

**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

Квалификация: техник

Форма обучения: очная

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

Иркутск, 2026 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

Рассмотрена и одобрена на заседании ДЦК
Протокол № _____
от «18»05 2026г.
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 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 конденсаторов.

Определение электрической емкости батареи конденсаторов.

Практическое занятие № 2

Сборка электрической цепи. Последовательное, параллельное, смешанное соединение.

Определение ЭДС источника электрической энергии

Практическое занятие № 3

Расчет сложных электрических цепей методами законов Кирхгофа и узлового напряжения.

Эквивалентное сопротивление цепи

Практическое занятие № 4

Расчет магнитных цепей. Основные расчетные уравнения для магнитной цепи (участка, узла, контура).

Расчет неразветвленной однородной и неоднородной магнитных цепей.

Практическое занятие № 5

Соединение потребителей «звездой». Фазные и линейные напряжения и токи, векторные диаграммы. Роль нейтрального провода.

Практическое занятие № 6

Соединение потребителей «треугольником». Фазные и линейные напряжения и токи, векторные диаграммы.

Практическое занятие № 7

Классификация электрических сопротивлений. Измерение средних электрических сопротивлений косвенным методом.

Измерение средних сопротивлений мостом и омметром. Измерение больших сопротивлений мегомметром

Практическое занятие № 8

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 № 9

Подключение трансформатора в электрическую цепь

Практическое занятие № 10

регулирования частоты вращения трехфазного двигателя.

Практическое занятие № 11

Подключение синхронного двигателя

Практическое занятие № 12

Энергетические системы, Электростанции, Электросети. Распределение электрической энергии между потребителями

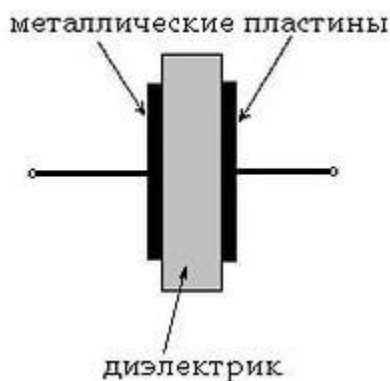
практическое занятие 1

Соединение конденсаторов

Определение электрической емкости батареи конденсаторов.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

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

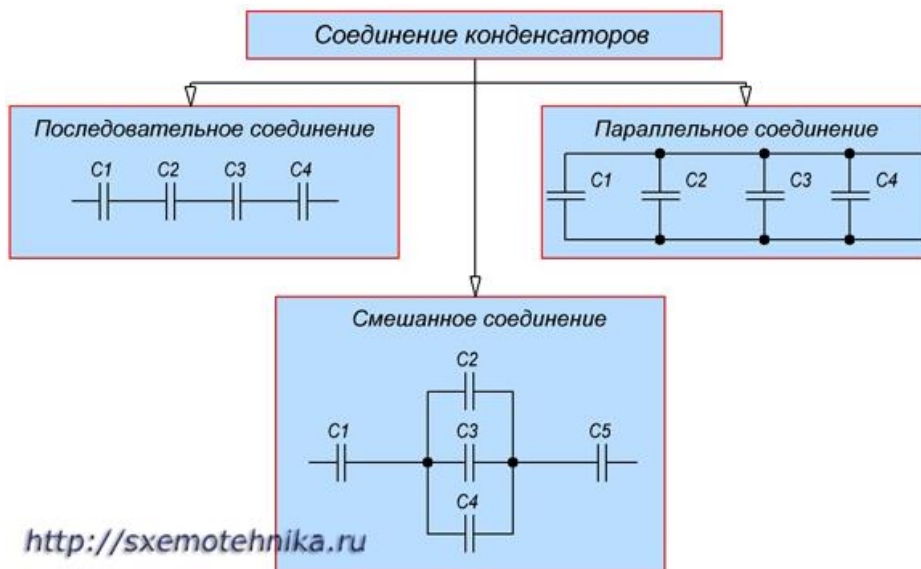


Емкость C конденсатора определяется как отношение заряда q , накопленного в конденсаторе, к разности потенциалов между его электродами (приложенному напряжению) U :

$$C = q / U$$

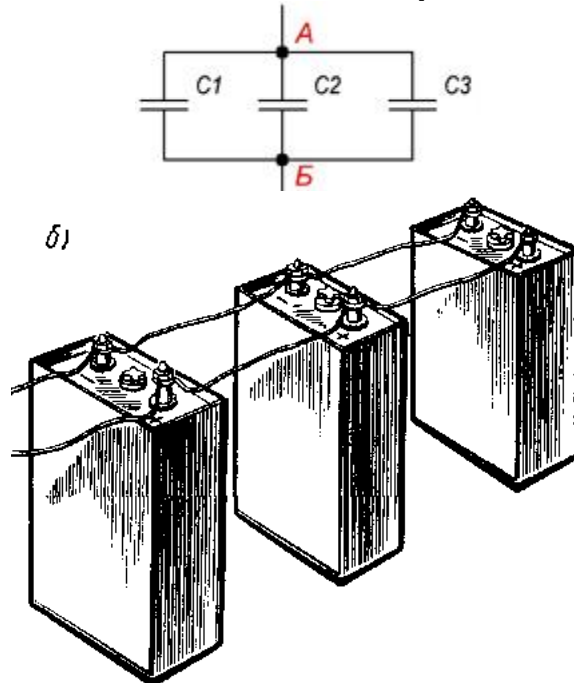
Иногда для получения необходимой величины электроемкости приходится соединять конденсаторы в группу, которая называется **батареей**.

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.

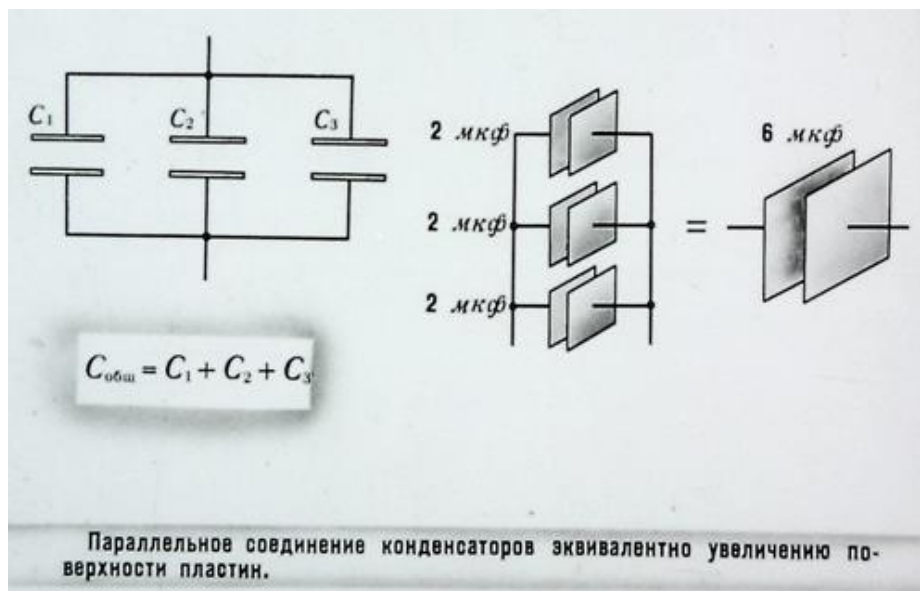
Если группа конденсаторов включена в цепь таким образом, что к точкам включения непосредственно присоединены пластины всех конденсаторов, то такое соединение называется **параллельным соединением конденсаторов**



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.

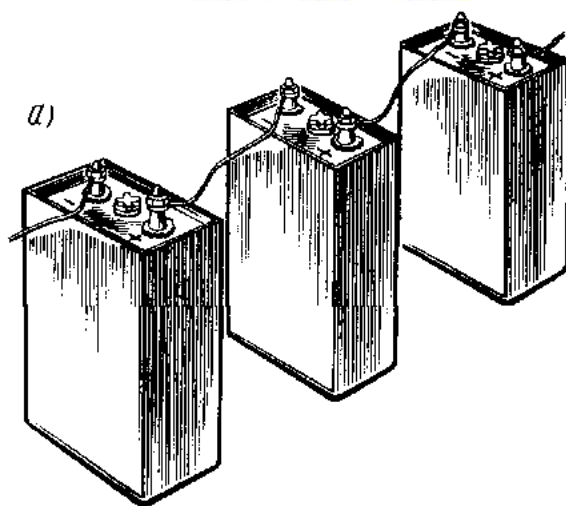
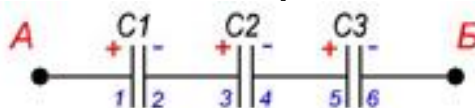
Общая емкость конденсаторов при параллельном соединении равна сумме емкостей всех соединенных конденсаторов.

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



Последовательное соединение конденсаторов.

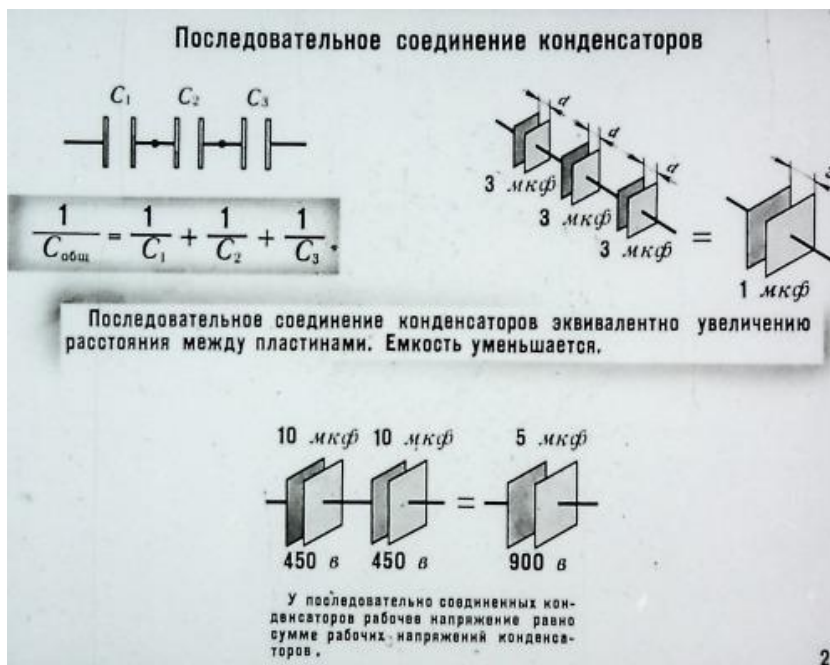
Если же соединение конденсаторов в батарею производится в виде цепочки и к точкам включения в цепь непосредственно присоединены пластины только первого и последнего конденсаторов, то такое **соединение конденсаторов** называется **последовательным**



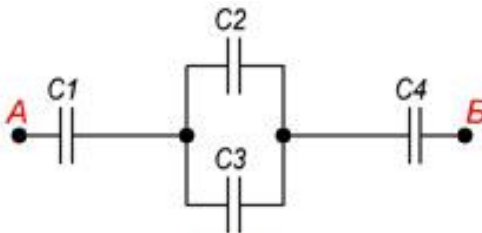
При заряде группы конденсаторов, соединенных последовательно, на конденсаторах малой емкости напряжения будут больше, а на конденсаторах большой емкости — меньше.

Для вычисления общей емкости при последовательном соединении конденсаторов удобнее всего пользоваться следующей формулой:

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

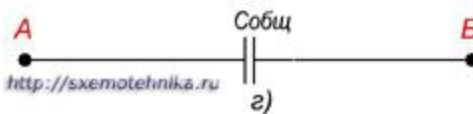
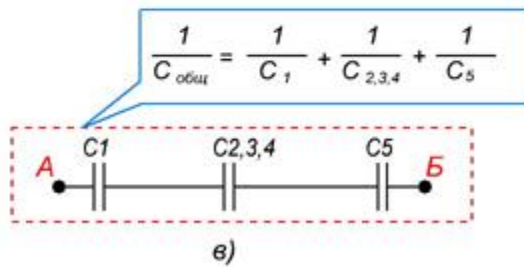
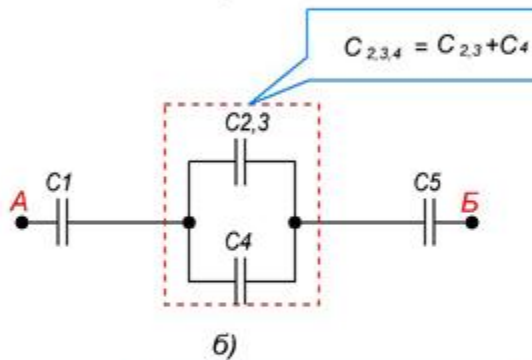
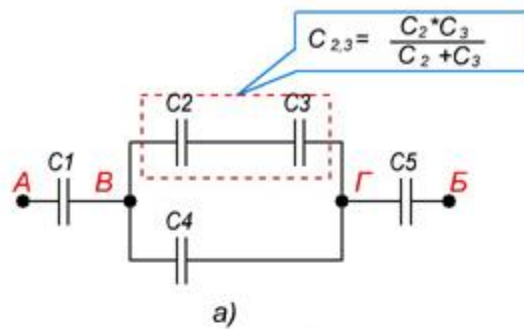


Последовательно-параллельное (смешанное) соединение конденсаторов
Последовательно-параллельным соединением конденсаторов называется цепь имеющая в своем составе участки, как с параллельным, так и с последовательным соединением конденсаторов.



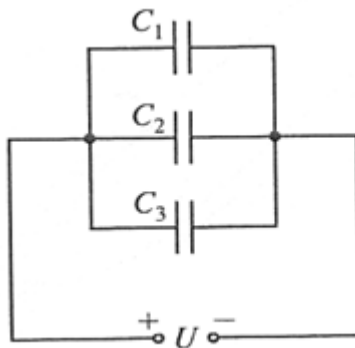
При расчете общей емкости такого участка цепи с последовательно-параллельным соединением конденсаторов этот участок разбивают на простейшие участки, состоящие только из групп с последовательным или параллельным соединением конденсаторов. Дальше алгоритм расчета имеет вид:

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.



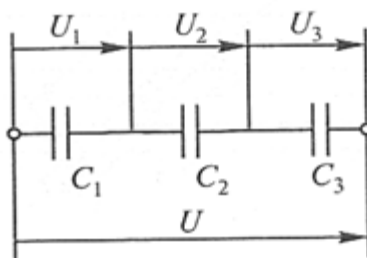
2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

а. Соберите конденсаторы параллельно, как показано на схеме:



б. Запишите в рабочей тетради значения C_1 ; C_2 ; C_3 и рассчитайте ёмкость батареи

с. 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 2

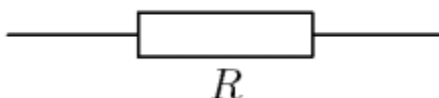
Сборка электрической цепи. Последовательное, параллельное, смешанное соединение. Определение ЭДС источника электрической энергии.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

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

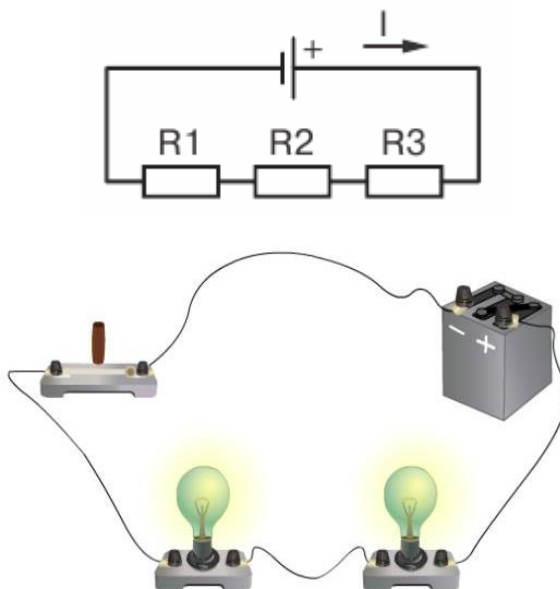
Различные комбинации последовательного и параллельного соединений называют смешанным соединением проводников.

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:



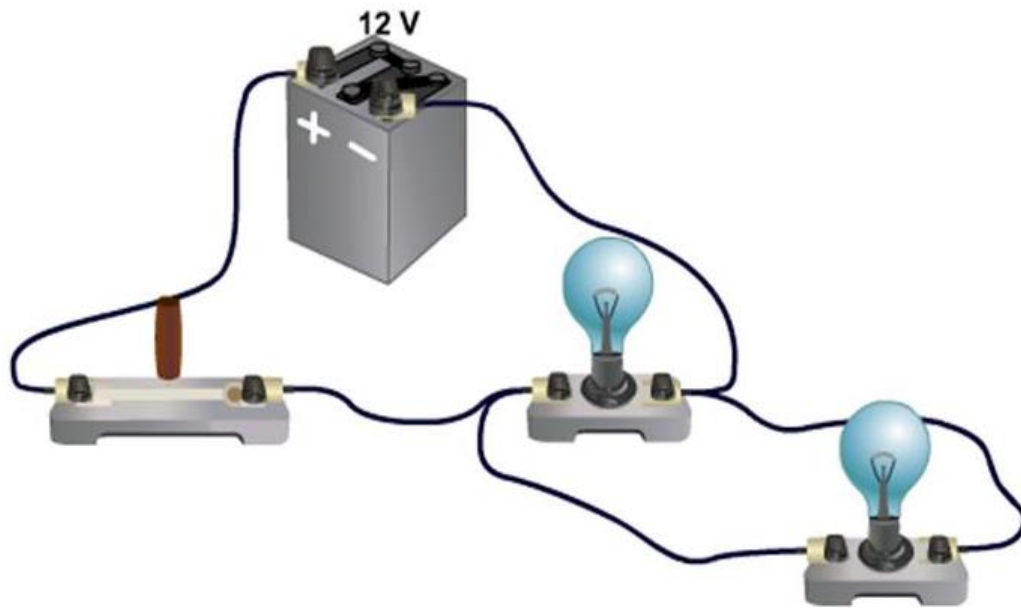
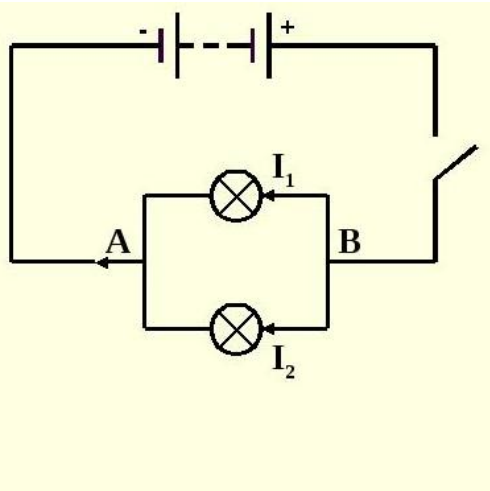
Такое соединение сопротивлений называется последовательным. Очевидно, что ток в такой цепи будет во всех ее точках один и тот же. $I_1=I_2=I_3=...=I_n$

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.



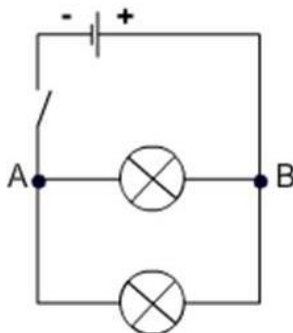
Основные свойства параллельного соединения:

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.

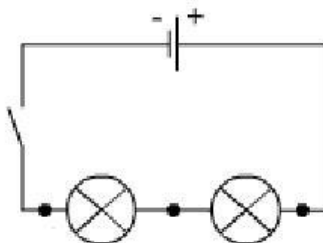
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1. Соберите проводники параллельно, как показано на схеме:

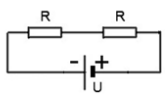
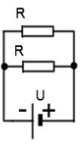


2.2. Соберите проводники последовательно, как показано на схеме:



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 № 3

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

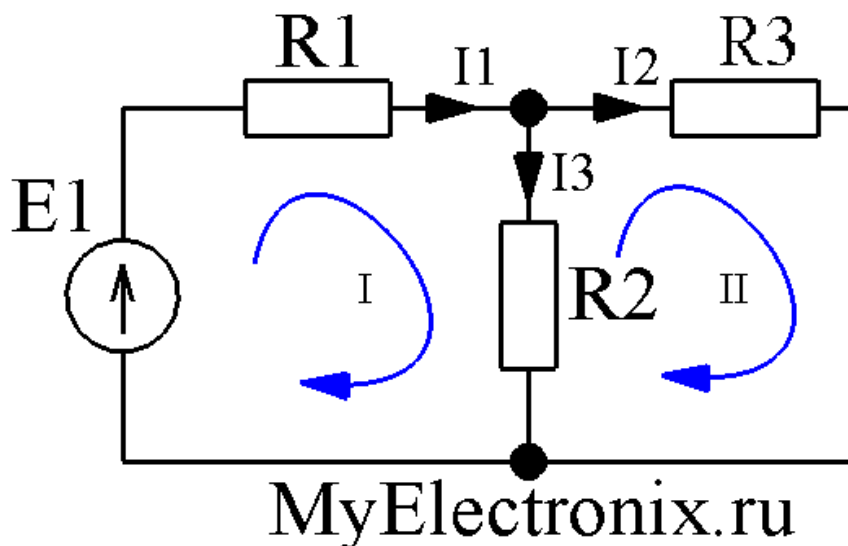


Рисунок 1 – Простая схема

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 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

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

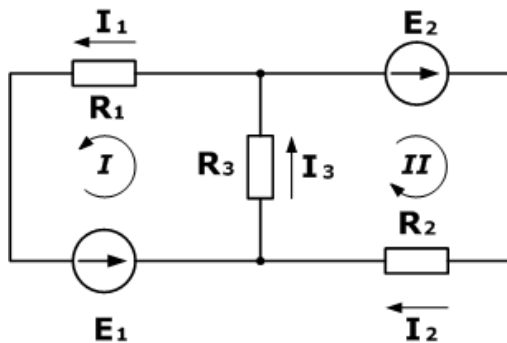
$$U_{R2} = I_3 \cdot R_2 \approx 8,13 \cdot 10^{-3} \cdot 510 = 4,15 \text{ В}$$

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

2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Решите задачу:

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

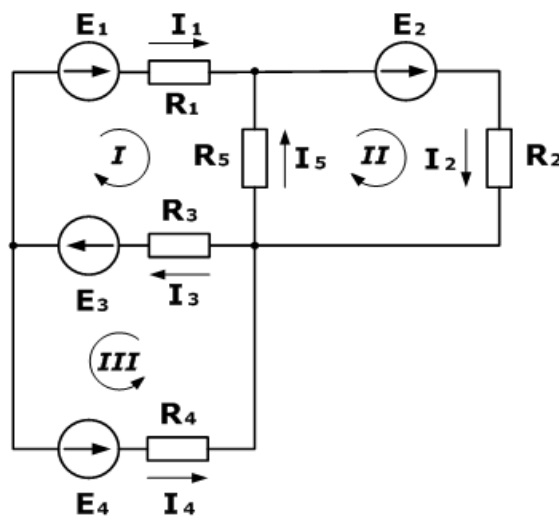


Дано

$$\begin{aligned} R_1 &= 100 \text{ Ом} \\ R_2 &= 150 \text{ Ом} \\ R_3 &= 150 \text{ Ом} \\ E_1 &= 75 \text{ В} \\ E_2 &= 100 \text{ В} \end{aligned}$$

$$I_1, I_2, I_3 - ?$$

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



Дано

$$\begin{aligned} R_1 &= 130 \text{ Ом} \\ R_2 &= 100 \text{ Ом} \\ R_3 &= 150 \text{ Ом} \\ R_4 &= 200 \text{ Ом} \\ R_5 &= 80 \text{ Ом} \\ E_1 &= 30 \text{ В} \\ E_2 &= 60 \text{ В} \\ E_3 &= 80 \text{ В} \\ I_5 &= 0,206 \text{ А} \end{aligned}$$

$$I_1, I_2, I_3, I_4 - ? \\ E_4 - ?$$

Практическое занятие № 4

Расчет магнитных цепей. Основные расчетные уравнения для магнитной цепи (участка, узла, контура).

Расчет неразветвленной однородной и неоднородной магнитных цепей.

1. 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.

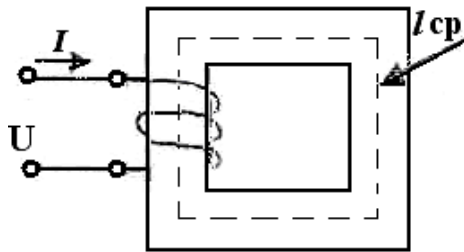
Источник магнитной энергии в реальных МЦ бывает двух видов:

- 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.

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

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

μ_0 - магнитная постоянная, $\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7}$ Гн /м

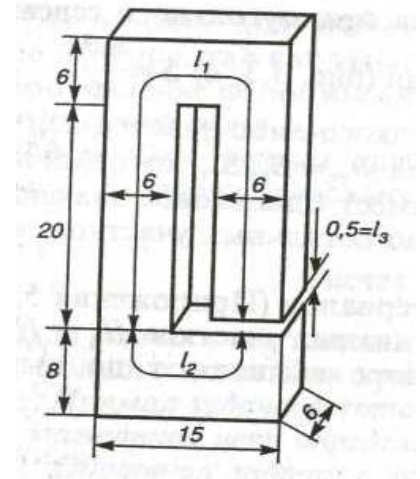
4. Магнитный поток: $\Phi = B \cdot S$ (Вб), где S - площадь поперечного сечения магнитопровода.

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.

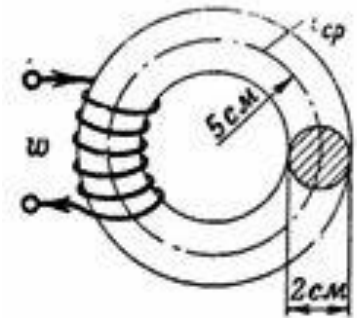
Задача 1

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 $\Phi = 15700$ Мкс = 0,000157 Вб? Средний радиус чугунного кольца $r = 5$ см, а диаметр его сечения $d = 2$ см



Практическое занятие № 5

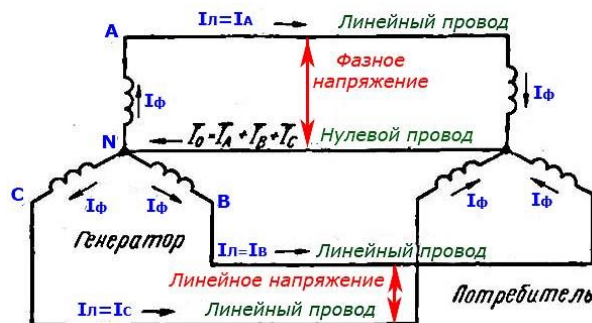
Соединение потребителей «звездой». Фазные и линейные напряжения и токи, векторные диаграммы. Роль нейтрального провода.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ



При соединении «звездой» все концы фазных обмоток генератора соединяются в общую точку (в связи с этим обычно буквы X, Y, Z не наносят). Точно так же «звездой» можно соединить сопротивления приемника. Общие точки обмоток генератора (0) и ветвей приемника (0₁) называются их нулевыми или нейтральными точками, а соединяющий их провод называется нулевым или нейтральным проводом. Остальные провода, соединяющие обмотки генератора с приемником, называются линейными.

Звезда	Обозначение
$U_{\text{л}} = \sqrt{3}U_{\text{ф}}$	$U_{\text{л}}, U_{\text{ф}}$ - линейное и фазовое напряжение, В,
$I_{\text{л}} = I_{\text{ф}}$	$I_{\text{л}}, I_{\text{ф}}$ - линейный и фазовый ток, А,
$S = 3S_{\text{ф}} = \sqrt{3}I_{\text{л}}U_{\text{л}}$	S - полная мощность, Вт
$P = \sqrt{3}I_{\text{л}}U_{\text{л}}\cos\varphi$	P - активная мощность, Вт



Приемники энергии, включенные в четырехпроводную систему звездой, одним проводом подсоединены к линейному проводу, а другим — к нулевому.

При равномерной нагрузке в нулевом проводе тока не будет и надобность в нем отпадает. Поэтому при симметричной нагрузке нулевой провод может отсутствовать.

Поэтому трехфазные двигатели переменного тока при равномерной нагрузке включаются в сеть звездой без нулевого провода.

При неравномерной нагрузке ток в нулевом проводе не равен нулю, поэтому он обязателен в четырехпроводной системе, хотя его и выполняют обычно с меньшим, чем линейные провода, поперечным сечением.

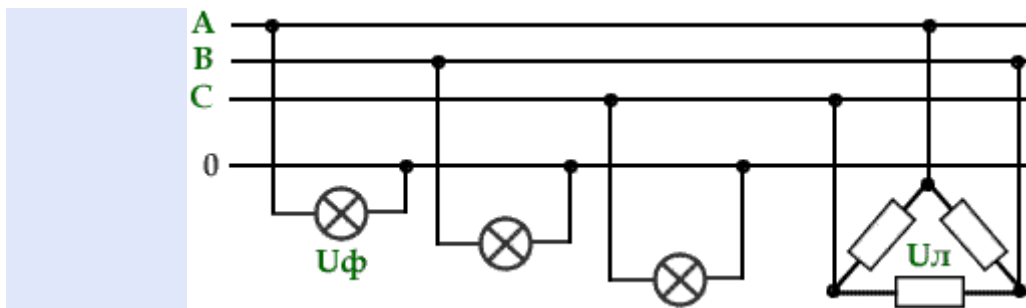


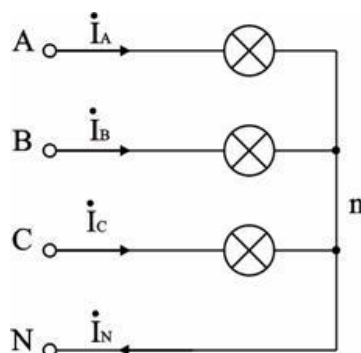
Схема включения потребителей электроэнергии в четырехпроводную сеть на фазное и линейное напряжения

2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Задача 1.

Освещение здания питается от четырехпроводной трехфазной сети с линейным напряжением $U_L = 380$ В. Первый этаж питается от фазы "А" и потребляет мощность 1760 Вт, второй – от фазы "В" и потребляет мощность 2200 Вт, третий – от фазы "С", его мощность 2640 Вт.

1. Составить электрическую схему цепи,
2. рассчитать токи, потребляемые каждой фазой,
3. вычислить активную мощность всей нагрузки.



При соединении звездой $U_L = \sqrt{3} U_\phi$, отсюда $U_\phi = U_L / \sqrt{3} = 380 / \sqrt{3} = 220$ В.

Осветительная нагрузка имеет коэффициент мощности $\cos \varphi = 1$,

поэтому $P_\phi = U_\phi \cdot I_\phi$ и фазные токи будут равны:

$$I_A = P_A / U_\phi = 1760 / 220 = 8 \text{ А}; \quad I_B = P_B / U_\phi = 2200 / 220 = 10 \text{ А};$$

$$I_C = P_C / U_\phi = 2640 / 220 = 12 \text{ А}.$$

Активная мощность цепи равна сумме мощностей ее фаз:

$$P = P_A + P_B + P_C = 1760 + 2200 + 2640 = 6600 \text{ Вт.}$$

Практическое занятие № 6

Соединение потребителей «треугольником». Фазные и линейные напряжения и токи, векторные диаграммы.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

При соединении фазных обмоток трехфазного генератора треугольником (рис. 1) начало H' одной фазы соединяют с концом K'' другой, начало другой H'' — с концом третьей K''' и начало третьей H''' фазы соединяют с концом первой H' .

Фазные обмотки генератора образуют замкнутый контур с малым внутренним сопротивлением. Но при симметричных э. д. с. (равных по величине и одинаково сдвинутых друг относительно друга) в фазах и при отключенной внешней цепи ток в этом контуре равен нулю, так как сумма трех симметричных э. д. с. в любой момент равна нулю. При таком соединении напряжения между линейными проводами равны напряжениям на фазных обмотках:

$$U_{AB} = U_{\phi}$$

$$U_{BC} = U_{\phi}$$

$$U_{CA} = U_{\phi}$$

Если все три фазы генератора нагружены совершенно одинаково, то в линейных проводах текут равные токи. Каждый из этих линейных токов равен геометрической разности токов в двух смежных фазах. Так, вектор линейного тока I_c равен геометрической сумме векторов в фазах I_{ca} и I_{cb} (рис. 2, а). Векторы фазных токов сдвинуты друг относительно друга на угол 120° (рис. 2, б).

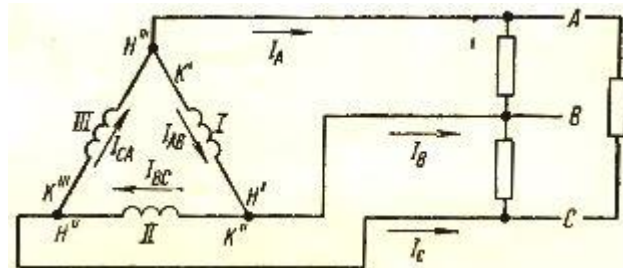


Рис. 1. Соединение обмоток генератора треугольником.

Из рисунка 2, б следует, что абсолютная величина линейного тока

$$I_{\text{л}} = I_{\phi} \cdot \cos 30^\circ + I_{\phi} \cdot \cos 30^\circ = 2I_{\phi} \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3} \cdot I_{\phi}$$

Аналогично обмоткам генератора трехфазную нагрузку можно [включать в звезду](#) и [треугольник](#).

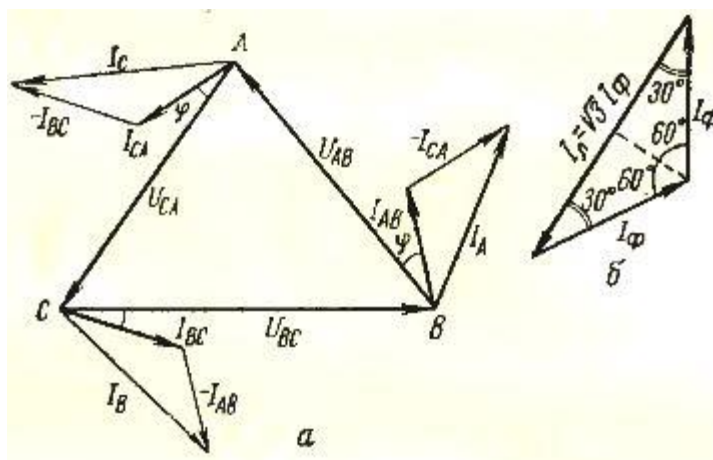


Рис. 2. Векторная диаграмма токов.

Так, трехфазные электрические двигатели рассчитаны на соединение обмоток в зависимости от напряжения в сети в звезду Y или в треугольник Δ.

Если в сети нет нулевого провода и, таким образом, потребитель имеет в своем распоряжении три линейных напряжения, он может искусственно создать фазные напряжения. Для этой цели три одинаковых сопротивления (нагрузки) включают в сеть по схеме звезда. Каждая из этих нагрузок окажется включенной на фазное напряжение (рис. 3):

$$U_{\phi} = \frac{U_L}{\sqrt{3}}$$

Соединение обмоток генератора по схеме треугольник применяют главным образом на передвижных электростанциях небольшой мощности с ограниченной по протяженности сетью (электростанции электростригальных агрегатов и др.).

В четырехпроводной трехфазной системе нулевой провод надежно заземлен на электростанции, на ответвлениях сети и через определенные расстояния по линии. Этот провод используется для заземления металлических корпусов токоприемников у потребителя.

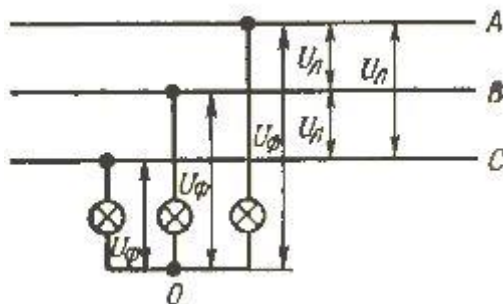


Рис. 3. Включение трех равных по сопротивлению токоприемников по схеме звезда в три линейных провода.

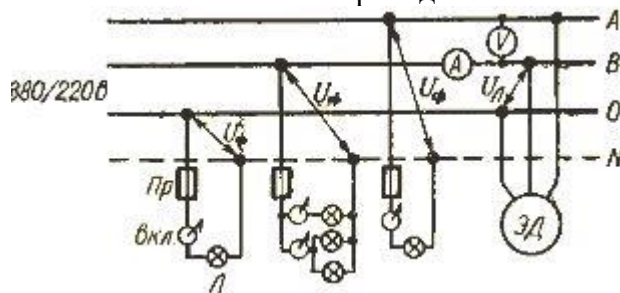


Рис. 4. Схема включения в трехфазную четырехпроводную сеть осветительной (220 В) и силовой (380 В) нагрузок.

На рисунке 4 приведена схема включения в трехфазную четырехпроводную сеть осветительной и силовой нагрузок. Осветительная нагрузка включена на фазное напряжение 220 В. Стремятся равномерно загрузить однофазной нагрузкой все три фазы. С этой целью по одной улице населенного пункта для освещения проводят одну фазу с нулевым проводом, по другой — вторую фазу и нулевой провод, по третьей — третью и нулевой провод и т. д. Силовую нагрузку (электродвигатели, сварочные трансформаторы), а также мощные нагревательные трехфазные приборы включают на линейное напряжение.

2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Решение задач

1. Три одинаковые индуктивные катушки включены в сеть трехфазного тока с линейным напряжением $U_{\text{л}} = 220$ В. Активное сопротивление каждой катушки $R = 7$ Ом и индуктивное $X_L = 24$ Ом. Определить линейный ток $I_{\text{л}}$ и мощность P , потребляемую индуктивными катушками, если они будут включены в цепь по схеме «звезда».
2. Три одинаковые индуктивные катушки включены в сеть трехфазного тока с линейным напряжением $U_{\text{л}} = 220$ В. Активное сопротивление каждой катушки $R = 6$ Ом и индуктивное $X_L = 30$ Ом. Определить линейный ток $I_{\text{л}}$ и мощность P , потребляемую индуктивными катушками, если они будут включены в цепь по схеме «треугольник».
3. Электродвигатель трехфазного тока мощностью 12 кВт включен в сеть с напряжением 220 В. Коэффициент мощности двигателя равен 0,8. Найдите ток, потребляемый двигателем из сети.
4. Первая индуктивная катушка имеет активное сопротивление $R_1 = 2$ Ом и индуктивное $X_{L1} = 24$ Ом. У второй индуктивной катушки $R_2 = 3$ Ом и $X_{L2} = 16$ Ом, третья катушка имеет $R_3 = 4$ Ом и $X_{L3} = 30$ Ом. Индуктивные катушки соединены по схеме «треугольник» и включены в сеть с напряжением 220 В. Определите активную мощность, потребляемую первой катушкой из сети.

Практическое занятие № 7

Классификация электрических сопротивлений. Измерение средних электрических сопротивлений косвенным методом.

Измерение средних сопротивлений мостом и омметром. Измерение больших сопротивлений мегомметром.

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.

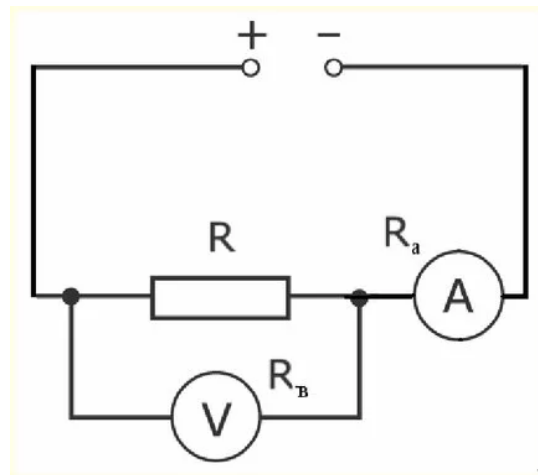
При измерении **малых сопротивлений** необходимо принимать меры для устранения влияния на результат измерения сопротивления соединительных проводов, контактов и термо-ЭДС.

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

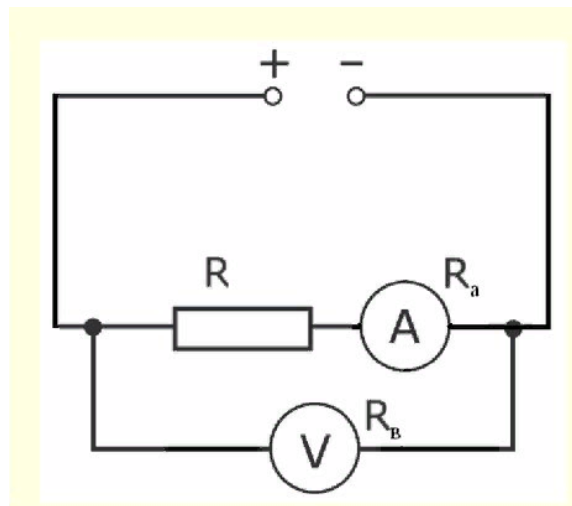
При измерении **больших сопротивлений** необходимо учитывать наличие объемного и поверхностного сопротивлений, влияние температуры, влажности и других факторов.

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:

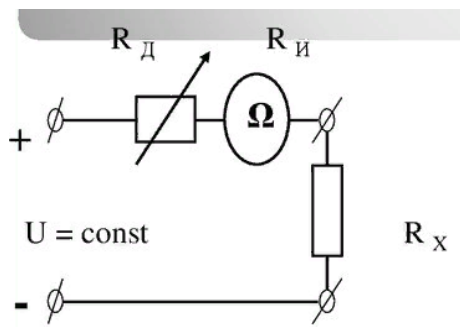


Потому что в данном случае $I_A \approx I_R$ из-за большого внутреннего сопротивления вольтметра относительно R и будет выполнено равенство $I_V \ll I_R$. При среднем значении R рекомендована такая схема:



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:

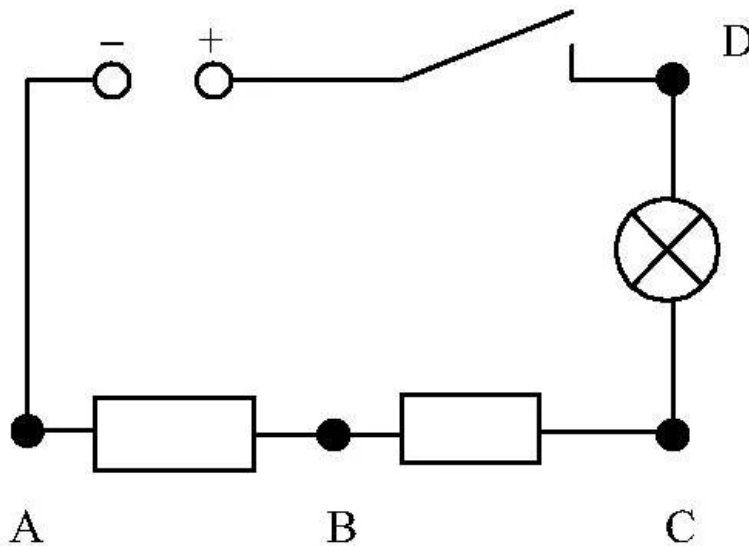


Омметры довольно таки удобны в практическом применении, но они имеют довольно высокую погрешность (класс точности 2,5). Это связано с нестабильностью источника питания и неравномерностью шкалы. Дабы устранить причину неравномерности шкалы в омметрах стали использовать логометрические измерительные механизмы.

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

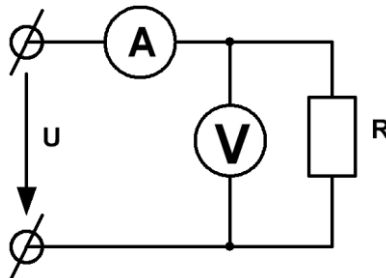
Закрепите полученные навыки при помощи автомобильного аккумулятора и мультиметра

Практическое занятие № 8

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.

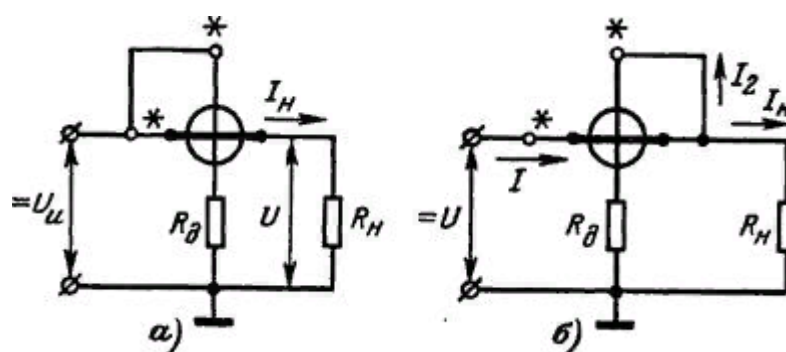


Однако в этом случае необходимо производить одновременный отсчет по двум приборам и вычисления, усложняющие измерения и снижающие его точность.

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).

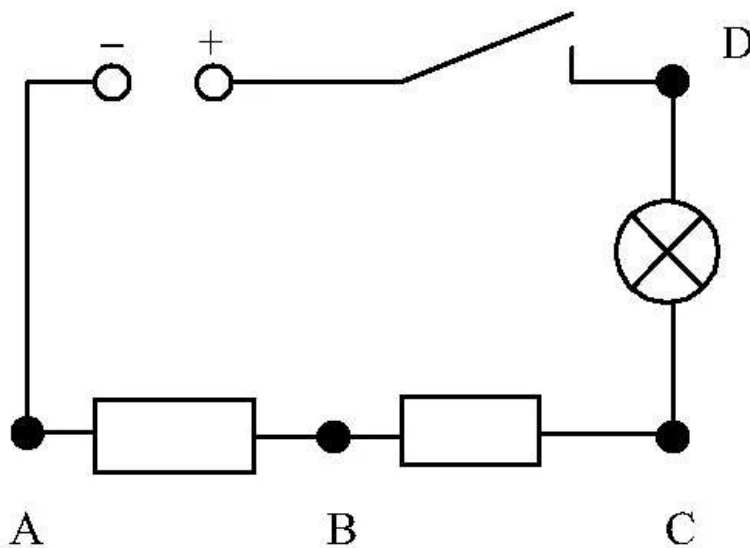
Ферродинамические ваттметры чаще всего встречаются в виде щитовых приборов относительно низкого класса точности (1,5 - 2,5).

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 № 9

Подключение трансформатора в электрическую цепь

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.

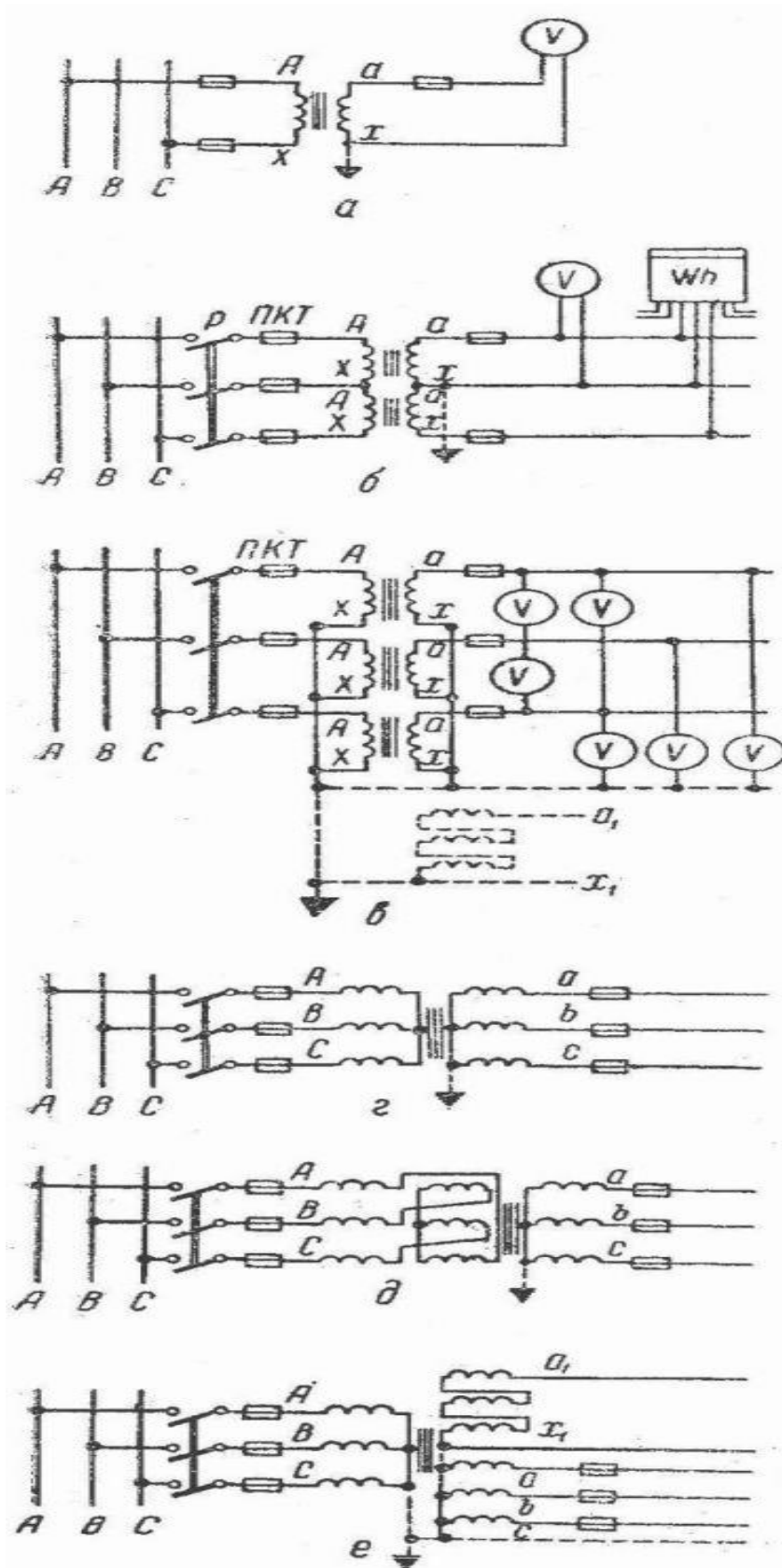


Рис. 1. Схемы включения трансформаторов напряжения

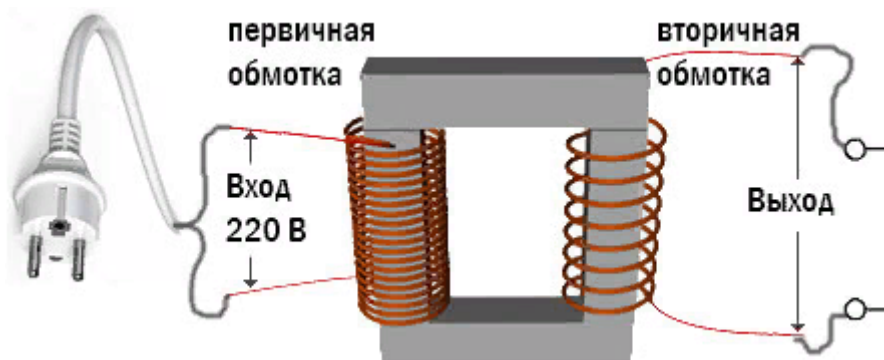
На схеме рис. 1, г показано включение трехфазного трехстержневого трансформатора, который позволяет изменять только линейные напряжения. Этот трансформатор непригоден для контроля изоляции, заземление его первичной обмотки не допускается. Дело в том, что при заземлении первичной обмотки, в случае возникновения 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 № 10

регулирования частоты вращения трехфазного двигателя.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

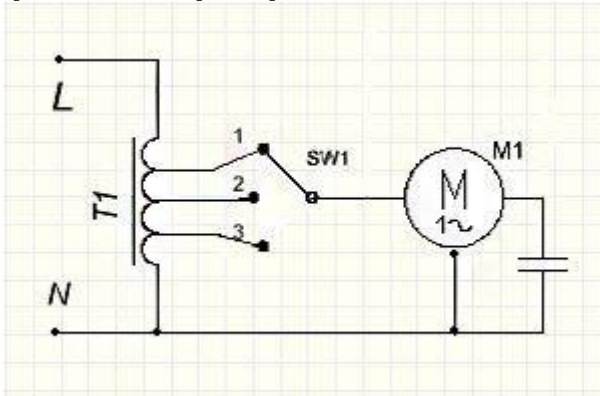
Регулировка оборотов любого трехфазного электродвигателя, используемого в подъемно-транспортной технике и оборудовании, позволяет добиться требуемых режимов работы точно и плавно, что далеко не всегда возможно, например, за счет механических редукторов. На практике используется семь основных методов коррекции скорости вращения, которые делятся на два ключевых направления:

1. Изменение скорости магнитного поля в статоре. Достигается за счет частотного регулирования, переключения числа полюсных пар или коррекции напряжения. Следует добавить, что эти методы применимы для электродвигателей с короткозамкнутым ротором;
2. Изменение величины скольжения. Этот параметр можно откорректировать за счет питающего напряжения, подключения дополнительного сопротивления в электрическую цепь ротора, применения вентиляного каскада или двойного питания. Используется для моделей с фазным ротором.

Наиболее востребованными методами являются регулирование напряжения и частоты (за счет применения преобразователей), а также изменение количества полюсных пар (реализуется путем организации дополнительной обмотки с возможностью переключения).

2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Автотрансформатор - это обычный трансформатор, но с одной обмоткой и с отводами от части витков. При этом нет гальванической развязки от сети, но она в данном случае и не нужна, поэтому получается экономия из-за отсутствия вторичной обмотки.



На схеме изображён автотрансформатор **T1**, переключатель **SW1**, на который приходят отводы с разным напряжением, и двигатель **M1**.

Регулировка получается ступенчатой, обычно используют не более 5 ступеней регулирования.

Преимущества данной схемы:

неискажённая форма выходного напряжения (чистая синусоида)

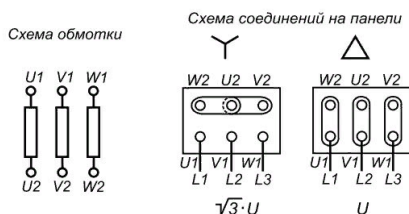
хорошая перегрузочная способность трансформатора

Недостатки:

большая масса и габариты трансформатора (зависят от мощности нагрузочного мотора)

все недостатки присущие регулировке напряжением

1. Подключите автотрансформатор к электродвигателю



2. Включите двигатель
3. Изменяя выходное напряжение, измените частоту вращения двигателя
4. Результаты занесите в тетрадь

Практическое занятие № 11

Подключение синхронного двигателя

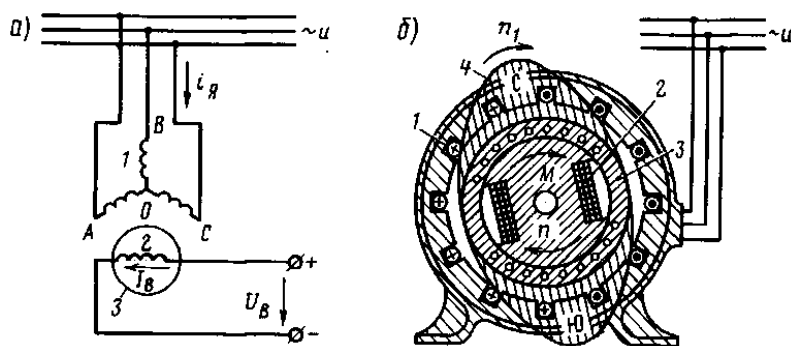
1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Способы пуска синхронного электродвигателя

Возможны следующие способы пуска синхронного двигателя: асинхронный пуск на полное напряжение сети и пуск на пониженное напряжение через реактор или [автотрансформатор](#).

2. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Включите синхронный двигатель как показано на схеме



Практическое занятие № 12

Энергетические системы, Электростанции, Электросети. Распределение электрической энергии между потребителями

1. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Используя электронный конструктор, соберите генераторы электрического тока:

1. Электромагнитный;
2. Химический;
3. Использующий солнечную энергию;