элементов. Полное электрическое сопротивление.

### ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

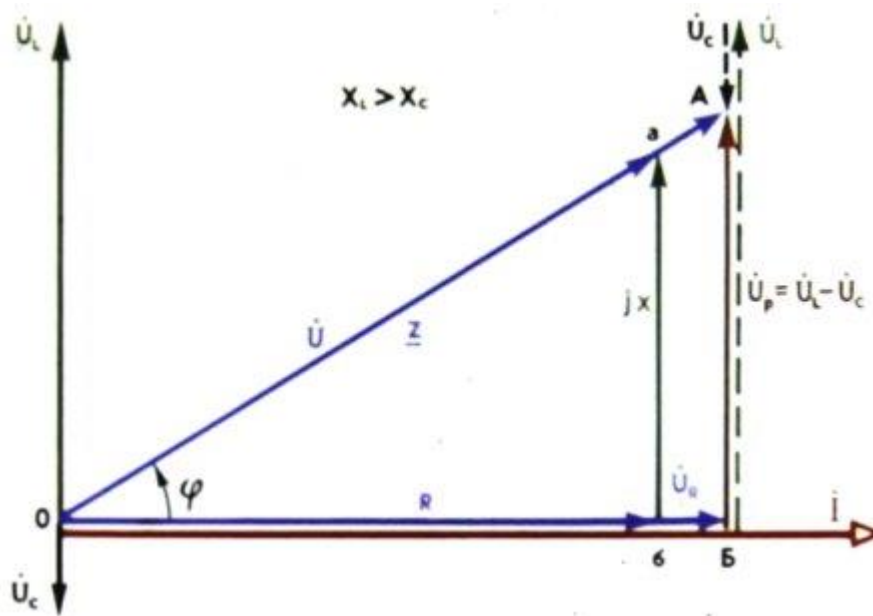
Последовательная цепь с резистивным, индуктивным и емкостным элементом:



Треугольник напряжений при последовательном соединении R, L и C:

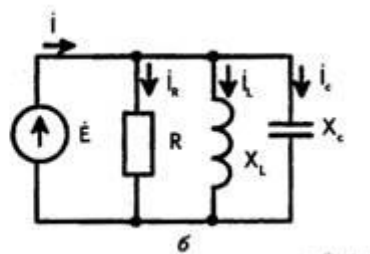
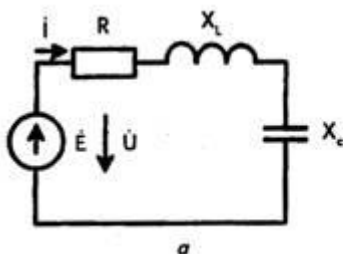


Треугольники напряжений и сопротивлений при последовательном соединении R, L и C:

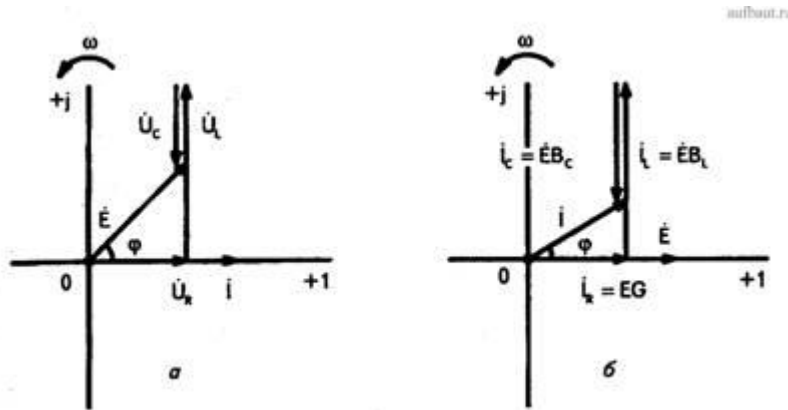


## 2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Построить векторную диаграмму тока и напряжений для цепи с последовательным соединением R, XL, Xc



Проводим Действительную (0, +1) и мнимую (0, +j) оси через начало координат 0. Удобно направить вектор тока  $i$  по действительной оси. Такое же направление имеет вектор падения напряжения на активном сопротивлении  $U_R = I \cdot R$ . Вектор падения напряжения на индуктивном сопротивлении  $\dot{U}_L$  направлен по мнимой оси 0, +j (опережает вектор тока  $i$  на  $90^\circ$ ). Длина этого вектора  $U_L = I \cdot X_L$ . Этот вектор откладывается из конца вектора  $\dot{U}_R$ . Вектор падения напряжения на емкостном сопротивлении  $\dot{U}_C$  направлен в противоположную сторону относительно вектора  $\dot{U}_L$ . Длина вектора  $\dot{U}_C$  равна  $I \cdot X_C$ . От конца вектора  $\dot{U}_L$  откладывается вектор  $\dot{U}_C$  длиной  $I \cdot X_C$ . Соединив начало координат с концом вектора  $\dot{U}_C$ , получаем вектор ЭДС  $\dot{E}$ . Полученная векторная диаграмма приведена на рис. 2, а.



## Практическое занятие № 8 Классификация электрических сопротивлений Измерение средних электрических сопротивлений косвенным методом Измерение средних сопротивлений мостом и омметром Измерение больших сопротивлений мегомметром

### ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В зависимости от величины электрические сопротивления делятся на три группы:

- 1 ом и меньше — малые сопротивления,
- от 1 ом до 0,1 Мом — средние сопротивления,
- от 0,1 Мом и выше — большие сопротивления.

При измерении **малых сопротивлений** необходимо принимать меры для устранения влияния на результат измерения сопротивления соединительных проводов, контактов и термо-ЭДС.

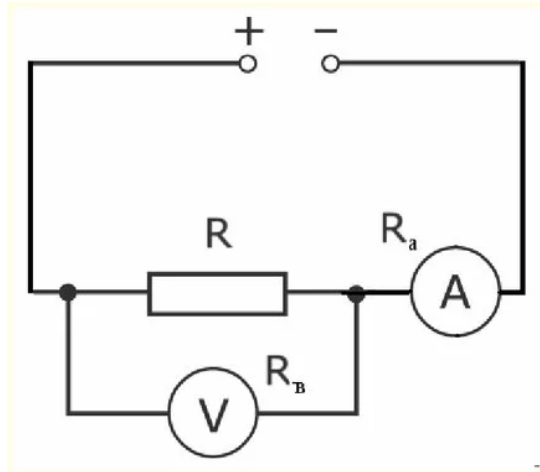
При измерении **средних сопротивлений** можно не считаться с сопротивлениями соединительных проводов и контактов, можно не учитывать влияния сопротивления изоляции.

При измерении **больших сопротивлений** необходимо учитывать наличие объемного и поверхностного сопротивлений, влияние температуры, влажности и других факторов.

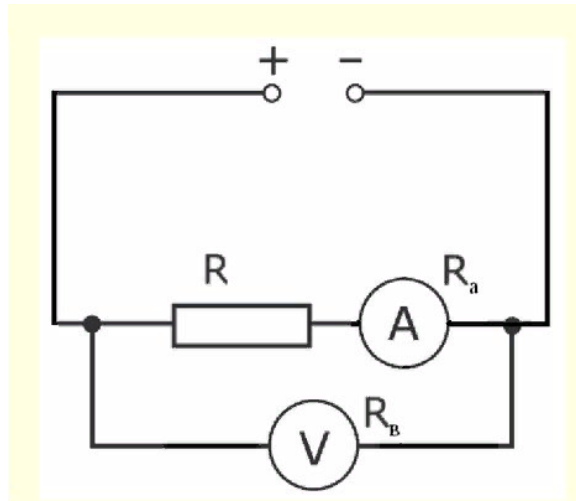
Измерение средних сопротивлений косвенным методом выполняется при помощи амперметра-вольтметра)

Пожалуй, он самый простой для измерения средних и малых сопротивлений R.

При измерении малых R рекомендуют применять такую схему:

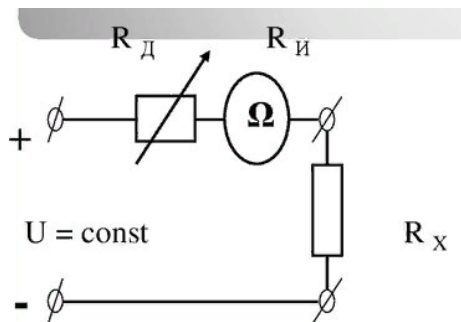


Потому что в данном случае  $I_A \approx I_R$  из-за большого внутреннего сопротивления вольтметра относительно  $R$  и будет выполнено равенство  $I_V \ll I_R$ . При среднем значении  $R$  рекомендована такая схема:



Так как в этом случае  $U_V \approx U_R$  из-за очень малого внутреннего сопротивления амперметра. Измерение средних сопротивлений мостом и омметром.

Чтоб реализовать такой метод необходимо применить омметр, схема которого ниже:



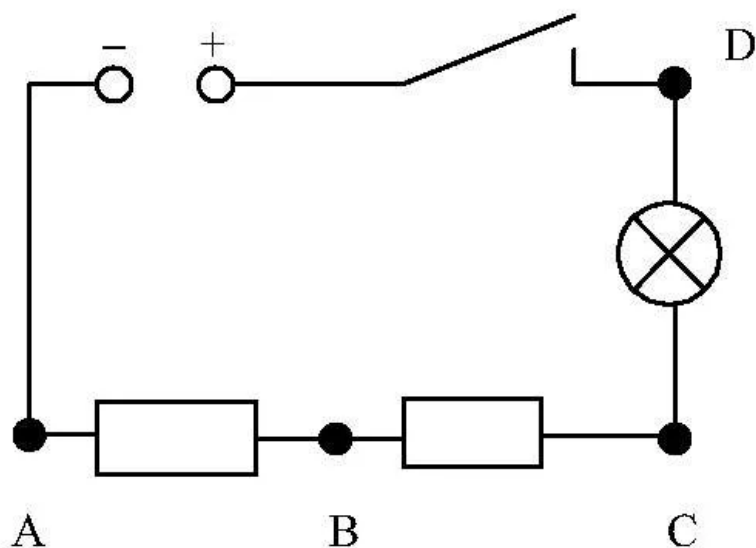
Омметры довольно таки удобны в практическом применении, но они имеют довольно высокую погрешность (класс точности 2,5). Это связано с нестабильностью источника

питания и неравномерностью шкалы. Дабы устранить причину неравномерности шкалы в омметрах стали использовать логометрические измерительные механизмы.

Такие приборы получили название мегомметров. Для получения источника питания в мегомметрах используют небольшие генераторы напряжением до 2500 Вольт и приводящиеся в движение вручную. В электронных же мегомметрах в качестве источника могут быть использованы батарейки или же внешний источник питания, подключаемый через специальный блок питания устройства. Мегомметры применяют для измерений больших сопротивлений, таких как сопротивление изоляции проводников. Для измерений свыше  $10^9$  Ома применяют специальные электронные устройства, которые носят название тераомметров.

## 1. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 1. Соберите электрическую цепь



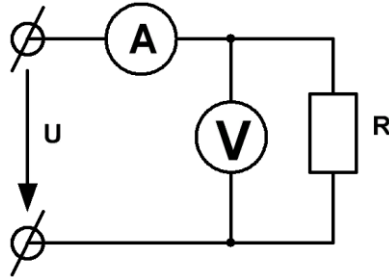
2. Измерьте сопротивление резисторов АВ и ВС косвенным методом
3. Разберите электрическую цепь.
4. Измерьте сопротивление резисторов АВ и ВС при помощи омметра
5. Сравните результаты. Рассчитайте погрешность
6. Результаты запишите в рабочую тетрадь

Закрепите полученные навыки при помощи автомобильного аккумулятора и мультиметра

**Практическое занятие № 9 Измерение мощности в цепи постоянного и переменного тока. Измерение мощности в цепях трехфазного тока. Измерение энергии в цепях переменного тока. Счетчики электрической энергии**

## 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

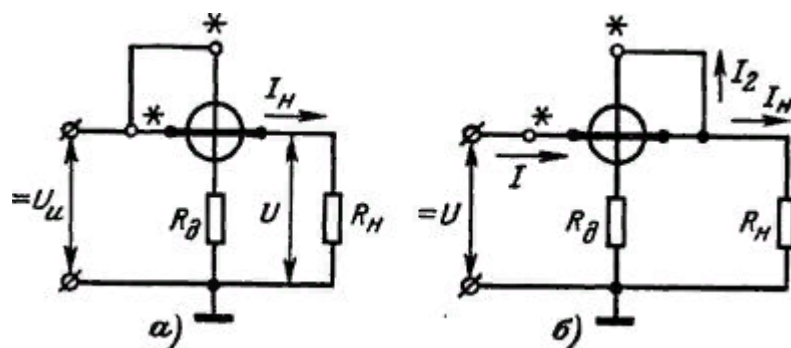
Из выражения для мощности на постоянном токе  $P = IU$  видно, что ее можно измерить с помощью амперметра и вольтметра косвенным методом.



Однако в этом случае необходимо производить одновременный отсчет по двум приборам и вычисления, усложняющие измерения и снижающие его точность. Для измерения мощности в цепях постоянного и однофазного переменного тока применяют приборы, называемые ваттметрами,



для которых используют электродинамические и ферродинамические измерительные механизмы.



Электродинамические ваттметры выпускают в виде переносных приборов высоких классов точности (0,1 - 0,5) и используют для точных измерений мощности постоянного и переменного тока на промышленной и повышенной частоте (до 5000 Гц).

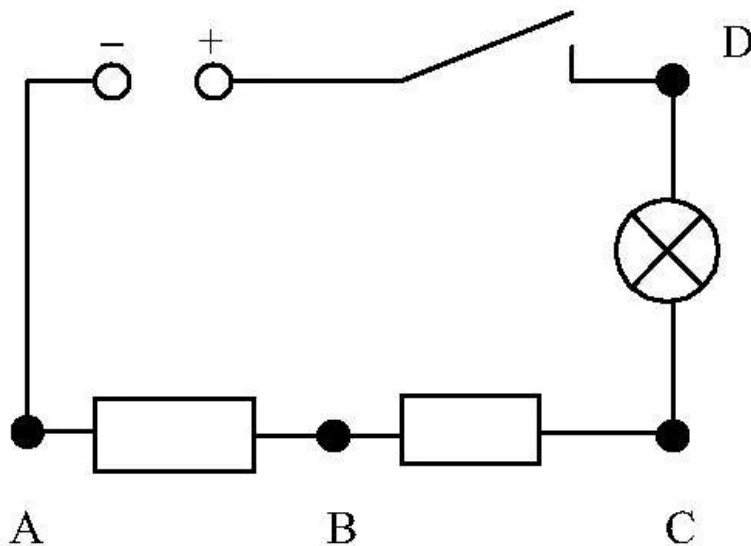
Ферродинамические ваттметры чаще всего встречаются в виде щитовых приборов относительно низкого класса точности (1,5 - 2,5).

Применяют такие ваттметры главным образом на переменном токе промышленной частоты. На постоянном токе они имеют значительную погрешность, обусловленную гистерезисом сердечников.

Для измерения мощности на высоких частотах применяют термоэлектрические и электронные ваттметры, представляющие собой магнитоэлектрический измерительный механизм, снабженный преобразователем активной мощности в постоянный ток. В преобразователе мощности осуществляется операция умножения  $u_i = p$  и получение сигнала на выходе, зависящего от произведения  $u_i$ , т. е. от мощности.

## 2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 1. Соберите электрическую цепь



### 2. Измерьте мощность электрической лампы косвенным методом

3. Оцените мощность лампы по паспортным данным.
4. Сравните результаты. Рассчитайте погрешность
5. Результаты запишите в рабочую тетрадь

### Практическое занятие № 10 Энергетические системы, Электростанции, Электросети. Распределение электрической энергии между потребителями

Энергетическая система (энергосистема) — совокупность электростанций, электрических и тепловых сетей, соединённых между собой и связанных общностью режимов в непрерывном процессе производства, преобразования, передачи и распределения электрической и тепловой энергии. 1

Для энергосистемы характерна одновременность производства, распределения и потребления электрической и тепловой энергии. Для обеспечения такой одновременности необходим баланс между суммарной мощностью, генерируемой электрическими и тепловыми станциями, и потребляемой мощностью. 1

