

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

Методические указания  
к практическим занятиям по курсу  
ОП.02 «ЭЛЕКТРОТЕХНИКА и ЭЛЕКТРОНИКА»  
по специальности среднего профессионального образования  
**23.02.01 Организация перевозок и управление на транспорте (железнодорожном)**

**Квалификация:** техник по организации и управлению

**Форма обучения:** очная

Нормативный срок обучения: 3 года 10 месяцев  
на базе основного общего образования

Иркутск  
2026

Настоящие методические указания составлены для практических работ, выполнение которых предусмотрено программой для обучающихся по специальности среднего профессионального образования **23.02.01 Организация перевозок и управление на транспорте (железнодорожном)**

Разработчик:  
Новиков Владимир Валентинович, преподаватель

Рассмотрена и одобрена на заседании ДЦК  
Протокол № \_\_\_\_\_  
от « \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 г.  
Председатель ДЦК

## **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 измерений,
- 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.** Сборка электрической цепи. Соединение проводников: последовательное, параллельное, смешанное.

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

**Лабораторная работа № 1** Исследование времени зарядки конденсатора.

**Практическое занятие № 3** Катушка индуктивности. Вычисление постоянной времени  $t_{RL}$ -цепи.

**Практическое занятие №4.** Измерение тока и напряжения. Измерение мощности в цепи постоянного и переменного тока.

**Практическое занятие №5.** Измерение средних электрических сопротивлений.

**Практическое занятие № 6** Испытание трансформатора.

**Практическое занятие № 7** Включение полупроводникового диода в цепь.

**Практическое занятие № 8** Работа биполярного транзистора в режиме ключа.

**Практическое занятие № 9** Сборка инвертирующего и не инвертирующего операционного усилителя

**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.

## 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:

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

### 2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

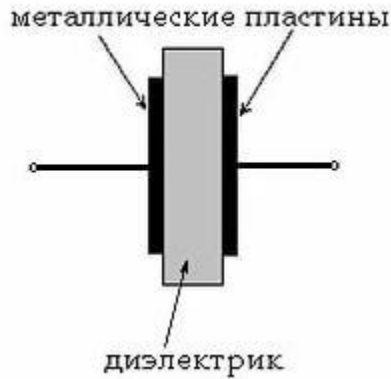
Задача 1. Найти общее сопротивление цепи.  $R_1 = R_2 = 10 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = 20 \text{ Ом}$ .

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

## Лабораторная работа № 1 Исследование времени зарядки конденсатора

### 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Конденсатор представляет собой устройство, способное накапливать электрические заряды. Простейшим конденсатором являются две металлические пластины (электроды), разделенные каким-либо диэлектриком.

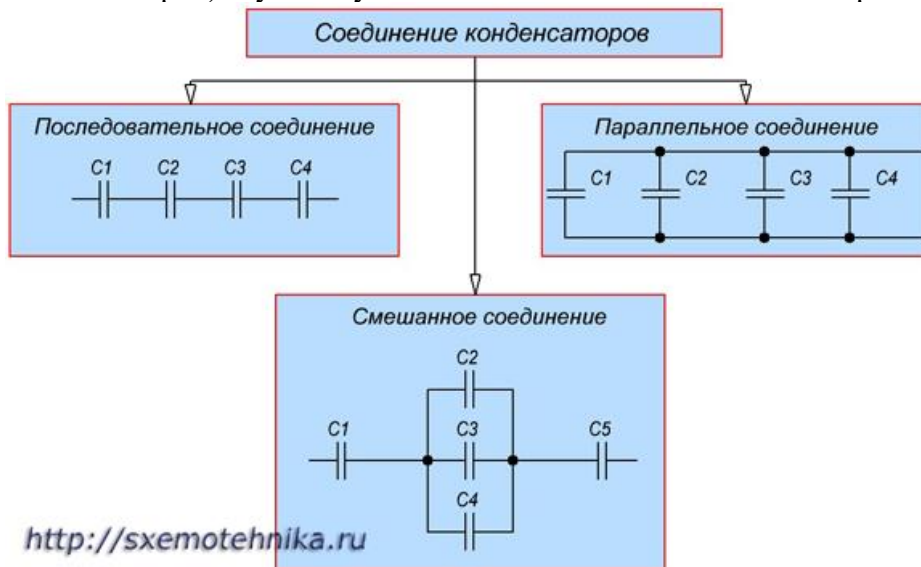


Емкость  $C$  конденсатора определяется как отношение заряда  $q$ , накопленного в конденсаторе, к разности потенциалов между его электродами (приложенному напряжению)  $U$ :

$$C = q / U$$

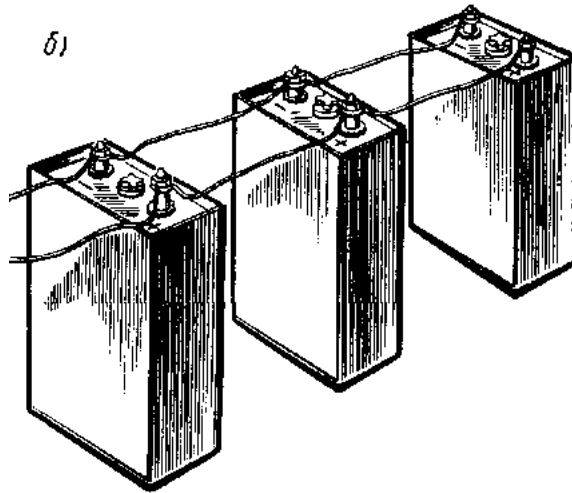
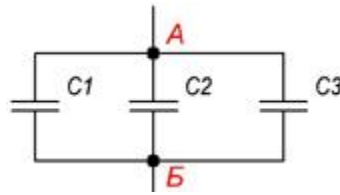
Иногда для получения необходимой величины электроемкости приходится соединять конденсаторы в группу, которая называется **батареей**.

**Соединение конденсаторов** может производиться: **последовательно, параллельно** и **последовательно-параллельно** (последнее иногда называют смешанное соединение конденсаторов). Существующие виды соединения конденсаторов показаны на рисунке



### Параллельное соединение конденсаторов.

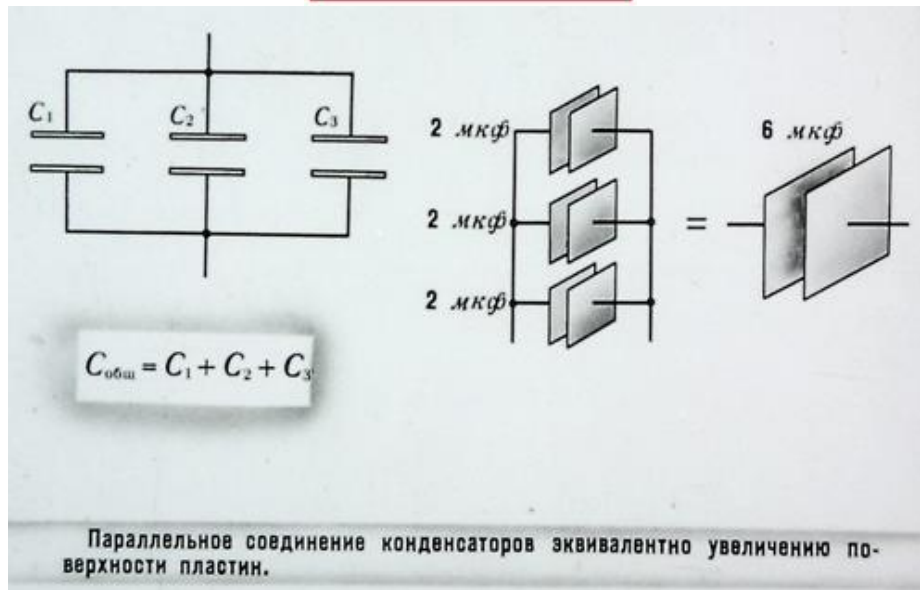
Если группа конденсаторов включена в цепь таким образом, что к точкам включения непосредственно присоединены пластины всех конденсаторов, то такое соединение называется **параллельным соединением конденсаторов**



При заряде группы конденсаторов, соединенных параллельно, между пластинами всех конденсаторов будет одна и та же разность потенциалов, так как все они заряжаются от одного и того же источника тока.

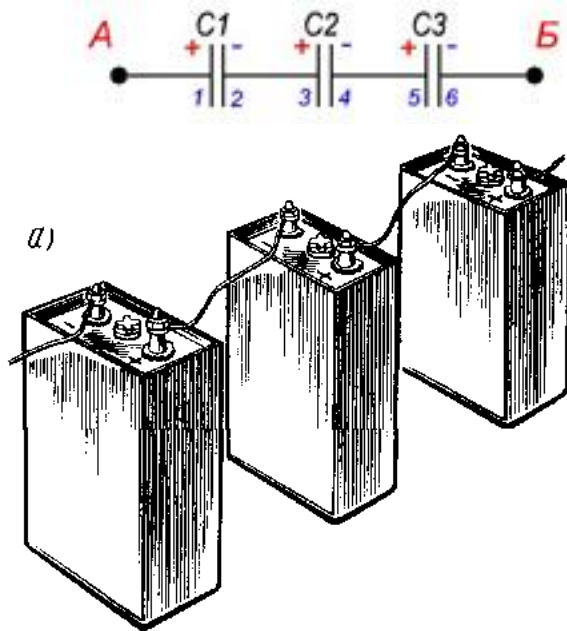
**Общая емкость конденсаторов при параллельном соединении равна сумме емкостей всех соединенных конденсаторов.**

$$C_{\text{общ}} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$



### Последовательное соединение конденсаторов.

Если же соединение конденсаторов в батарею производится в виде цепочки и к точкам включения в цепь непосредственно присоединены пластины только первого и последнего конденсаторов, то такое **соединение конденсаторов** называется **последовательным**



При заряде группы конденсаторов, соединенных последовательно, на конденсаторах малой емкости напряжения будут больше, а на конденсаторах большой емкости — меньше. Для вычисления общей емкости при последовательном соединении конденсаторов удобнее всего пользоваться следующей формулой:

$$\frac{1}{C_{\text{общ}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

**Последовательное соединение конденсаторов**

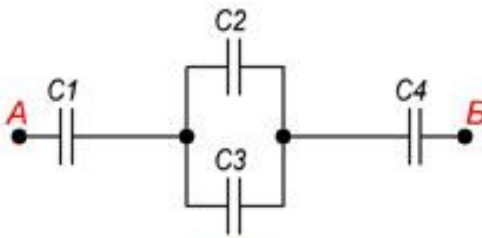
$\frac{1}{C_{\text{общ}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$

Последовательное соединение конденсаторов эквивалентно увеличению расстояния между пластинами. Емкость уменьшается.

У последовательно соединенных конденсаторов рабочее напряжение равно сумме рабочих напряжений конденсаторов.

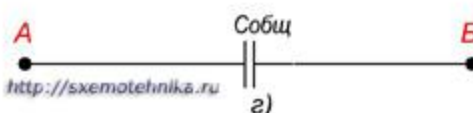
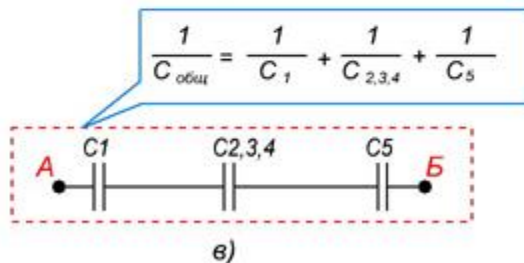
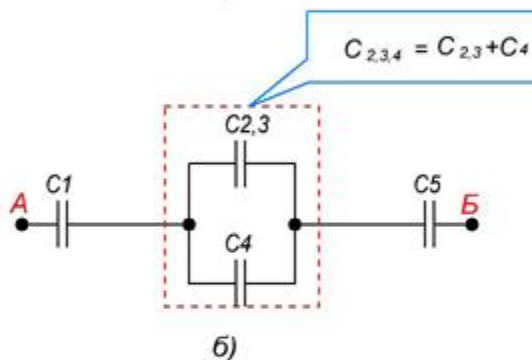
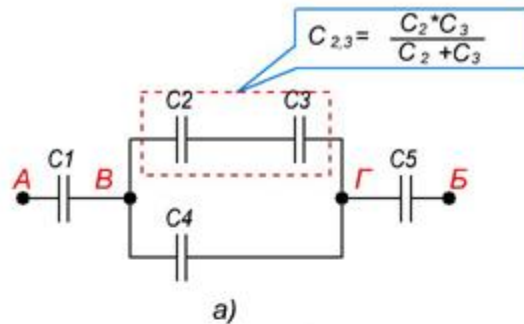
20

Последовательно-параллельное (смешанное) соединение конденсаторов  
**Последовательно-параллельным соединением конденсаторов** называется цепь имеющая в своем составе участки, как с параллельным, так и с последовательным соединением конденсаторов.



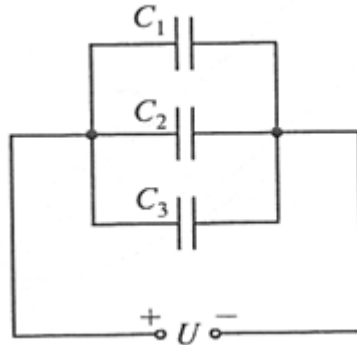
При расчете общей емкости такого участка цепи с последовательно-параллельным соединением конденсаторов этот участок разбивают на простейшие участки, состоящие только из групп с последовательным или параллельным соединением конденсаторов. Далее алгоритм расчета имеет вид:

1. Определяют эквивалентную емкость участков с последовательным соединением конденсаторов.
2. Если эти участки содержат последовательно соединенные конденсаторы, то сначала вычисляют их емкость.
3. После расчета эквивалентных емкостей конденсаторов перерисовывают схему. Обычно получается цепь из последовательно соединенных эквивалентных конденсаторов.
4. Рассчитывают емкость полученной схемы.

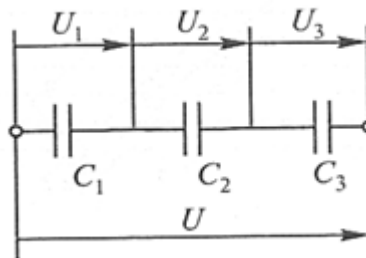


## 2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

- a. Соберите конденсаторы параллельно, как показано на схеме:



- b. Запишите в рабочей тетради значения  $C_1$ ;  $C_2$ ;  $C_3$  и рассчитайте ёмкость батареи
- c. Соберите конденсаторы последовательно, как показано на схеме:



- d. Запишите в рабочей тетради значения  $C_1$ ;  $C_2$ ;  $C_3$  и рассчитайте ёмкость батареи.
- e. Сделайте выводы, в каком случае ёмкость батареи выше
- f. Проверить правильность расчетов и сделанных выводов можно при помощи **мультиметра**



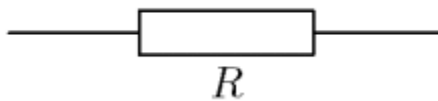
**Практическое занятие № 3** Катушка индуктивности. Вычисление постоянной времени  $t_{RL}$ -цепи.

### ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

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

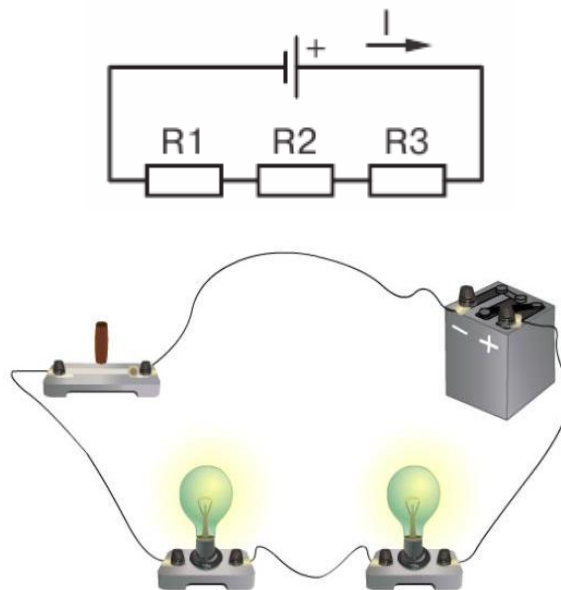
Различные комбинации последовательного и параллельного соединений называют смешанным соединением проводников.

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.  $I_1=I_2=I_3=...=I_n$

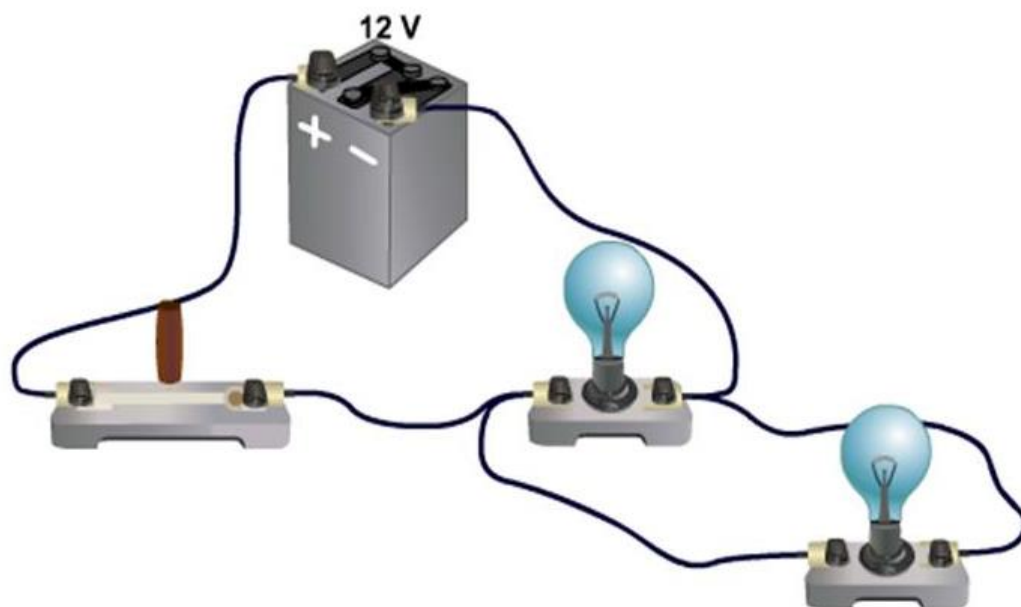
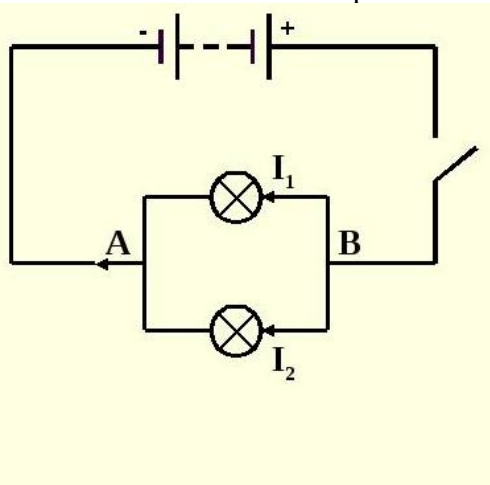
### Основные свойства последовательного соединения :

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.  $R=R_1+R_2+\dots+R_n$

### 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  $A$ , а концы — в другую общую точку  $B$ . Соединив затем точки  $A$  и  $B$  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:  $U_1=U_2=U_3=\dots=U_n$

2. Сила тока в неразветвлённой части цепи равна сумме сил токов в каждой ветви:

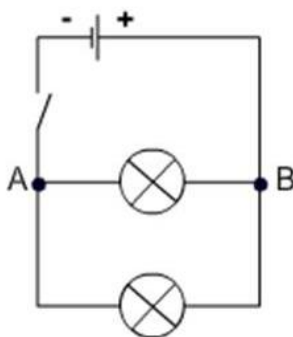
$$I=I_1+I_2+\dots+I_n$$

3. Величина, обратная сопротивлению участка параллельного соединения, равна сумме величин, обратных сопротивлениям ветвей.

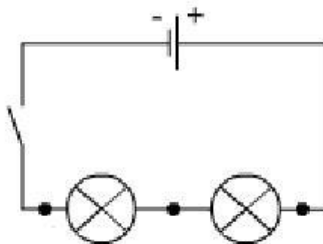
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

## 1. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1. Соберите проводники параллельно, как показано на схеме:



1.2. Соберите проводники последовательно, как показано на схеме:



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

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

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

1.5. Расчеты и выводы запишите в рабочей тетради.

### Практическое занятие № 3

Расчёт сложных электрических цепей с помощью законов Кирхгофа

#### 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

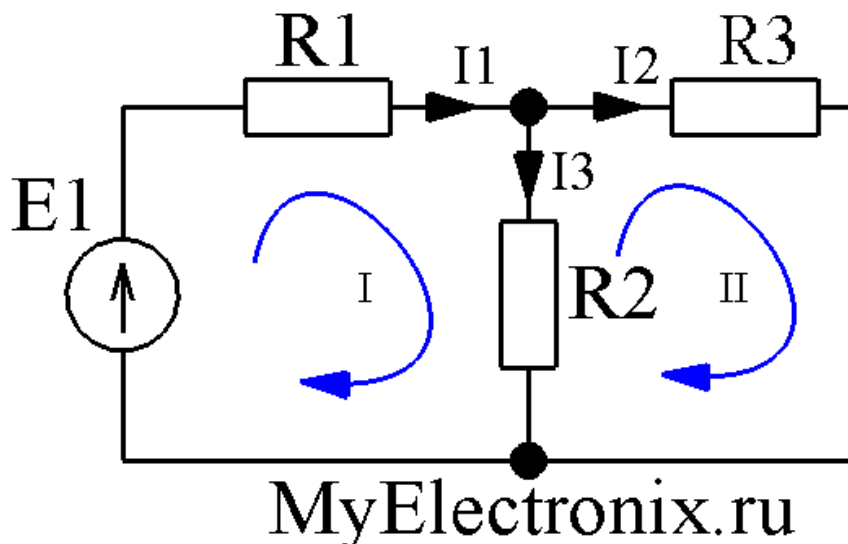


Рисунок 1 – Простая схема

В этой схеме мы можем видеть три контура.

Контур 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 направлением токов в ветвях: просто проставим 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  $I_2$  совпадает 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

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

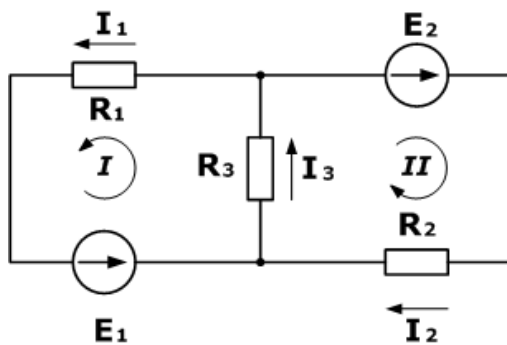
$$U_{R2} = I_3 \cdot R_2 \approx 8,13 \cdot 10^{-3} \cdot 510 = 4,15 \text{ В}$$

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

## 2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Решите задачу:

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



**Дано**

$$R_1 = 100 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 150 \text{ Ом}$$

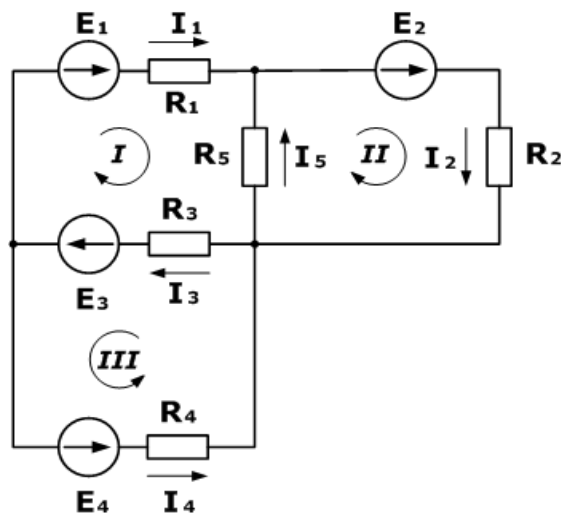
$$R_3 = 150 \text{ Ом}$$

$$E_1 = 75 \text{ В}$$

$$E_2 = 100 \text{ В}$$

$$I_1, I_2, I_3 - ?$$

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 №4.** Измерение тока и напряжения. Измерение мощности в цепи постоянного и переменного тока.

## 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 №5.** Измерение средних электрических сопротивлений.

### 1. 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.

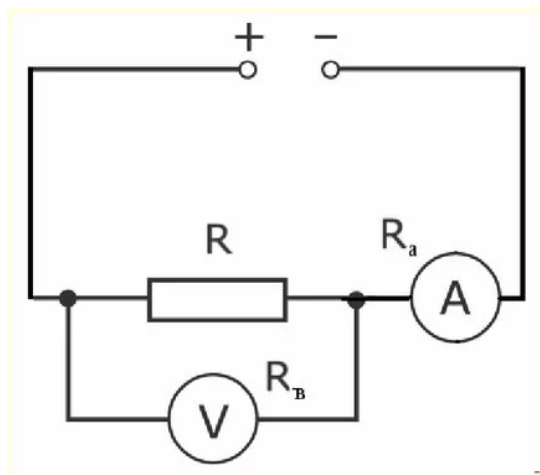
При измерении **малых сопротивлений** необходимо принимать меры для устранения влияния на результат измерения сопротивления соединительных проводов, контактов и термо-ЭДС.

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

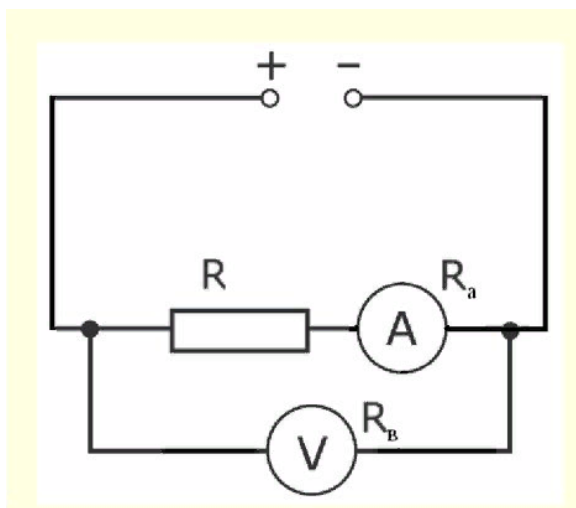
При измерении **больших сопротивлений** необходимо учитывать наличие объемного и поверхностного сопротивлений, влияние температуры, влажности и других факторов.

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:

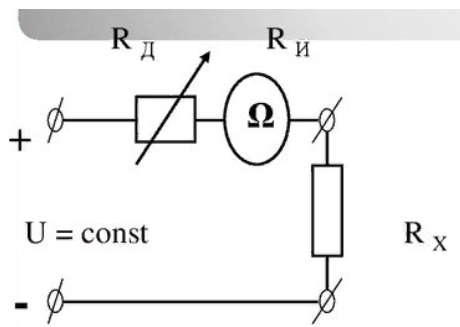


Потому что в данном случае  $I_A \approx I_R$  из-за большого внутреннего сопротивления вольтметра относительно  $R$  и будет выполнено равенство  $I_V \ll I_R$ . При среднем значении  $R$  рекомендована такая схема:



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:

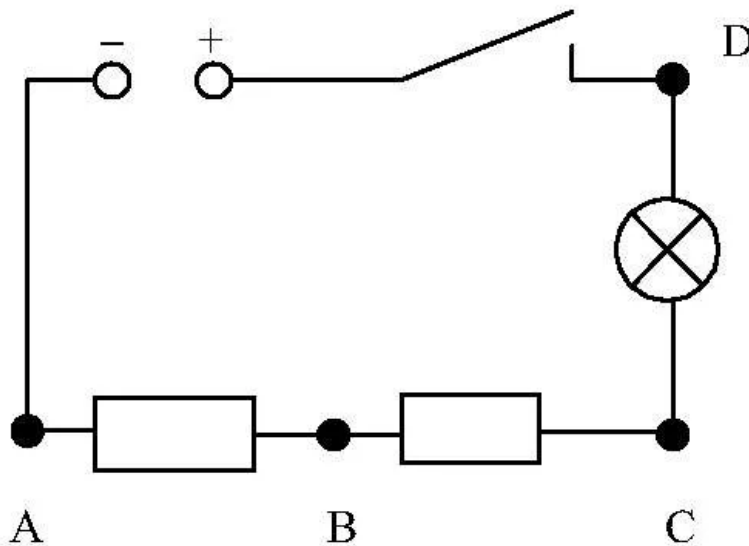


Омметры довольно таки удобны в практическом применении, но они имеют довольно высокую погрешность (класс точности 2,5). Это связано с нестабильностью источника питания и неравномерностью шкалы. Дабы устранить причину неравномерности шкалы в омметрах стали использовать логометрические измерительные механизмы.

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.

## 2. 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 № 6** Испытание трансформатора. Проведение опытов холостого хода и короткого замыкания.

## 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

В электроустановках необходимо измерять напряжения между фазами (линейные) и напряжения фаз по отношению к земле (фазные). В зависимости от этого применяют однофазные, трехфазные или группы однофазных трансформаторов, включаемых по соответствующим схемам, которые обеспечивают выполнение нужных измерений и работу защит.

На рис. 1 приведены наиболее употребительные схемы включения трансформаторов напряжения.

В схеме на рис. 1, а использован один однофазный трансформатор. Схема позволяет измерять только одно из линейных напряжений.

На рис. 1, б показаны два однофазных трансформатора, включенных по схеме неполного треугольника. Схема дает возможность измерять все три линейных напряжения.

В схеме на рис. 1, в показано включение трех однофазных трансформаторов по схеме звезды с выведенной нулевой точкой и заземлением нейтрали первичных обмоток. Схема позволяет измерять все линейные и фазные напряжения и контролировать изоляцию в системах с изолированной нейтралью.

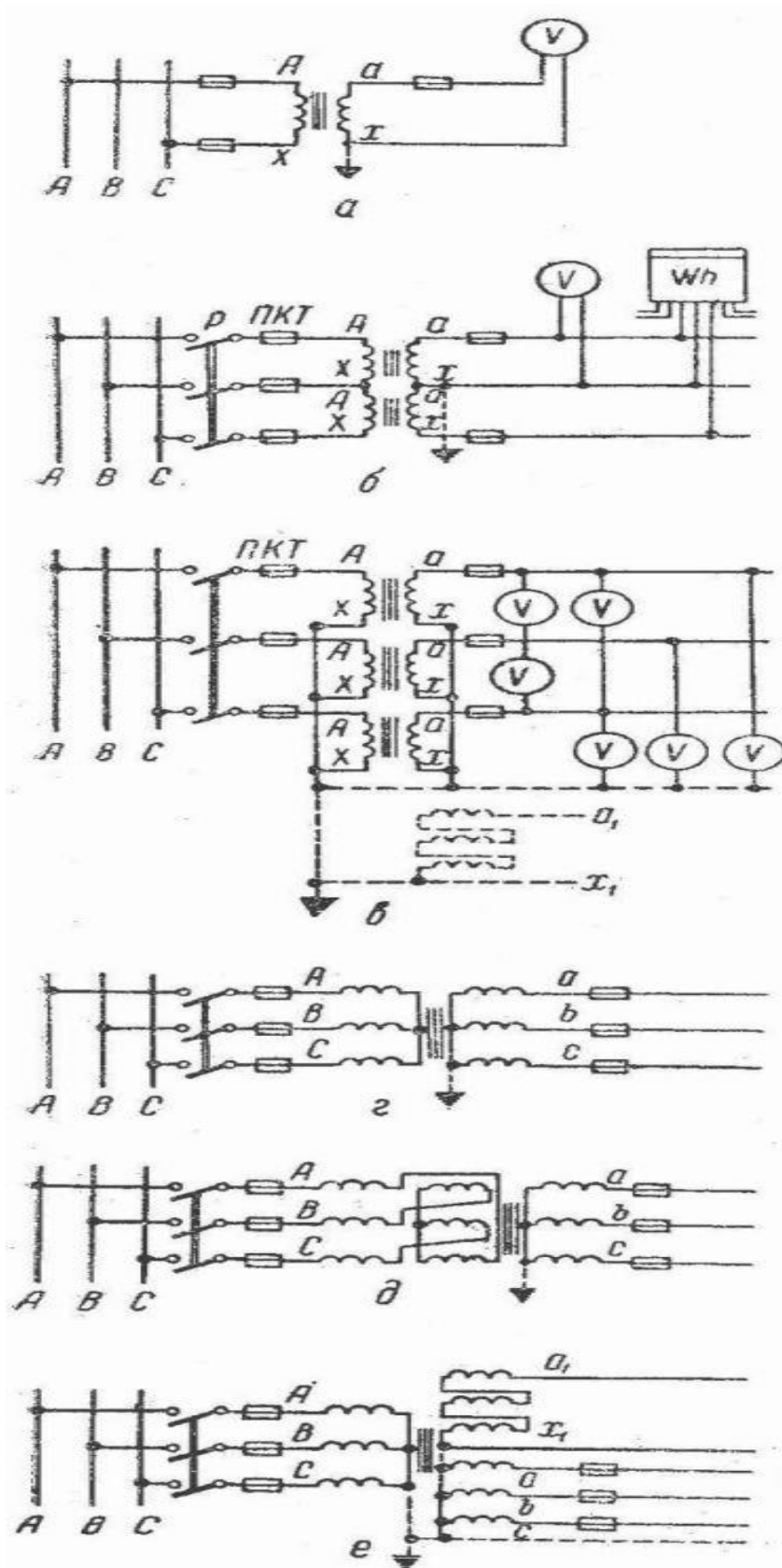


Рис. 1. Схемы включения трансформаторов напряжения

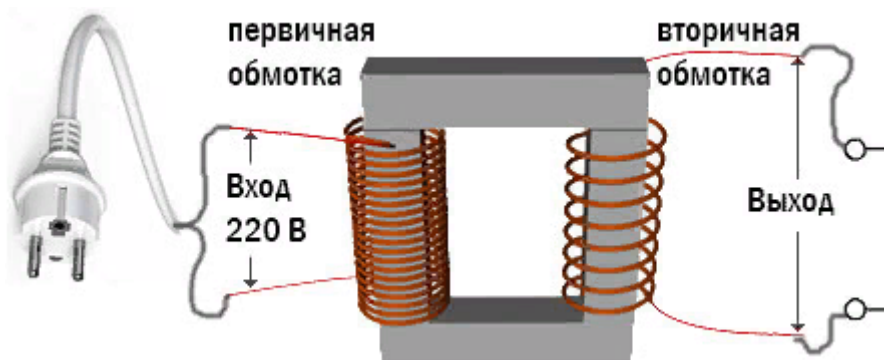
На схеме рис. 1, г показано включение трехфазного трехстержневого трансформатора, который позволяет изменять только линейные напряжения. Этот трансформатор непригоден для контроля изоляции, заземление его первичной обмотки не допускается. Дело в том, что при заземлении первичной обмотки, в случае возникновения замыкания на землю (в системе с изолированной нейтралью), в трехстержневом трансформаторе возникнут большие токи нулевой последовательности, а их магнитные потоки, замыкаясь по путям рассеяния (бак, конструкции и др.), могут нагреть трансформатор до недопустимых температур.

На схеме (рис. 1, д) показано включение трехфазного компенсированного трансформатора, предназначенного для измерения только линейных напряжений.

В схеме на рис. 1, е показано включение трехфазного пятистержневого трансформатора НТМИ с двумя вторичными обмотками. Одна из них соединена в звезду с выведенной нулевой точкой и служит для измерения всех фазных и линейных напряжений, а также для контроля изоляции (в системе с изолированной нейтралью) при помощи трех вольтметров. В этом случае магнитные потоки нулевой последовательности не перегреют трансформатор, так как они будут свободно замыкаться через два боковых стержня магнитопровода.

## 2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

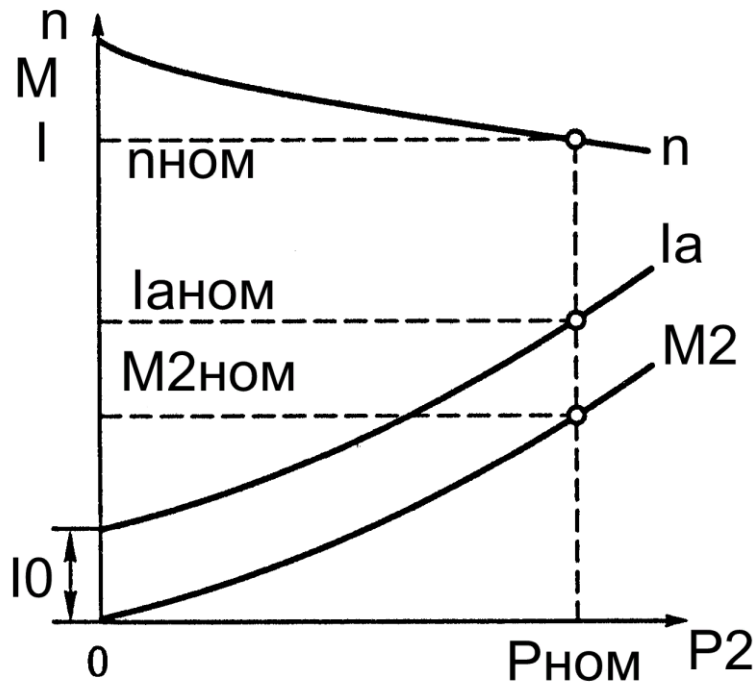
1. Подключите понижающий трансформатор как показано на схеме.



2. Измерьте напряжение на вторичной обмотке трансформатора, работающего в режиме холостого хода
3. Сравните измеренное напряжение с напряжением указанным на информационной табличке

**Практическое занятие № 7** Включение полупроводникового диода в цепь. Прямая и обратная проводимость диода

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ



Рабочие характеристики двигателя постоянного тока с независимым возбуждением

При оценке регулировочных свойств двигателей постоянного тока наибольшее значение имеют механические характеристики  $n = f(M)$ . При неизменном моменте нагрузки на валу двигателя с увеличением сопротивления резистора  $R_{доб}$  частота вращения уменьшается. Сопротивления резистора  $R_{доб}$  для получения искусственной механической характеристики, соответствующей требуемой частоте вращения  $n$  при заданной нагрузке (обычно номинальной) для двигателей независимого возбуждения:

$$R_{доб} = \frac{U}{I_{я}} \left( 1 - \frac{n}{n_0} \right) - \sum r,$$

где  $U$  — напряжение питания цепи якоря двигателя, В;  $I_{я}$  — ток якоря, соответствующий заданной нагрузке двигателя, А;  $n$  — требуемая частота вращения, об/мин;  $n_0$  — частота вращения холостого хода, об/мин.

Частота вращения холостого хода  $n_0$  представляет собой **пограничную** частоту вращения, при превышении которой двигатель переходит в **генераторный режим**. Эта частота вращения превышает номинальную  $n_{ном}$  на столько, на сколько номинальное напряжение  $U_{ном}$  подводимое к цепи якоря, превышает ЭДС якоря  $E_{я ном}$  при номинальной нагрузке двигателя.

$$\frac{n_0}{n_{ном}} = \frac{U_{ном}}{E_{я\_ном}}$$

откуда:

$$n_0 = n_{\text{НОМ}} * \frac{U_{\text{НОМ}}}{E_{\text{Я\_НОМ}}} = \frac{U_{\text{НОМ}} * n_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}} - I_{\text{Я\_НОМ}} \sum r}$$

## 2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Рассмотрим последовательность расчета указанных величин при работе ДПТ на естественной характеристике  $n(M)$ . Определяем ток возбуждения  $I_{\text{ВОЗБ}} = U/R_{\text{ВОЗБ}}$ .  
Задаем 7 значений тока якоря  $I_{\text{Я}}$  в диапазоне от 0 до  $1,5 \cdot I_{\text{ЯНОМ}}$ .

Далее проводим все расчеты для принятых 7 значений тока якоря  $I_{\text{Я}}$ .

Ток, потребляемый из сети

$$I = I_{\text{Я}} + I_{\text{ВОЗБ}}$$

Вычисляем частоту вращения

$$n = U / (C_E \cdot \Phi - I_{\text{Я}} \cdot (R_{\text{Я}} + R_{\text{ДОП ПОЛ}})) / (C_E \cdot \Phi)$$

Здесь  $C_E \cdot \Phi$  определяется по данным номинального режима

$$C_E \cdot \Phi = (U_{\text{Н}} - I_{\text{ЯН}} \cdot (R_{\text{Я}} + R_{\text{ДОП ПОЛ}})) / n_{\text{Н}}$$

Вычисляем значения момента

$$M = C_M \cdot \Phi \cdot I_{\text{Я}}$$

$$\text{Здесь } C_M \cdot \Phi = M_{\text{Н}} / I_{\text{ЯН}}, M_{\text{Н}} = 9.55 \cdot P_{2\text{Н}} / n_{\text{Н}}$$

Используемые единицы измерения :  $M$  – [Нм] ;  $P_2$  - [Вт] ;  $n$  - [об/мин] .

Затем определяем полезную  $P_2$  и потребляемую  $P_1$  мощности и к.п.д. :

$$P_2 = 0,105 \cdot M \cdot n ; P_1 = U_{\text{Н}} \cdot (I_{\text{Я}} + I_{\text{В}}) ; \eta \% = 100 \cdot P_2 / P_1$$

Результаты расчетов записываем в таблицу 6.1.

$$I_{\text{Я}}, \text{ А} \quad 0,25 \cdot I_{\text{ЯН}} \quad 0,5 \cdot I_{\text{ЯН}} \quad 0,75 \cdot I_{\text{ЯН}} \quad I_{\text{ЯН}} \quad 1,25 \cdot I_{\text{ЯН}} \quad 1,5 \cdot I_{\text{ЯН}}$$

$$I_{\text{Я}}, \text{ А}$$

$$I, \text{ А}$$

$$n, \text{ об/мин}$$

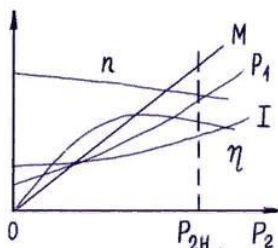
$$M, \text{ Нм}$$

$$P_2, \text{ Вт}$$

$$P_1, \text{ Вт}$$

$$\text{КПД, \%}$$

На общем графике в крупном масштабе строим расчетные зависимости  $I, n, M, P_1, \eta = f(P_2)$



## Практическое занятие № 8 Работа биполярного транзистора в режиме ключа.

### 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Используемые в настоящее время бытовые приборы в своем подавляющем большинстве работают при помощи однофазного асинхронного двигателя. Максимальная мощность такого двигателя не превышает 500 Вт.

Однофазный двигатель работает за счет вращающегося магнитного поля, которое возникает при смещении в пространстве двух обмоток статора, соединенных параллельно, относительно друг друга. Важным условием работы однофазного двигателя является сдвиг по фазе токов обмоток. Для этого в конструкции двигателя предусмотрен фазосмещающий элемент (как правило, это конденсатор), он подключен последовательно одной из статорных обмоток. Роль фазосмещающего сетевого элемента может выполнять активное сопротивление или индуктивность.

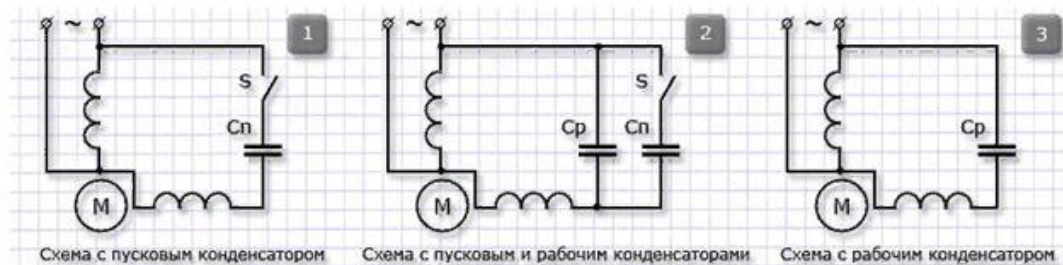
В том случае если при работе двигателя цепь обмотки разрывается, прекращается движение магнитного потока ( $\Phi$ ) статора. Происходит инерционное вращение ротора, поэтому, поток остается вращающимся по отношению к обмотке ротора и наводит ЭДС, силу тока ( $I$ ) и собственный магнитный поток ( $\Phi$ ), при этом движение магнитного потока ( $\Phi$ ) ротора совпадает со статорным магнитным потоком.

Магнитный поток ротора изменяется. Данное действие основывается на синусоидальном законе согласно которому, изменяя направление на противоположное, ротор остается в состоянии вращения. В связи с этим запуск мотора возможен в том случае если наличествует внешний фактор, который способен осуществить возвратное вращательное движение ротора в первоначальное направление.

Так как при запуске однофазного двигателя применяется пусковая катушка с применением фазосмещающего элемента. Сопротивление активного типа используется в этом роде очень часто, в связи с дешевизной.

После запуска двигателя возникает отключение обмотки действующей для запуска.

Обмотка пуска работает в кратковременном режиме, и для ее изготовления применяется более тонкий провод, чем идет на изготовление рабочей обмотки.



Схемы подключения асинхронного двигателя к однофазной сети

Для подключения однофазного асинхронного двигателя к однофазной сети прибегают к помощи резистора, используемого для запуска, и присоединенного к пусковой катушке (обмотке) последовательным методом, таким образом, между токами, которые присутствуют в обмотке двигателя, наблюдается сдвиг фаз на 30°. Этого хватает для запуска асинхронной машины в работу. В конструкции двигателя, в котором присутствует сопротивление пуска, наличие фазового угла объясняется неодинаковым комплексным сопротивлением в электрических цепях двигателя.

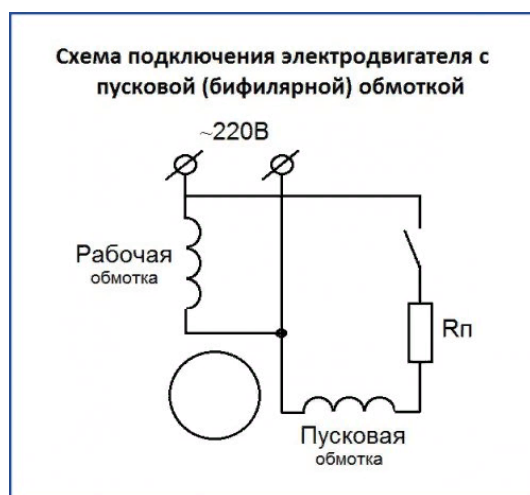
## 2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Схема подсоединения коллекторного двигателя очень проста. Достаточно имеющиеся провода подключить к сети 220 вольт и мотор должен заработать.



Более сложная схема для подключения у однофазного асинхронного двигателя.

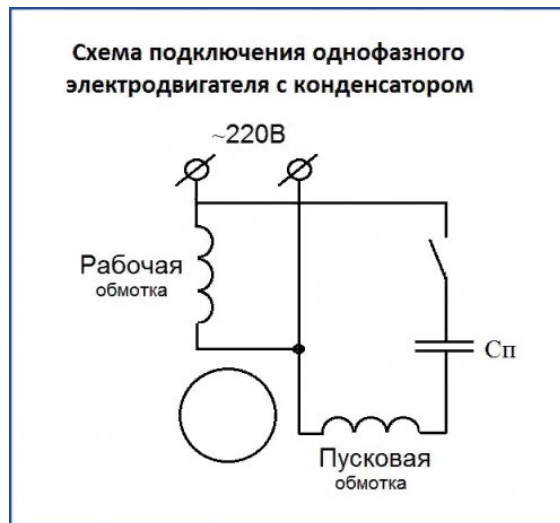
Они бывают однофазные и трехфазные. Однофазные электродвигатели выпускают с пусковой обмоткой (бифилярные) и конденсаторные.



В момент пуска таких моторов пусковая обмотка замыкается, а после достижения необходимых оборотов отключается специальными устройствами. На практике такие электродвигатели включаются специальными кнопками, у которых средние контакты при нажатии замыкаются, а после отпускания кнопки размыкаются. Это так называемые кнопки ПНВС они специально сконструированы для работы с такими электродвигателями.

В конденсаторных имеется две обмотки, которые работают постоянно. Они смещены относительно друг друга на  $90^\circ$ , благодаря чему можно осуществить реверс.

Схема подключения асинхронного двигателя на 220в ненамного сложнее включения коллекторного. Отличие состоит в том, что к вспомогательной обмотке подсоединяется конденсатор. Его номинал рассчитывается по сложной формуле.



Для того чтобы осуществить подключение однофазного двигателя необходимо подключить конденсатор к вспомогательной обмотке, схема несложная и ее может собрать любой человек.

Достаточно иметь необходимые комплектующие и не перепутать обмотки. Определить назначение обмоток можно с помощью тестера, измерив, сопротивление. Пусковая обмотка имеет в два раза большее сопротивление, чем рабочая.

## Практическое занятие № 9

Расчет параметров асинхронного двигателя.

### 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

#### Пример расчета.

Асинхронный трехфазный двигатель с короткозамкнутым ротором марки А02-82-6 имеет следующие паспортные данные:

напряжение  $U=220/380$  В,

номинальная мощность  $P_2 = 40$  кВт,

частота вращения  $n_2=980$  об/мин,

КПД  $\eta=91,5\%$ ,

коэффициент мощности  $\cos \varphi=0,91$ ,

кратность пускового тока  $K_I = 5$ ,

кратность пускового момента  $K_M = 1,1$ ,

перегрузочная способность двигателя  $\lambda= 1,8$ .

Определить число пар полюсов, номинальное скольжение, номинальные максимальный и пусковой вращающие моменты, номинальный и пусковой токи двигателя при соединении обмотки статора в «треугольник» и «звезду».

Возможен ли пуск нагруженного двигателя, если подводимое напряжение на 10% ниже номинального и пуск производится переключением обмоток статора со «звезды» на «треугольник» от сети с напряжением  $U=220$ . В?

Решение. Для определения числа пар полюсов можно воспользоваться маркировкой двигателя, частотой вращения магнитного поля или ротора.

Если известна маркировка, то последнее число в марке двигателя означает количество полюсов. В данном двигателе шесть полюсов; следовательно, три пары. При известной частоте вращения магнитного поля число пар полюсов определяем по формуле

$$p = 60 f / n_1.$$

По этой же формуле определяем число пар полюсов, если задана частота вращения ротора, но в этом случае получаемый результат округляем до ближайшего целого числа. Например, для заданных условий  $p = 60 / \pi_2 = 3000 / 980 = 3,06$ ; отбросив сотые доли, получаем число пар полюсов двигателя—3.

Частота вращения магнитного поля

$$n_1 = 60 f / p = 3000 / 3 = 1000 \text{ об/мин.}$$

Номинальное значение скольжения

Критическое скольжение

$$S_{кр} = S_{НОМ} [\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}]$$

Мощность, потребляемая двигателем,

$$P_1 = P_2 / \eta = 40000 / 0,915 = 43715 \text{ Вт.}$$

Номинальный вращающий момент двигателя

$$M_{НОМ} = 9,55 P_2 / n_2 = 9,55 \cdot 40000 / 980 = 389,8 \text{ Н·м.}$$

Максимальный момент

$$M_{max} = \lambda \cdot M_{НОМ} = 1,8 \cdot 389,8 = 701,6 \text{ Н·м.}$$

Пусковой момент

$$M_{П} = K_M M_{НОМ} = 1,1 \cdot 389,8 = 428,7 \text{ Н·м.}$$

## 2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

3-х фазный АД с КЗ ротором типа АИР180М4 получает питание от 3-х фазной сети с линейным напряжением  $U_1 = 380$  В, частотой 50 Гц.

Данные номинального режима двигателя:

мощность на валу  $P_{2НОМ} = 30$  кВт;

синхронная частота вращения  $n_1 = 1500$  об/мин;

номинальное скольжение  $s_{НОМ} = 2,0$  %;

коэффициент мощности  $\cos \phi_{НОМ} = 0,87$ ;

коэффициент полезного действия  $\eta_{НОМ} = 92$  %;

кратности критического  $k_M = 2,7$ ;

пусковых моментов  $k_{П} = 1,7$ ;

кратность пускового тока  $i_{II} = 7$ ;  
соединение обмоток статора — звезда.

**Найти:** число пар плюсов; номинальную частоту вращения ротора; номинальное фазное напряжение; номинальный фазный ток обмотки статора; номинальный момент на валу; критическое скольжение и момент двигателя; пусковой момент при номинальном напряжении и снижении его значения на 20%; пусковой ток; емкость конденсаторов для увеличения коэффициента мощности до 1 и начертить электрическую схему двигателя с включением конденсаторов.

<http://electrichelp.ru/raschet-parametrov-3-x-faznogo-ad-s-kz-rotorom/>

## Практическое занятие № 10

Расчет сечения проводов и кабелей

### 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Для того чтобы правильно подобрать сечение силового провода нам **нужно учитывать максимальную величину потребляемой нагрузки тока**. Определить значения токов можно, зная паспортную мощность потребителя, определяется по такой формуле:  $I = P / 220$ , где  $P$  — это мощность потребителя тока, а 220 — это количество вольт в вашей розетке. Соответственно если розетка на 110 или 380 вольт, то подставляем данное значение.

Важно знать, что расчет значения для однофазных, и трехфазных сетей различается. Для того чтобы узнать на сколько фаз сеть вам нужно, требуется подсчитать общую сумму потребления тока в вашем жилище. Приведем пример среднестатистического набора техники, которая может быть у вас дома.

Простой пример расчета сечения кабеля по потребляемому току, сейчас мы вычислим **сумму мощностей подключаемых электроприборов**. Основными потребителями в среднестатистической квартире являются такие приборы:

- Телевизор — 160 Вт
- Холодильник — 300 Вт
- Освещение — 500 Вт
- Персональный компьютер — 550 Вт
- Пылесос — 600 Вт
- СВЧ-печь — 700 Вт
- Электрочайник — 1150 Вт
- Утюг — 1750 Вт
- Бойлер (водонагреватель) — 1950 Вт
- Стиральная машина — 2650 Вт
- Всего 10310 Вт = 10,3 кВт.

Когда мы узнали общее потребление электричества, мы можем по формуле рассчитать сечение провода, для нормального функционирования проводки. Важно помнить что **для однофазных и трехфазных сетей формулы будут разные**.

Расчет сечения провода осуществляется с помощью следующей формулы:

$$I = (P \times K u) / (U \times \cos(\varphi) )$$

где:

**I** — сила тока;

**P** — мощность всех потребителей энергии в сумме

**K и** — коэффициент одновременности, как правило, для расчетов принимается общепринятое значение 0,75

**U** — фазное напряжение, которое составляет 220V но может колебаться в пределах от 210V до 240V.

**cos(φ)** — для бытовых однофазных приборов эта величина стала, и равняется 1.

Если есть необходимость рассчитать ток быстрее, то можно опустить значение  $\cos(\varphi)$  и значение  $K и$ . Результат в таком случае отличается в меньшую сторону на 15%, если мы применим формулу:

$$I = P / U$$



Когда мы нашли мощность потребления тока по формуле, можно начать выбирать кабель, **который подходит нам по мощности**. Вернее, его площади сечения. Ниже приведена специальная таблица в которой предоставлены данные, где сопоставляется величина тока, сечение кабеля и потребляемая мощность.

Данные могут различаться для проводов изготовленных из разных металлов. Сегодня для применения в жилых помещениях, как правило, используется медный, жесткий кабель. Алюминиевый кабель практически не применяется. Но все же во многих старых домах, алюминиевый кабель все еще присутствует.

Таблица расчетной мощности кабеля по току. Выбор сечения медного кабеля, производится по следующим параметрам:

Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Для кабеля с медными жилами			
	Напряжение 220V		Напряжение 380V	
	Ток, А	Мощность, кВт	Ток, А	Мощность, кВт
1.5	19	4.1	16	10.5
2.5	27	5.9	25	16.5
4	38	8.3	30	19.8
6	46	10.1	40	26.4
10	70	15.4	50	33.0
16	85	18.7	75	49.5
25	115	25.3	90	59.4
35	135	29.7	115	75.9
50	175	38.5	145	95.7
70	215	47.3	180	118.8
95	260	57.2	220	145.2
120	300	66	260	171.6

Также приведем таблицу для расчета потребляемого тока алюминиевого кабеля:

Сечение токопроводящей жилы, мм <sup>2</sup>	Для кабеля с алюминиевыми жилами			
	Напряжение 220V		Напряжение 380V	
	Ток, А	Мощность, кВт	Ток, А	Мощность, кВт
2.5	20	4.4	19	12.5
4	28	6.1	23	15.1
6	36	7.9	30	19.8
10	50	11	39	25.7
16	60	13.2	55	36.3
25	85	18.7	70	46.2
35	100	22	85	56.1
50	135	29.7	110	72.6
70	165	36.3	140	92.4
95	200	44.0	170	112.2
120	230	50.6	200	132.0

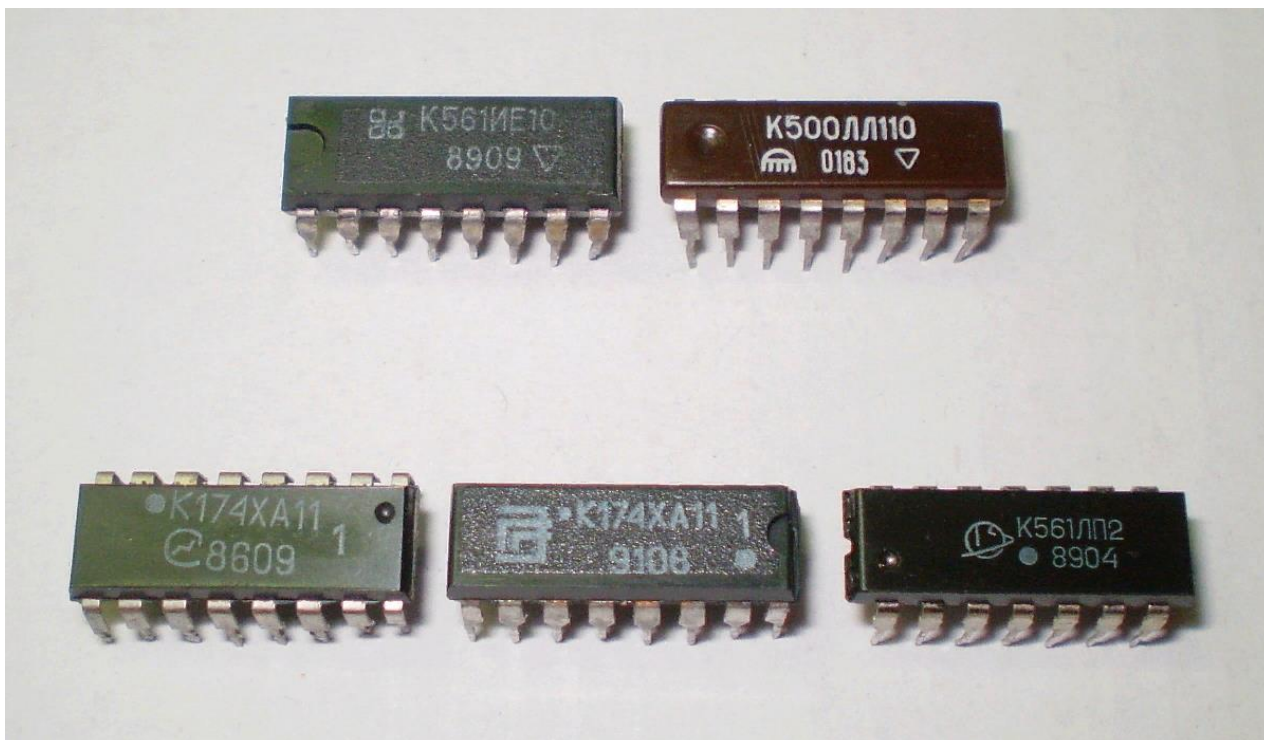
Если значение мощности получилось среднее между двумя показателями, то необходимо выбрать значение сечения провода в большую сторону. Так как запас мощности должен присутствовать.

## 2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Рассчитать размер кабеля для подключения стиральной машинки мощностью 2400 Вт.

Источник: <https://elquanta.ru/sovety/raschjot-secheniya-kabelya.html>

**Практическое занятие № 9** Сборка инвертирующего и не инвертирующего операционного усилителя



Определите микросхему по маркировке

<http://radiopages.ru/marker.html>

<https://elektrikaetoprosto.ru/microshem.html>