

Министерство образования и науки Челябинской области  
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение  
«Южно-Уральский государственный технический колледж»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ  
«Основы электротехники»**

для специальности  
08.02.01 «Строительство и эксплуатация зданий и сооружений»  
(актуализированный ФГОС)

Челябинск, 2022

## **АКТ СОГЛАСОВАНИЯ**

**на методические рекомендации по выполнению практических работ по учебной дисциплине «Основы электротехники», разработанные преподавателем ГБПОУ «ЮУрГТК» Василенко И.Н.**

Методические рекомендации предназначены для проведения практических работ по учебной дисциплине «Основы электротехники». Рекомендации составлены в соответствии с утвержденной программой для студентов специальности 08.02.01 Строительство и эксплуатация зданий и сооружений.

Практические работы являются важным элементом в формировании умений, предусмотренных программой и предъявляемых к будущим специалистам. Представленное издание рассчитано на 8 практических работ общим объемом 18 часов. Задания разнообразны по форме: студентам предлагается заполнить таблицы, решить задачи, строить и анализировать графики.

Достоинства разработки: содержание практических работ направлено на формирование технического мышления.

Представленные методические рекомендации по выполнению практических работ могут быть рекомендованы для использования в учебном процессе.

## **ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА**

Методические рекомендации предназначены для выполнения практических работ по дисциплине «Основы электротехники» студентами специальности 08.02.01 «Строительство и эксплуатация зданий и сооружений» с базовой и углубленной подготовкой.

В методических рекомендациях приведён перечень практических работ по дисциплине, методические указания к выполнению каждой работы и задания по вариантам. Методические рекомендации предназначены для студентов очной и заочной форм обучения.

Пособие подготовлено в соответствии с требованиями Федерального Государственного образовательного стандарта специальности 08.02.01 «Строительство и эксплуатация зданий и сооружений», в соответствии рабочей программой по дисциплине «Основы электротехники».

Дисциплина «Основы электротехники» является общепрофессиональной дисциплиной профессионального цикла

**В результате выполнения практических работ студент должен уметь:**

- читать электрические схемы;
- вести оперативный учет работы энергетических установок.

**знать:**

- основы электротехники и электроники;
- устройство и принцип действия электрических машин и трансформаторов;
- устройство и принцип действия аппаратуры управления электроустановками.

## ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

Вид, название и краткое содержание	Часы на выполнение работы
<b>Практическая работа №1.</b> «Расчёт цепей со смешанным соединением резисторов».	2 часа
<b>Практическая работа №2.</b> «Расчёт неразветвленной цепи переменного тока».	2 часа
<b>Практическая работа №3.</b> «Расчёт симметричной трёхфазной цепи»	2 часа
<b>Практическая работа №4.</b> «Расчёт основных характеристик силовых трансформаторов».	2 часа
<b>Практическая работа №5.</b> «Расчет основных характеристик асинхронных двигателей».	2 часа
<b>Практическая работа №6.</b> «Расчет основных характеристик машин постоянного тока».	2 часа
<b>Практическая работа №7.</b> «Исследование схемы управления асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором».	2 часа
<b>Практическая работа № 8.</b> «Расчет электроснабжения строительной площадки»	4 часа

## **ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТА**

**Каждая отчетная работа должна содержать:**

1. Номер и название практической работы.
2. Цель работы.
3. Задание, согласно варианту
3. Электрические схемы для расчётов.
4. Название методики расчёта и расчётные формулы.
5. Расчеты с необходимыми пояснениями.
6. Графики и диаграммы, построенные по результатам расчетов, если это требуется по заданию.
7. Выводы по работе.

Каждая отчетная работа должна быть аккуратно оформлена и вложена в папку с файлами. Схемы вычерчиваются в соответствии с требованиями ГОСТа с помощью условных обозначений. Графическая часть отчета (схемы, диаграммы, графики) выполняются карандашом с применением чертежных инструментов. Отчет можно выполнять в рукописном варианте или с применением ПК. Первый файл в папке должен содержать титульный лист установленного образца (приложение А). Каждая отчетная работа подписывается преподавателем после её защиты и хранится в папке у студента до конца текущего семестра. В конце семестра студент обязан сдать папку со всеми, подписанными преподавателем, работами и получить зачёт по практическим работам за семестр. Зачёт по практическим работам за семестр ставится при наличии в папке всех отчетных работ, проведенных в группе.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

### Расчёт цепи постоянного тока методом эквивалентного сопротивления

- Цель работы:**
1. Освоить метод эквивалентного сопротивления при расчёте цепи постоянного тока
  2. Выполнить проверку расчёта при помощи законов Кирхгофа и баланса мощностей.

*В результате выполнения практической работы студент должен:*

**знать:** - основные законы электротехники, и методики расчёта, применяемые при расчёте цепи постоянного тока

**уметь:** - производить расчёт цепи постоянного тока и выполнять его проверку.

### Краткие теоретические сведения

Выполнение практической работы требует знаний закона Ома для всей цепи и ее участков, законов Кирхгофа, методики определения эквивалентного сопротивления цепи при смешанном соединении резисторов, а также умения вычислять мощность электрического тока. Для освоения методики расчёта следует рассмотреть типовой пример

Пример 1.1. В цепи со смешанным соединением резисторов (рис. 1,а)

$r_1 = 25 \text{ Ом}$ ,  $r_2 = 40 \text{ Ом}$ ,  $r_3 = 100 \text{ Ом}$ ,  $r_4 = 150 \text{ Ом}$ ,  $U = 100 \text{ В}$ . Определить  $R_{\text{экв}}$ ,  $I$ ,  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$ ,  $I_4$ . Составить баланс мощностей.

Решение. Обозначаем на схеме узлы А, В, С. Определяем, как соединены между собой резисторы, указываем направления токов и обозначаем каждый ток на схеме. Определяем эквивалентные сопротивления каждого участка цепи и, постепенно упрощая схему, определяем эквивалентное сопротивление всей цепи. Резисторы  $r_3$  и  $r_4$  соединены параллельно (между узлами В и С), их эквивалентное сопротивление

$$r_{34} = r_3 \cdot r_4 / (r_3 + r_4) = 100 \cdot 150 / (100 + 150) = 60 \text{ Ом}$$

Чертим эквивалентную упрощенную схему (рис. 1,б), заменяя  $r_3$  и  $r_4$  эквивалентным сопротивлением  $r_{34}$ . Из этой схемы видно, что резисторы

$\Gamma_2$  и  $\Gamma_{34}$  соединены последовательно (между ними нет узлов), поэтому через них протекает ток  $I_2$ . Определяем эквивалентное сопротивление резисторов  $\Gamma_2$  и  $\Gamma_{34}$ :

$$\Gamma_{2-4} = \Gamma_2 + \Gamma_{34} = 40 + 60 = 100 \text{ Ом}$$

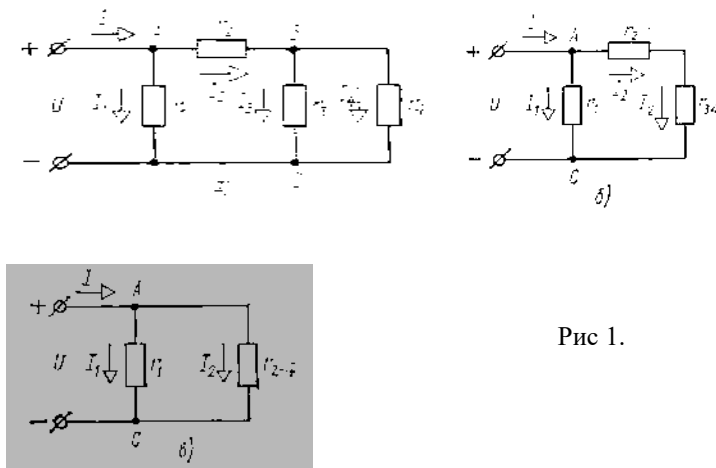


Рис 1.

Чертим упрощенную схему цепи (рис.1,в), заменяя  $\Gamma_2$  и  $\Gamma_{34}$  эквивалентным сопротивлением  $\Gamma_{2-4}$ , по которому протекает тот же ток  $I_2$ . Из схемы видно, что резисторы  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_{2-4}$  соединены параллельно (между узлами А и С) и подключены к зажимам источника. Определяем эквивалентное сопротивление всей цепи

$$\Gamma_{\text{экв}} = \Gamma_1 \cdot \Gamma_{2-4} / (\Gamma_1 + \Gamma_{2-4}) = 25 \cdot 100 / (25 + 100) = 20 \text{ Ом}$$

Определяем токи, начиная с самой простой схемы (см. рис. 1,в), из которой видно, что вся цепь и каждая из параллельных ветвей с сопротивлениями  $\Gamma_1$  и  $\Gamma_{2-4}$  включены на одинаковое напряжение, равное напряжению источника.

$$I = U/r = 100/20 = 5 \text{ А};$$

$$I_1 = U/r_1 = 100/25 = 4 \text{ А};$$

$$I_2 = U/\Gamma_{2-4} = 100/100 = 1 \text{ А}.$$

Для проверки правильности решения общий ток  $I$  можно определить по первому закону Кирхгофа

$$\mathbf{I = I_1 + I_2 = 4+1 =5\ A.}$$

Чтобы определить токи  $\mathbf{I_3}$  и  $\mathbf{I_4}$  (см. рис. 1,а), нужно знать напряжение  $\mathbf{U_{34}}$  на параллельно соединенных резисторах  $\mathbf{r_3}$  и  $\mathbf{r_4}$ . Это напряжение можно узнать из схемы, изображенной на рис. 1,б где резисторы  $\mathbf{r_3}$  и  $\mathbf{r_4}$  заменены эквивалентным  $\mathbf{r_{34}}$ , по которому течет ток  $\mathbf{I_2}$ .

Таким образом,

$$\mathbf{U_{34} = I_2 r_{34} = 1 \cdot 60 = 60\ B;}$$

$$\mathbf{I_3 = U_{34} / r_3 = 60/100 = 0,6\ A;}$$

$$\mathbf{I_4 = U_{34} / r_4 = 60/150 = 0,4\ A,}$$

$$\text{или } \mathbf{I_4 = I_2 - I_3 = 1 - 0,6 = 0,4\ A.}$$

Составляем баланс мощностей:

$$\mathbf{P_{\pi} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4;}$$

$$\mathbf{P_{\pi} = U \cdot I} \text{ — мощность источника энергии;}$$

$$\mathbf{P_1 + P_2 + P_3 + P_4}$$
 — сумма мощностей приёмников, где

$$\mathbf{P_i = I_i^2 \cdot r_i}$$

$$i \text{ — номер приёмника}$$

$$\mathbf{100 \cdot 5 = 4^2 \cdot 25 + 1^2 \cdot 40 + 0,6^2 \cdot 100 + 0,4^2 \cdot 150;}$$

$$\mathbf{500 = 400 + 40 + 36 + 24;}$$

$$\mathbf{500\ B_T = 500\ B_T.}$$



## Варианты заданий к практической работе №1.

В электрической цепи со смешанным соединением резисторов (Таблица1).

Вычислить токи, напряжения и мощности каждого участка цепи и всей цепи, определить ЭДС источника. Составить баланс мощностей.

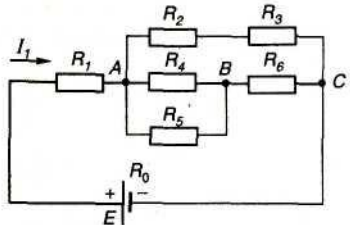
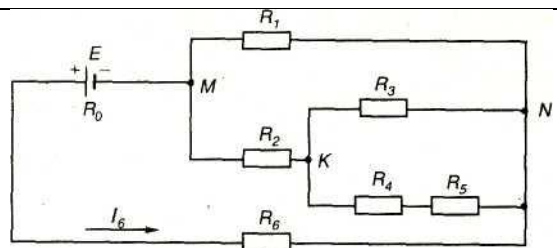
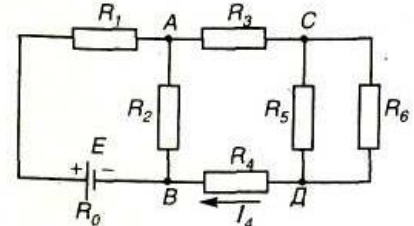
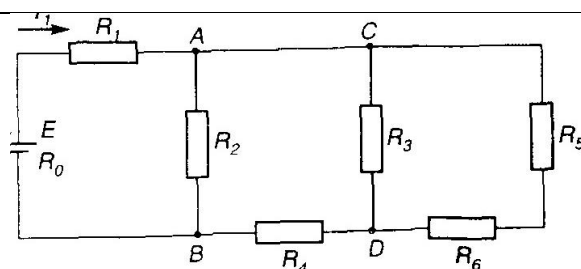
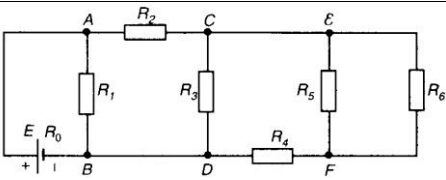
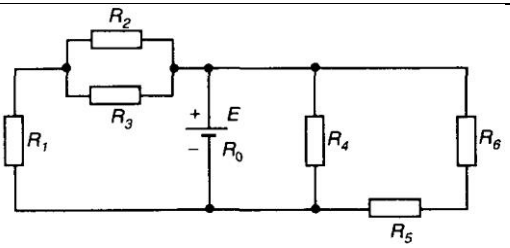
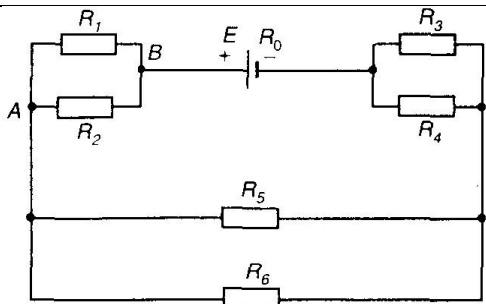
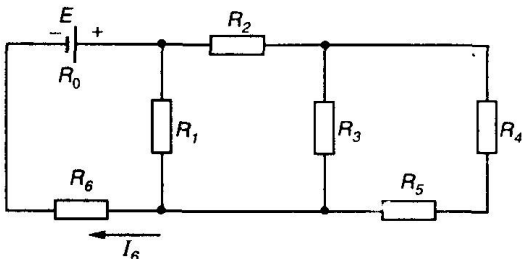
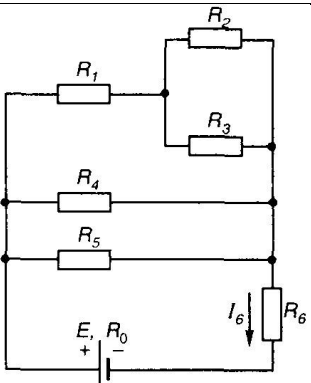
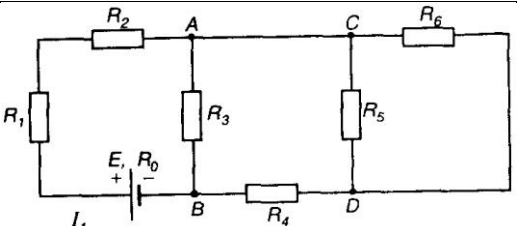
Вариант №	Данные для расчётов	Схема электрической цепи
<b>1</b>	$I_1 = 5 \text{ A}$ ; $R_1 = 19 \text{ Ом}$ ; $R_2 = 70 \text{ Ом}$ ; $R_3 = 30 \text{ Ом}$ ; $R_4 = 60 \text{ Ом}$ ; $R_5 = 30 \text{ Ом}$ ; $R_6 = 50 \text{ Ом}$ ; $R_0 = 1 \text{ Ом}$	 <p style="text-align: right;">Рис.1.1</p>
<b>2</b>	$I_6 = 100 \text{ A}$ ; $R_1 = 15 \text{ Ом}$ ; $R_2 = 2 \text{ Ом}$ ; $R_3 = 13,3 \text{ Ом}$ ; $R_4 = 10 \text{ Ом}$ ; $R_5 = 10 \text{ Ом}$ ; $R_6 = 3,9 \text{ Ом}$ ; $R_0 = 0,1 \text{ Ом}$ ;	 <p style="text-align: right;">Рис.1.2</p>
<b>3</b>	$I_4 = 6 \text{ A}$ ; $R_1 = 40 \text{ Ом}$ ; $R_2 = 86 \text{ Ом}$ ; $R_3 = 10 \text{ Ом}$ ; $R_4 = 14 \text{ Ом}$ ; $R_5 = 50 \text{ Ом}$ ; $r = 0,4 \text{ Ом}$ ; $U_5 = 100 \text{ В}$ .	 <p style="text-align: right;">Рис.1.3</p>
<b>4</b>	$R_1 = 4,8 \text{ Ом}$ , $R_2 = 6,25 \text{ Ом}$ , $R_3 = 60 \text{ Ом}$ , $R_4 = 5 \text{ Ом}$ , $R_5 = 15 \text{ Ом}$ , $R_6 = 15 \text{ Ом}$ , $R_0 = 0,2 \text{ Ом}$ , $I_1 = 5 \text{ A}$ .	

Таблица 1

Вариант №	Данные для расчётов	Схема электрической цепи
5	$R_1 = 20 \text{ Ом}; R_2 = 5 \text{ Ом}; R_3 = 30 \text{ Ом}; R_4 = 10 \text{ Ом};$ $R_5 = 25 \text{ Ом};$ $R_6 = 100 \text{ Ом}; R_0 = 0,5 \text{ Ом};$ $E = 210 \text{ В}.$	 <p style="text-align: right;">Рис. 1.5</p>
6	$R_1 = 10 \text{ Ом}, R_2 = 80 \text{ Ом},$ $R_3 = 26,6 \text{ Ом}, R_4 = 60 \text{ Ом},$ $R_5 = 50 \text{ Ом}, R_6 = 10 \text{ Ом},$ $R_0 = 1 \text{ Ом}, E = 32 \text{ В}.$	 <p style="text-align: right;">Рис.1.6</p>
7	$R_1 = 2,5 \text{ Ом}; R_2 = 10 \text{ Ом};$ $R_3 = 50 \text{ Ом}; R_4 = 50 \text{ Ом};$ $R_5 = 10 \text{ Ом}; R_6 = 40 \text{ Ом};$ $R_0 = 1 \text{ Ом}; U_2 = 10 \text{ В}.$	 <p style="text-align: right;">Рис.1.7</p>
8	$I_6 = 20 \text{ А}, R_1 = 30 \text{ Ом},$ $R_2 = 4 \text{ Ом}, R_3 = 26,6 \text{ Ом},$ $R_4 = R_5 = 20 \text{ Ом},$ $R_6 = 7,8 \text{ Ом}, R_0 = 0,2 \text{ Ом}.$	 <p style="text-align: right;">Рис.1.8</p>
9	$E = 200 \text{ В}; I_6 = 10 \text{ А}; R_1 = 10 \text{ Ом};$ $R_2 = 15 \text{ Ом}; R_3 = 30 \text{ Ом};$ $R_4 = 20 \text{ Ом}; R_5 = 40 \text{ Ом}; R_6 = 11 \text{ Ом}.$	 <p style="text-align: right;">Рис.1.9</p>
10	$R_1 = 20 \text{ Ом}, R_2 = 9 \text{ Ом},$ $R_3 = 60 \text{ Ом}, R_4 = 5 \text{ Ом},$ $R_5 = R_6 = 50 \text{ Ом},$ $R_{01} = 1 \text{ Ом}, \text{напряжение}$ $U_3 = U_{AB} = 40 \text{ В}.$	 <p style="text-align: right;">Рис.1.10</p>

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

### Расчёт неразветвленной цепи переменного тока

- Цель работы:**
1. Освоить методику расчёта неразветвленной цепи переменного тока
  2. Построить векторную диаграмму токов и напряжений.

*В результате выполнения практической работы студент должен:*

**знать:** - основные законы электротехники и методы расчёта, применяемые при расчёте неразветвлённой цепи переменного тока

**уметь:** - производить расчёт неразветвлённой цепи переменного тока и строить векторные диаграммы токов и напряжений

### Краткие теоретические сведения

Для пояснения методики расчёта неразветвлённой цепи переменного тока приведены методические указания и типовый пример.

7.1. Векторная диаграмма токов и напряжений. Если в неразветвлённой цепи с сопротивлением  $R$ , индуктивностью  $L$  и ёмкостью  $C$  (рис. 2.1) протекает синусоидальный ток  $i = I_m \sin \omega t$ , то мгновенное значение приложенного к цепи напряжения  $u = u_a + u_L + u_C$ . Напряжение на активном сопротивлении  $U_a$  совпадает по фазе с током в цепи  $I$ , напряжение на индуктивности  $U_L$  опережает ток на  $90^\circ$ , а напряжение на ёмкости  $U_C$  отстает от тока на  $90^\circ$ .

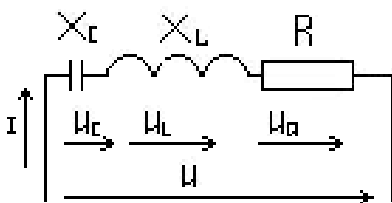


Рис.2.1

Действующие значения на участках цепи:  $U_a = IR$ ;  $U_L = IX_L$ ;  $U_C = IX_C$ . Действующее значение напряжения на зажимах цепи получим методом векторного сложения:  $U = U_a + U_L + U_C$ . Построим векторную диаграмму тока и напряжений. Сначала отложим вектор тока  $I$  (рис. 2.2). Вектор падения напряжения в активном сопротивлении  $U_a$  совпадает по фазе с вектором тока  $I$ , вектор индуктив-

ного падения  $U_L$  отложим вверх под углом  $90^\circ$ , а вектор емкостного падения напряжения  $U_C$  – вниз под углом  $90^\circ$  к вектору тока  $I$ . Сложив векторы напряжений  $U_a$ ,  $U_L$ ,  $U_C$ , получим вектор напряжения  $U$ , приложенного ко всей цепи. Векторная диаграмма построена для случая, когда  $X_L > X_C$  и цепь имеет активно-индуктивный характер.

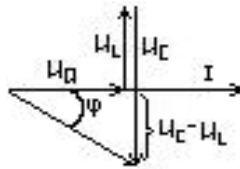


Рис.2.2

При этом условии  $U_L > U_C$ , а напряжение  $U$  опережает по фазе ток  $I$  на угол  $\varphi = 90^\circ$ .

Если  $X_C > X_L$ , то  $U_C > U_L$  и цепь имеет активно-ёмкостный характер. При этом напряжение  $U$  отстает по фазе от тока  $I$  на угол  $\varphi = 90^\circ$ .

При равенстве реактивных сопротивлений ( $X_L = X_C$ )  $U_L = U_C$  (рис.2.3). При этом напряжение  $U$  совпадает по фазе с током  $I$  ( $\varphi = 0$ ) и цепь носит активный характер.

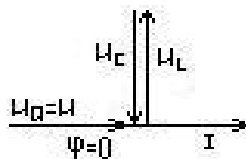


Рис 2.3

Этот режим в рассматриваемой цепи называется **резонансом напряжений**.

2.2.Треугольники сопротивлений и мощностей. Рассмотрим треугольник напряжений на (рис. 2.4а). Один катет этого треугольника выражает активное напряжение  $U_a$ , другой – реактивное напряжение цепи  $U_L - U_C$ , а гипотенуза - полное напряжение  $U$ . Разделив стороны треугольника напряжений на ток  $I$ ,

получим треугольник сопротивлений (рис.2.4 б), из которого следует, что полное сопротивление цепи равно:

$$Z = \sqrt{R + (X_L - X_C)^2}$$

Поэтому ток в цепи:

$$I = U/Z = U / \sqrt{R + (X_L - X_C)^2}$$

Если все стороны треугольника напряжений (рис. 2.4а) умножить на ток I, то получим треугольник мощностей (рис. 2.4в).

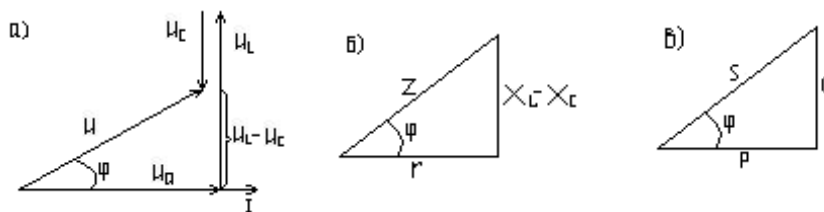


Рис. 2.4

Мощности:

Активная:

$$P = U_a \times I = I^2 \times R = U \times I \times \cos \varphi, \text{ где } \cos \varphi = U_a / U = R / Z;$$

Реактивная:

$$Q = (U_L - U_C) \times I = I^2 \times (X_L - X_C) = U \times I \times \sin \varphi;$$

Полная:

$$S = U \times I = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

**Пример 7.1.** Неразветвленная цепь имеет сопротивления:  $R=4 \text{ Ом}$ ;  $X_L=10 \text{ Ом}$  и  $X_C=7 \text{ Ом}$ . Напряжение на зажимах цепи  $U=24 \text{ В}$ . Определить ток, активную, реактивную и полную мощности цепи.

Решение:

Полное сопротивление цепи  $Z = \sqrt{R + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{4 + (10 - 7)^2} = 5 \text{ Ом}$ .

Полный ток  $I = U/Z = 24/5 = 4.8 \text{ А}$

Мощности:

$$\text{Активная } P = I^2 \times R = 4.8^2 \times 4 = 92.2 \text{ Вт};$$

Реактивная  $Q = I^2 \times (X_L - X_C) = 4.8^2 \times (10 - 7) = 69.1 \text{ Вар}$ ;

Полная  $S = U \times I = 24 \times 4.8 = 115.2 \text{ ВА}$ .

### Задание к практической работе №2.

Активное сопротивление **R**, индуктивность **L** и емкость **C** соединены последовательно и подключены к источнику с напряжением **U**. Исходные данные приведены в таблице 2. Начертить электрическую схему, определить полное сопротивление цепи **Z** и коэффициент мощности  $\cos\varphi$ , ток **I**, напряжение, мощности цепи **P, Q<sub>L</sub>, Q<sub>C</sub>, S**. Построить в масштабе векторную диаграмму, треугольники сопротивлений и мощностей.

Таблица 2.

№ варианта	R, Ом	X <sub>L</sub> , Ом	X <sub>C</sub> , Ом	U, В
1	6	3	4	35
2	5	4	2	30
3	4	6	3	40
4	5	3	5	40
5	6	8	4	45
6	6	5	4	45
7	4	3	2	50
8	2	5	4	30
9	6	3	3	60
10	6	5	4	3

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

### Расчёт симметричной трёхфазной цепи переменного тока

- Цель работы:**
1. Освоить методику расчёта симметричной трёхфазной цепи
  2. Построить векторную диаграмму токов и напряжений.

*В результате выполнения практической работы студент должен:*

**знать:** - основные законы электротехники и методы расчёта, применяемые при расчёте симметричных трёхфазных цепей

**уметь:** - производить расчёт симметричной трёхфазной цепи и строить векторные диаграммы токов и напряжений

### Краткие теоретические сведения

Трёхфазная система – это совокупность трех синусоидальных электрических токов (напряжений, ЭДС) одной частоты, сдвинутых по фазе относительно друг друга на 120 градусов

Звезда – это такое соединение, когда к началам обмоток источника присоединяются линейные провода, а концы обмоток соединяются в одну точку, называемую нейтралью.

В четырехпроводной цепи к ней присоединяется нейтральный провод, в трехпроводной, он отсутствует.

При соединении в звезду:

Ток линейный равен току фазному

$$I_L = I_\phi, \text{ A.}$$

Напряжения линейные отличаются от фазных в  $\sqrt{3}$  раз.

$$U_{AB} = U_A - U_B, \text{ B}$$

$$U_{BC} = U_B - U_C, \text{ B}$$

$$U_{CA} = U_C - U_A, \text{ B}$$

$$U_L = \sqrt{3}U_\phi, \text{ B}$$

Токи в нулевом проводе:

$$I_N = I_A + I_B + I_C, \text{ A}$$

Мощности определяются по формуле

$$P=\sqrt{3}U\cos\varphi, \text{ Вт}$$

$$Q=\sqrt{3}U\sin\varphi, \text{ вар}$$

$$S=\sqrt{3}UI, \text{ ВА}$$

Треугольник – это такое соединение, когда конец первой обмотки источника присоединяется к началу второй, конец второй – к началу третьей, конец третьей – к началу первой; линейные провода присоединяются к точкам соединения обмоток.

При соединении в треугольник:

Напряжения линейные и фазные равны

$$U_L=\sqrt{3}U_\phi, \text{ В}$$

Токи линейные отличаются от фазных в  $\sqrt{3}$  раз.

$$I_A=I_{AB}-I_{CA}, \text{ А}$$

$$I_B=I_{BC}-I_{AB}, \text{ А}$$

$$I_C=I_{CA}-I_{BC}, \text{ А}$$

$$I_L=\sqrt{3}I_\phi, \text{ А}$$

Мощности определяются по формуле

$$P=\sqrt{3}U\cos\varphi, \text{ Вт}$$

$$Q=\sqrt{3}U\sin\varphi, \text{ вар}$$

$$S=\sqrt{3}UI, \text{ ВА}$$

Задача расчета трехфазной цепи состоит в определении токов в фазах приемника, в проводах линии, а также мощности приемника в каждой фазе и в целом, если заданы линейные напряжения и сопротивления фаз. В симметричной цепи сопротивления фаз приемника одинаковы, и на его зажимах действует симметричная система линейных напряжений. Для такой цепи достаточно провести расчет одной фазы, так как токи и мощности во всех фазах по величине одинаковы.

Пример 3.1 К генератору с линейным напряжением  $U_L=220$  В подключен потребитель, соединенный треугольником, (рис.3.1). Активное сопротивление каждой фазы потребителя  $R_\phi=8$  Ом, индуктивное  $X_{L\phi}=6$  Ом.



Определить ток в каждой фазе генератора, отдаваемую им мощность и построить векторную диаграмму.

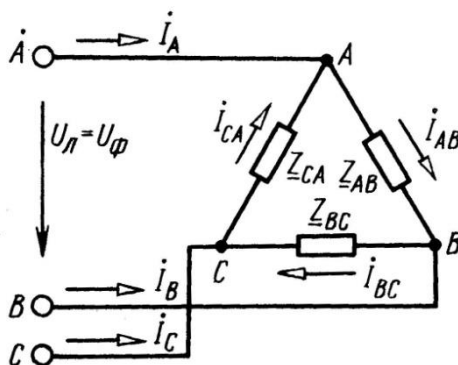


Рис. 3.1

Решение. Напряжение на каждой фазе потребителя  $U_\phi$  равно линейному напряжению генератора  $U_L$ , так как потребитель соединён треугольником.

$$U_\phi = U_L = 220 \text{ В}$$

Сопротивление фазы:

$$Z_\phi = \sqrt{R_\phi^2 + X_{L\phi}^2} = \sqrt{8^2 + 6^2} = 10 \text{ Ом.}$$

Ток каждой фазы потребителя (нагрузка равномерная):

$$I_\phi = U_\phi / Z_\phi = 220 / 10 = 22 \text{ А.}$$

Линейный ток потребителя, соединенного треугольником:

$$I_L = \sqrt{3} I_\phi = 1,73 \cdot 22 = 38 \text{ А.}$$

Отдаваемая генератором мощность (активная мощность):

$$P = \sqrt{3} U_L \cdot I_L \cdot \cos \varphi = 1,73 \cdot 220 \cdot 38 \cdot 0,8 = 11570 \text{ Вт,}$$

Так как

$$\cos \varphi = R_\phi / Z_\phi = 8/10 = 0,8; \text{ то } \varphi = 37^\circ$$

т. е. ток фазы потребителя отстает от напряжения на угол  $\varphi = 37^\circ$ , нагрузка индуктивного характера. Вычисленные величины легли в основу построения векторной диаграммы (рис. 3.2).

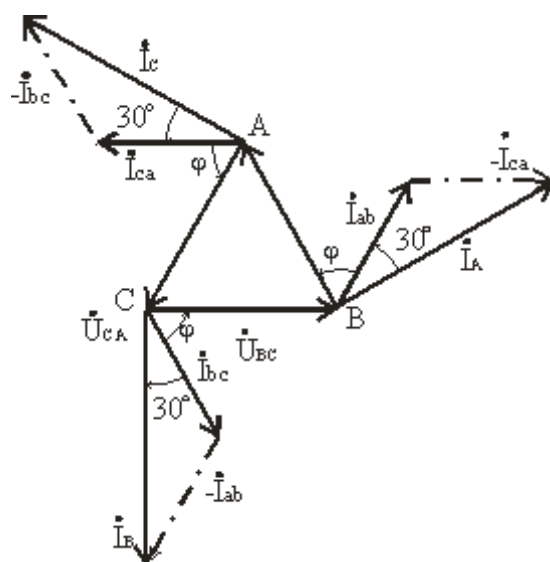


Рис. 3.2

### Задание к практической работе № 3

В сеть трёхфазного тока с линейным напряжением  $U_L$  включен симметричный приёмник энергии. Способ соединения фаз приёмника – треугольник. Сопротивления его фаз приведены в таблице вариантов. Начертить схему цепи. Определить фазные и линейные токи, активную, реактивную и полную мощности, фазы и всей системы, коэффициент мощности. Построить векторную диаграмму линейных и фазных токов и напряжений.

Таблица 3.1

Вариант №	$U_L, В$	$R_{\phi}, Ом$	$X_{C\phi}, Ом$	$X_{L\phi}, Ом$
1	380	8	-	8
2	220	60	-	90
3	380	16	12	-
4	660	16	-	12
5	660	120	160	-
6	660	16	-	12
7	380	8	6	-
8	220	8	-	6
9	660	30	40	-
10	380	60	80	-

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

### Расчёт основных характеристик силовых трансформаторов

**Цель работы:** Освоить метод расчёта основных характеристик силовых трансформаторов

*В результате выполнения практической работы студент должен:*

**знать:** - устройство и принцип действия электрических машин и трансформаторов

**уметь:** - читать электрические схемы.

### Краткие теоретические сведения

Трансформатором называется статический электромагнитный аппарат, предназначенный для преобразования переменного тока одного напряжения в переменный ток другого напряжения. Трансформатор ( рисунок 4.1 ) состоит из сердечника, набранного из листов электротехнической стали и двух или нескольких обмоток. Передача энергии из одной обмотки в другую производится путем электромагнитной индукции. Обмотка, к которой подводится переменный ток, называется первичной. К другой обмотке подключен потребитель  $Z_n$ . Эта обмотка называется вторичной. Все величины (ток, напряжение, ЭДС, МДС, число витков ),относящиеся к первичной обмотке обозначают индексом 1. Те же величины, относящиеся ко вторичной обмотке, обозначают индексом 2.

Действие трансформатора основано на явлении электромагнитной индукции. При подключении трансформатора к источнику переменного тока (электрической сети) в витках его первичной обмотки протекает переменный ток  $i_1$ , образуя переменный магнитный поток  $\Phi$ .

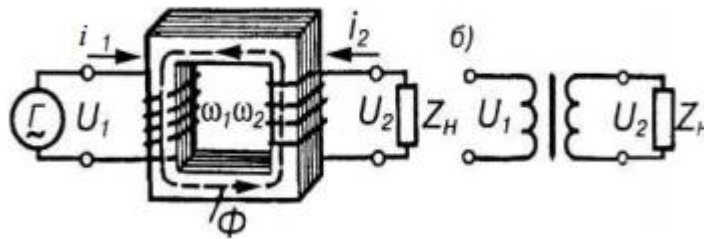


Рисунок 4.1

Этот поток проходит по магнитопроводу трансформатора и, пронизывая витки первичной и вторичной обмоток, индуцирует в них переменные Э.Д.С.  $e_1$  и  $e_2$ .

Если ко вторичной обмотке присоединен какой-либо приемник, то под действием Э.Д.С.  $e_2$  по ее цепи проходит ток  $i_2$ .

Э.Д.С., индуцированная в каждой витке первичной и вторичной обмоток трансформатора, согласно закону электромагнитной индукции зависит от магнитного потока, пронизывающего виток, и скорости его изменения. Магнитный поток каждого трансформатора является определенной величиной, зависящей от напряжения и частоты изменения переменного тока в источнике, к которому подключен трансформатора. Постоянна также и скорость изменения магнитного потока; она определяется частотой изменения переменного тока. Следовательно, в каждой витке первичной и вторичной обмоток индуцируется одинаковая Э.Д.С. В результате этого отношение действующих значений Э. Д. С.  $E_1$  и  $E_2$ , индуцированных в первичной и вторичной обмотках трансформатора, будет равно отношению числа витков  $w_1$  и  $w_2$  этих обмоток, т.е.

$$E_1/E_2 = w_1/w_2$$

Отношение Э.Д.С.  $E_{вн}$  обмотки высшего напряжения к Э.Д. С.  $E_{нн}$

обмотки низшего напряжения (или отношение чисел их витков) называется коэффициентом трансформации

$$K_{тр} = E_{вн}/E_{нн} = w_{вн}/w_{нн}.$$

Если пренебречь падениями напряжения в первичной и вторичной обмотках трансформатора (в трансформаторах средней и большой мощности они не превышают обычно 2 - 5 % от номинальных значений напряжений  $U_1$  и  $U_2$ ), то можно считать, что отношение напряжения  $U_1$  первичной обмотки к напряжению  $U_2$  вторичной обмотки приблизительно равно отношению чисел их витков, т. е.

$$U_1/U_2 = w_1/w_2$$

Трансформаторы обладают свойством обратимости, один и тот же трансформатор можно использовать в качестве повышающего и понижающего.

Схема и параметры однофазного трансформатора.

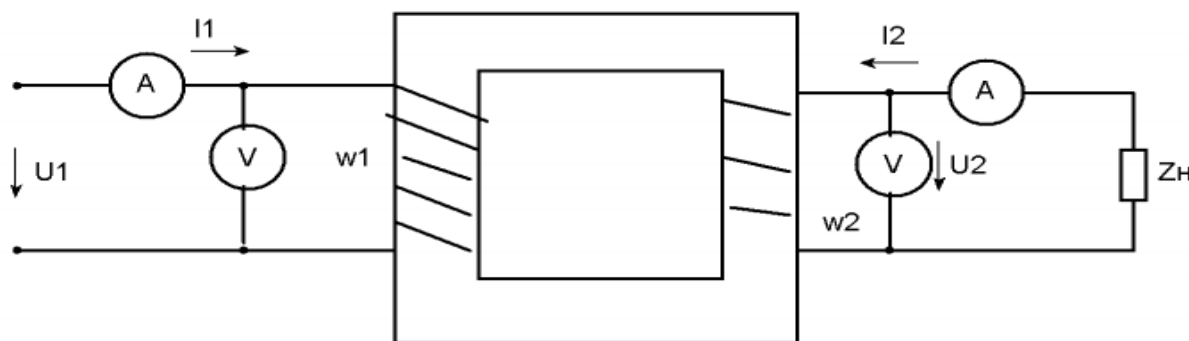


Рисунок 4.2

1. Номинальная мощность  $S_H$  — это полная мощность, которую

трансформатор может непрерывно отдавать в течение своего срока службы (25 – 25 лет) при номинальном напряжении и номинальных температурных условиях:

$$S_H = U_{2H} I_{2H} 2.$$

Номинальное первичное напряжение  $U_{1H}$  – напряжение, на которое рассчитана первичная обмотка.

3. Номинальное вторичное напряжение  $U_{2H}$  – напряжение на зажимах вторичной обмотки в режиме холостого хода трансформатора при номинальном первичном напряжении.

4. Коэффициент трансформации

$$K = w_1/w_2 = E_1/E_2 = U_{1H}/U_{2H},$$

где  $w$  – число витков первичной и вторичной обмоток;  $E$  – действующее значение ЭДС электромагнитной индукции в обмотках трансформатора.

5. Номинальный первичный  $I_{1H}$  и вторичный  $I_{2H}$  токи в обмотках трансформатора при номинальной мощности и номинальных напряжениях обмоток:

$$I_{1H} = S_H/(U_{1H} \eta_H); I_{2H} = S_H/U_{2H}.$$

6. Коэффициент нагрузки трансформатора. Трансформатор чаще всего работает с нагрузкой, меньше номинальной, поэтому:

$$K_{НГ} = S_2/S_H,$$

где  $S_2$  – фактическая полная мощность нагрузки,  $S_2 = 2 2 P Q 2 2$  .

### 7. Токи в обмотках трансформатора при фактической нагрузке

$$S_2: I_2 = I_{2н} K_{нг}. I_1 = I_{1н} K_{нг}.$$

### 8. Общая мощность потерь энергии в трансформаторе:

- при номинальной нагрузке  $\Delta P_n = P_{ст} + P_{мн}$ ;

- при фактической нагрузке  $\Delta P = P_{ст} + P_m = P_{ст} + P_{мн} K_{нг}^2$ ,

где  $P_{ст}$  – мощность потерь в стали сердечника;

$P_m$  – мощность потерь в обмотках трансформатора при фактической нагрузке

$P_{мн}$  – мощность потерь в обмотках при номинальной нагрузке.

Если известно сопротивление меди первичной ( $R_1$ ) и вторичной ( $R_2$ ) обмоток трансформатора, то при любой нагрузке можно определить мощность потерь в обмотках:

$$P_m = I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2.$$

### 9. Коэффициент мощности нагрузки

$$\cos \varphi_2 = P_2 / S_2; S_2 = \sqrt{P_2^2 + Q_2^2},$$

где  $P_2, Q_2, S_2$  – активная, реактивная и полная мощность нагрузки, питаемой от вторичной обмотки трансформатора.

### 10. Коэффициент полезного действия трансформатора:

– при номинальной нагрузке  $\eta_n = P_{2н} / P_{1н} = P_{2н} / (P_{2н} + \Delta P_n) = S_n \cos \varphi_2 / (S_n \cos \varphi_2 + P_{ст} + P_{мн})$ ;

- при фактической нагрузке  $\eta = P_2 / P_1 = P_2 / (P_2 + \Delta P) = S_n \cos \varphi_2 K_{нг}$

$$/ (S_H \cos \varphi_2 K_{HT} + P_{CT} + P_{MH} K_{HT}^2);$$

#### Задание к практической работе №4

Вычертить схему трансформатора, выписать из таблицы 4.1. исходные данные, пояснить их. Рассчитать параметры трансформатора, отмеченные в таблице прочерками.

Таблица 4.1

Вариант	0	1, 11, 21	2, 12, 22	3, 13, 23	4, 14, 24	5, 15, 25	6, 16, 26	7, 17, 27	8, 18, 28	9, 19, 29	10, 20, 30
$S_H$ , КВА	0,1	---	1,25	---	0,5	1,5	3	0,4	---	---	0,6
$U_{1H}$ , КВ	0,22	0,2	---	---	---	6	---	---	0,2	0,18	---
$U_{2H}$ , В	22	20	100	220	127	120	127	---	---	36	150
$K$	---	---	2,5	8,18	---	---	---	0,4	4,4	---	---
$P_2$ , КВт	0,05	0,37	0,7	---	0,26	0,84	2,1	---	---	0,07	0,43
$Q_2$ ,вар	36	225	---	240	---	630	---	---	120	---	---
$S_2$ , КВА	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
$\cos \varphi_2$	---	---	0,8	0,6	0,87	---	1	---	0,7	1	0,8
$K_{HT}$	---	---	---	---	---	---	---	0,83	0,68	---	---
$I_{1H}$ , А	---	---	---	---	1,32	---	---	2,2	---	---	12,5
$I_{2H}$ , А	---	25	---	3,5	---	---	---	---	---	2,5	---
$I_1$ , А	---	---	---	---	---	---	9,6	---	---	---	---
$I_2$ , А	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
$\eta_H$	---	---	0,96	0,94	---	---	---	0,92	---	---	0,96
$\eta$	---	---	---	---	---	---	0,97	---	---	---	---
$P_{CT}$ , Вт	7,3	2,32	9,8	---	18,2	42,1	---	21,2	14	4,1	17
$P_{MH}$ , Вт	5,66	4,8	---	2,4	17	27,9	80	10,4	7,3	1,69	---

#### Пример расчета

1. Коэффициент трансформации трансформатора:

$$K = U_{1H} / U_{2H} = 220 / 22 = 10$$

2. Полная мощность нагрузки, питающейся энергией от вторичной



обмотки трансформатора:

$$S_2 = 2 \cdot 2 \cdot P_Q \cdot 2 \cdot 2 = 2 \cdot 2 \cdot 48 \cdot 36 = 60 \text{ ВА.}$$

3. Коэффициент мощности нагрузки

$$\cos \varphi_2 = P_2/S_2 = 48/60 = 0,8.$$

4. Коэффициент нагрузки трансформатора:

$$K_{нг} = S_H/S_H = 60/100 = 0,6.$$

5. КПД трансформатора при номинальной нагрузке:

$$\eta_H = S_H \cos \varphi_2 / (S_H \cos \varphi_2 + P_{ст} + P_{мн}) = 100 \cdot 0,8 / (100 \cdot 0,8 + 7,3 + 5,66) = 0,86$$

6. Номинальные токи в обмотках трансформатора:

$$I_{1H} = S_H / (U_{1H} \eta_H) = 100 / 220 \cdot 0,86 = 0,528 \text{ А} \quad I_{2H} = S_H / U_{2H} = 100 / 22 = 4,55 \text{ А.}$$

7. Токи в обмотках трансформатора при фактической нагрузке:

$$I_2 = I_{2H} K_{нг} = 4,55 \cdot 0,6 = 2,73 \text{ А} \quad I_1 = I_{1H} K_{нг} = 0,528 \cdot 0,6 = 0,317 \text{ А.}$$

8. КПД трансформатора при фактической нагрузке:

$$\eta = P_2 / P_1 = P_2 / (P_2 + \Delta P),$$

где  $\Delta P$  – потери мощности трансформатора при фактической нагрузке

$$\Delta P = P_{ст} + P_{мн} K_{нг}^2 = 7,3 + 5,66 \cdot 0,6^2 = 9,34 \text{ Вт} \quad \eta = 48 / (48 + 9,34) = 0,837$$

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 5

### Расчет основных характеристик асинхронных двигателей

**Цель работы:** Освоить метод расчета основных характеристик асинхронных двигателей

*В результате выполнения практической работы студент должен:*

**знать:** - устройство и принцип действия электрических машин и трансформаторов

**уметь:** - читать электрические схемы.

### Краткие теоретические сведения

Электрические машины переменного тока подразделяются на два основных вида: асинхронные и синхронные. Принцип действия этих машин основан на использовании вращающегося магнитного поля.

Асинхронная машина – это бесколлекторная машина переменного тока, у которой в установившемся режиме магнитное поле, участвующее в основном процессе преобразования энергии, и ротор вращаются с разными скоростями.

Если подключить обмотки статора асинхронного двигателя к источнику трехфазного тока, то появится вращающееся магнитное поле.

Вращающееся магнитное поле пересекает проводники обмотки статора и ротора. В обмотках статора индуцируется ЭДС самоиндукции, а в обмотках ротора – ЭДС взаимной индукции. Так как проводники ротора замкнуты (в коротко – замкнутом роторе кольцами, а в фазном роторе пусковым реостатом), то по ним потечет ток. Ток ротора будет создавать свое магнитное поле. Взаимодействие полей статора и ротора приводит к появлению выталкивающей силы. Ротор начнет вращаться. Вращение ротора посредством вала передается исполнительному механизму. Таким образом, электрическая энергия, поступающая из сети в обмотку статора, преобразуется в механиче-

скую энергию вращения ротора двигателя. Направление вращения магнитного поля статора, а следовательно, и направление вращения ротора зависят от порядка следования фаз напряжения, подводимого к обмотке статора.

Ротор всегда будет вращаться с меньшей скоростью, чем вращающееся магнитное поле статора, так как при одинаковой скорости вращения не будет пересечения проводников ротора магнитными силовыми линиями вращающегося поля, т. е. ротор будет вращаться вместе с магнитными силовыми линиями.

Частота вращения магнитного поля зависит от частоты подаваемого в обмотку статора напряжения  $U$  и числа пар полюсов  $P$ , создаваемых обмоткой статора, и определяется из выражения:

$$n_1 = 60f/P$$

Относительная разность частот вращения вращающегося магнитного поля статора и самого ротора называют скольжением

$$S = (n_1 - n_2) / n_1$$

Чем больше тормозной момент на валу асинхронного двигателя, тем меньше  $n_2$  и больше  $S$ .

Трехфазные асинхронные двигатели являются самыми распространенными двигателями и применяются для привода различных станков, насосов, вентиляторов, компрессоров, грузоподъемных механизмов, а также на электроподвижном составе переменного тока в качестве двигателей вспомогательных машин.

Устройство асинхронного двигателя.

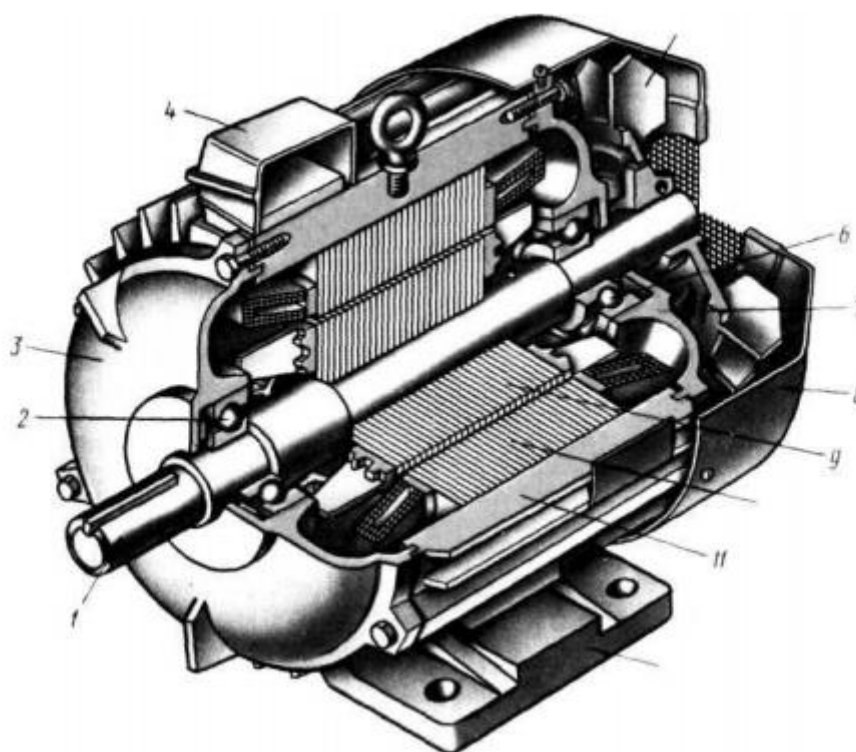


Рисунок 5.1

Асинхронная машина состоит из неподвижной части – статора и вращающейся части – ротора (рисунок 5.1)

Статор асинхронной машины состоит из корпуса 11, который может быть изготовлен из различных конструкционных материалов: стали, чугуна, цветных металлов и их сплавов. В корпус запрессован сердечник 10, изготовленный из отдельных пластин электротехнической стали. В сердечнике сделаны пазы, куда укладывают трехфазную обмотку. С торцов корпус закрыт подшипниковыми щитами 3 и 7. Подшипниковые щиты обычно выполняют из тех же материалов, что и корпус. В подшипниковых щитах расположены подшипники 2 и 6, на которые опирается вал 1 ротора. На вал напрессован сердечник 9, выполненный из отдельных пластин электротехнической стали. В сердечнике сделаны пазы, в которые заливают расплавленный алюминий. При охлаждении алюминия образуются стержни, к концам которых припаивают алюминиевые кольца. Чаще всего кольца и стержни отливают одновременно. Образуется короткозамкнутая обмотка типа

«беличья клетка». в некоторых машинах вместо алюминиевой «беличьей клетки» применяют медную. Тогда в пазы ротора просто укладывают медные стержни концы которых замыкают медными кольцами. Вместе с кольцами отливают вентиляционные лопасти, способствующие охлаждению двигателя. Для уменьшения габаритов двигателя - 46 - охлаждающий поток воздуха направляют центробежным вентилятором 5, который напрессовывают на вал ротора. Вентилятор прикрыт кожухом 8, изготовленным из стали, а в последнее время из пластмассы. Двигатель монтируют посредством лап 12, либо с помощью фланца.

Разновидностью асинхронных двигателей являются двигатели с фазным ротором.

Схема и параметры трехфазного асинхронного двигателя.

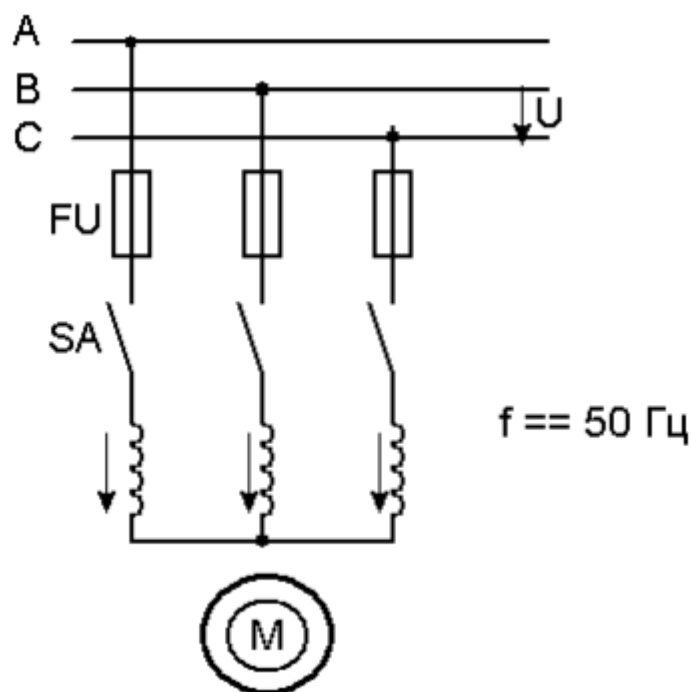


Рисунок 5.2

1. Номинальное линейное напряжение сети –  $U$ , В.
2. Номинальный ток двигателя (ток в каждой из трех обмоток статора) –  $I_n$  А.

3. Частота тока сети –  $f$ , Гц.
4. Число полюсов двигателя –  $2p$ , число пар полюсов –  $p$ .
5. Частота вращения магнитного поля статора –  $n_1 = 60f/p$  об/мин.
6. Частота вращения магнитного поля статора относительно ротора ( $n_1 - n_2$ ), выраженная в процентах от частоты вращения магнитного поля, называется скольжением –  $S = (n_1 - n_2) 100/n_1 \%$ . В номинальном режиме  $S_n$  составляет около 5% у машин небольшой мощности и около 2% у мощных машин.
7. Частота вращения ротора асинхронного двигателя в номинальном режиме –  $n_{2н} = (1 - S_n/100)n_1$  или  $n_{2н} = (1 - S_n/100) 60f / p$ .
8. Номинальная активная мощность, развиваемая двигателем (т. е. величина, характеризующая скорость необратимого преобразования электрической энергии в механическую и тепловую) –  $P_{2н}$  Вт.
9. Мощность, потребляемая двигателем из сети в номинальном режиме: – активная -  $P_{1н} = 3 U_{1н} \cos \varphi_n$  или  $P_{1н} = P_{2н}/\eta_n$ , Вт; - полная –  $S = 3 U_{1н}$ , ВА.
10. Потери энергии в двигателе складываются из потерь в обмотках статора и ротора, потерь в магнитопроводе, механических и добавочных потерь  $\Delta P = P_1 - P_2$ , Вт.
11. Коэффициент полезного действия двигателя –  $\eta_n = P_{2н}/P_{1н} = (P_{1н} - \Delta P)/P_{1н}$ . КПД асинхронного двигателя зависит от нагрузки. При номинальном режиме работы двигателя КПД  $\eta = 0,9 \div 0,95$  (чем больше расчетная мощность двигателя, тем выше его КПД).
12. Коэффициент мощности асинхронного двигателя показывает, какая часть полной мощности, поступающей из сети, расходуется на покрытие потерь и преобразуется в механическую работу  $\cos \varphi_n = P_{1н}/\sqrt{3}U_{1н}$ . В номинальном режиме обычно составляет  $\cos \varphi_n = 0,7 \div 0,9$ , при холостом ходе снижается до  $0,2 \div 0,3$ .
13. Вращающий момент асинхронного двигателя в номинальном режиме  $M_n = 9,55P_{2н} / n_{2н}$ , Нм.

### Задание к практической работе № 5

Вычертить схему трехфазного двигателя, выписать из таблицы 5. исходные данные, пояснить их. Рассчитать параметры двигателя, отмеченные в таблице прочерками.

Таблица 5.1

Вариант	0	1, 11, 21	2, 12, 22	3, 13, 23	4, 14, 24	5, 15, 25	6, 16, 26	7, 17, 27	8, 18, 28	9, 19, 29	10, 20, 30
U, КВ	0,38	0,22	---	0,38	---	0,22	---	0,38	---	1	0,38
I <sub>н</sub> , А	---	---	24	---	20	---	50	75	20	---	---
2Р	4	6	---	8	---	10	4	6	---	4	8
n <sub>1</sub> × 10 <sup>3</sup> , об/мин	---	---	1,5	---	1,0	---	---	---	1,0	---	---
n <sub>2н</sub> × 10 <sup>3</sup> , об/мин	1,46	---	---	---	0,97	---	1,46	0,96	---	---	---
S <sub>н</sub> %	---	2	3	2,5	---	3	---	---	2,5	4	2
P <sub>2н</sub> , КВт	12	21	---	30	---	34	---	40	---	30	45
P <sub>1н</sub> , КВт	---	---	---	---	24	38	---	---	30	---	---
Δ P, КВт	---	---	1,5	2	---	---	---	---	3	---	---
S, КВА	---	---	---	---	32	43,2	10,9	---	40	---	---
η <sub>н</sub>	0,9	0,9	---	---	0,91	---	0,93	0,95	---	0,92	0,91
cos φ <sub>н</sub>	0,85	0,8	0,75	0,92	---	---	---	---	---	0,82	0,84
M <sub>н</sub> , Нм	---	---	80	---	---	---	60	---	---	---	---

#### Пример расчета

1. Мощность, потребляемая двигателем из сети

- активная –  $P_{1н} = P_{2н}/\eta = 12000/0,9 = 13333 \text{ Вт} = 13,3 \text{ КВт}$ ;

- полная –  $S = P_{1н}/\cos \varphi_{н} = 13333/0,85 = 15686 \text{ ВА} = 15,7 \text{ КВА}$

2. Номинальный ток двигателя  $I_{н} = P_{1н}/(\sqrt{3} \cdot U \cos \varphi_{н}) = 13333/(\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,85) = 23,9 \text{ А}$

3. Мощность потерь в двигателе  $\Delta P = P_{1н} - P_{2н} = 13333 - 12000 = 1333 \text{ Вт} = 1,33 \text{ КВт}$

4. Частота вращения магнитного поля статора  $n_1 = 60f/p = 60 \cdot 50/2 = 1500 \text{ об/мин.}$

5. Номинальное скольжение  $S_n = (n_1 - n_2)100/n_1 = (1500 - 1460) \cdot 100/1500 = 2,67\%$

6. Вращающий момент двигателя  $M_n = 9,55 P_{2n} / n_{2n} = 9,55 \cdot 12 \cdot 10^3 / 1460 = 78,6 \text{ Нм}$ .

Выводы: пояснить принцип действия асинхронного двигателя, возможность его реверсирования.



## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 6

### Расчёт основных характеристик машины постоянного тока

**Цель работы:** Освоить метод расчета основных характеристик машины постоянного тока

*В результате выполнения практической работы студент должен:*

**знать:** - устройство и принцип действия электрических машин и трансформаторов

**уметь:** - читать электрические схемы.

### Краткие теоретические сведения

Электрические двигатели преобразуют электрическую энергию в механическую. Поэтому для работы двигателя его надо соединить проводами с источником электрической энергии, или, как говорят, включить в электрическую сеть.

Двигатели постоянного тока широко применяют в тяговом подвижном составе. Это коллекторные тяговые двигатели и коллекторные вспомогательные машины электровозов, тепловозов, электро- и дизель-поездов.

По способу возбуждения двигатели постоянного тока подразделяют аналогично генераторам на двигатели независимого, параллельного, последовательного и смешанного возбуждения. Схемы двигателей и генераторов по всем видам возбуждения одинаковы.

При отсутствии нагрузки (внешнего тормозного момента, приложенного к валу двигателя) электродвигатель потребляет от внешнего источника (сети) небольшое количество электрической энергии и по нему проходит небольшой ток холостого хода. Эта энергия расходуется на покрытие внутренних потерь мощности в машине.

При возрастании нагрузки увеличивается потребляемый электродвигателем ток и развиваемый им электромагнитный вращающий момент. Следовательно, увеличение механической энергии, отдаваемой электродвигателем при возрастании нагрузки, вызывает автоматически увеличение электрической энергии, забираемой им от источника.

Из рассмотренных выше условий работы электрического двигателя вытекает, что характерным для него является:

- совпадение по направлению электромагнитного момента  $M$  и частоты вращения  $n$ ; это характеризует отдачу машиной механической энергии;
- возникновение в проводниках обмотки якоря ЭДС, направленной против тока  $i$  и внешнего напряжения  $U$ . Из этого вытекает необходимость получения машиной извне электрической энергии.

Электрические машины постоянного тока обладают свойством обратимости, т. е. они могут работать, как в режиме двигателя, так и в режиме генератора.

Схема и параметры двигателя параллельного возбуждения.

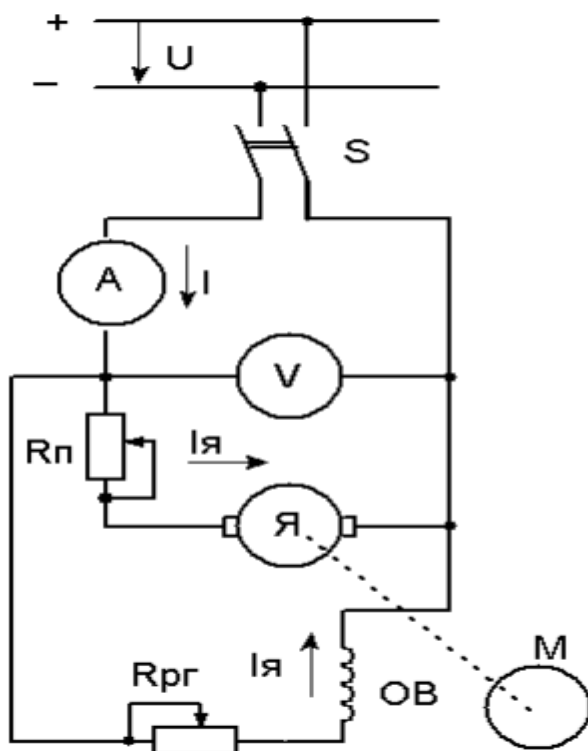
1. Напряжение сети, подведенное к двигателю –  $U$ , В.
2. Сопротивление обмотки якоря двигателя –  $R_{\text{я}}$ , Ом.
3. Сопротивление обмотки возбуждения –  $R_{\text{в}}$ , Ом.
4. Противо-ЭДС ( $E$ ) индуцируется в обмотке якоря при его вращении в магнитном поле с номинальной частотой –  $n_n$ , об/мин.
5. Ток в обмотке якоря –  $I_{\text{я}} = (U - E) / R_{\text{я}}$ , А .
6. Ток в обмотке возбуждения –  $I_{\text{в}} = U / R_{\text{в}}$ , А. -41-
7. Номинальный ток, потребляемый двигателем из сети –  $I_n = I_{\text{я}} + I_{\text{в}}$ , А.
8. Мощность, потребляемая двигателем из сети –  $P_1 = U I_n$ , Вт.
9. Потери мощности в двигателе –  $\Delta P$ , Вт.
10. Полезная мощность двигателя –  $P_2 = P_1 - \Delta P$ , Вт.
11. Коэффициент полезного действия двигателя –  $\eta = P_2 / P_1$ .
12. Вращающий момент двигателя –  $M = 9,55 P_2 / n_n$ , Н м .
13. В момент включения двигателя под напряжение при  $n = 0$  противо-ЭДС ( $E$ ) в обмотке якоря не индуцируется и ток в ней  $I_{\text{я}} = U / R_{\text{я}}$  может достигнуть значения, многократно превышающего номинальный ток.

Для ограничения пускового тока в цепь обмотки якоря вводится пусковое сопротивление  $R_{\text{я}}$ , которое по мере увеличения частоты вращения по-

степенно уменьшается. При номинальной частоте пн пусковое сопротивление  $R_{п} = 0$ .

В работе  $R_{п}$  определить из условия увеличения пускового тока  $I_{п}$  по сравнению с номинальным в 1,5 раза:

$$I_{п} = I_{в} + U|(R_{я} + R_{п}) = 1,5 I_{н}.$$



$Я$  – обмотка якоря двигателя;

$ОВ$  – обмотка возбуждения:

$R_{рг}$ , - сопротивление для изменения тока в обмотке возбуждения (в работе принять  $R_{рг} = 0$ );

$R_{п}$  – пусковой реостат.

Рисунок 6.1

### Задание к практической работе № 6

Вычертить схему двигателя, выписать исходные данные и рассчитать параметры, отмеченные в таблице 6.

Таблица 6

Вариант	0	1, 11, 21	2, 12, 22	3, 13, 23	4, 14, 24	5, 15, 25	6, 16, 26	7, 17, 27	8, 18, 28	9, 19, 29	10, 20, 30
U, В	220	---	500	---	380	---	220	---	450	---	---
R <sub>я</sub> , Ом	---	---	0,15	---	0,05	---	0,08	---	0,2	0,1	---
R <sub>в</sub> Ом	44	100	---	---	76	260	---	---	150	---	200
E, В	210	194	---	374	---	775	---	250	---	---	396
n, об/мин	520	180	---	210	---	350	---	400	---	500	250
I <sub>я</sub> , А	---	---	70	---	---	---	---	---	---	193	---
I <sub>в</sub> , А	---	2	4	1,32	---	---	2,73	4	---	2	---
I <sub>н</sub> , А	240	---	---	41,3	---	50	---	296	---	---	50
P <sub>1</sub> , кВт	---	12	---	---	76	---	13,8	---	13,5	---	20
Δ P, кВт	---	---	---	1,1	6,8	3,12	---	---	2,5	5,1	---
P <sub>2</sub> , кВт	---	10,8	34	---	---	---	12	70	---	---	18,6
η	0,9	---	---	0,93	---	0,92	---	0,91	---	---	---
M, кНм	---	---	1	---	1,41	---	0,6	---	0,42	1,1	---
R <sub>п</sub> , Ом	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

### Пример расчета

1. Ток в обмотке возбуждения двигателя  $I_v = U/R_v = 220/44 = 5$  А.
2. Ток в обмотке якоря двигателя  $I_a = I_n - I_v = 240 - 5 = 235$  А.
3. Сопротивление обмотки якоря двигателя  $R_a = (U - E)/I_a = (220 - 210)/235 = 0,0426$  Ом.
4. Потребляемая двигателем мощность  $P_1 = UI_n = 220 \cdot 240 = 52800$  Вт = 52,8 кВт
5. Полезная мощность двигателя  $P_2 = P_1 \cdot \eta = 52800 \cdot 0,9 = 47520$  Вт = 47,52 кВт
6. Суммарные потери мощности в двигателе  $\Delta P = P_1 - P_2 = 52,8 - 47,52 = 5,28$  кВт В том числе мощность электрических потерь на нагрев обмотки якоря и обмотки возбуждения  $\Delta P_{эл} = I_a^2 R_a + I_v^2 R_v = 235^2 \cdot 0,0426 + 5^2 \cdot 44 = 3452,6$  Вт = 3,45 кВт

7. Вращающий момент двигателя  $M = 9,55 P_2 / n_n = 9,55 \cdot 47520 / 520 = 827,7 \text{ Нм}$ .

8. Чтобы в момент включения ток двигателя был не более чем в полтора раза больше номинального, необходимо последовательно с обмоткой якоря включить пусковое сопротивление  $R_{\text{п}} = [U / (1,5 I_n - I_v)] + R_{\text{я}} = [220 / (1,5 \cdot 240 - 5)] + 0,0426 = 0,577 \text{ Ом}$

*Выводы:* пояснить, на действии какого закона основан принцип работы электродвигателя; назначение основных частей двигателя, его реверсирование.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 7

### Исследование схемы управления асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

**Цель работы:** Исследовать схему управления асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

*В результате выполнения практической работы студент должен:*

- **знать:** - устройство и принцип действия аппаратуры управления электроустановками.
- **уметь:** - читать электрические схемы.

### Краткие теоретические сведения



Рисунок 7.1

Магнитные пускатели применяются для дистанционного управления и защиты (совместно с плавкими предохранителями или воздушными автоматами) электродвигателей обычно мощностью до 75 кВт. При мощности электродвигателей более 75 кВт применяется контакторы в комбинации с реле или воздушными автоматами.

Для того, чтобы запускать электродвигатель в прямом и обратном направлении применяется реверсивная схема управления на магнитном пускателе.

Фазы А, В и С питающего напряжения подводятся к клеммам асинхронного двигателя через:

— 3-х полюсный автоматический выключатель, который защищает всю схему и позволяет отключать питающее напряжение;

— поочередно через три пары силовых контактов магнитных пускателей КМ1 и КМ2;

— тепловое реле КК, которое служит для защиты от перегрузок.

Для того, чтобы изменить направление вращения трехфазного электродвигателя, необходимо поменять местами подключение любых двух фаз!

Для этого в цепь обмотки двигателя включены силовые контакты от двух пускателей, которые подключаются поочередно, меняя чередование фаз. В схеме при вращении вперед последовательность фаз такая — А, В, С. При вращении назад — С, В, А. Т.е. чередование фаз А и С меняется местами.

Кнопочный пост состоит из 3-х кнопок:

- 1) нормально-разомкнутой кнопки ВПЕРЕД;
- 2) нормально-разомкнутой кнопки НАЗАД;
- 3) нормально-замкнутой кнопки СТОП.

К кнопке ВПЕРЕД параллельно подключен нормально-разомкнутый вспомогательный контакт пускателя КМ1, и соответственно, к кнопке

НАЗАД — нормально-разомкнутый вспомогательный контакт пускателя КМ2.

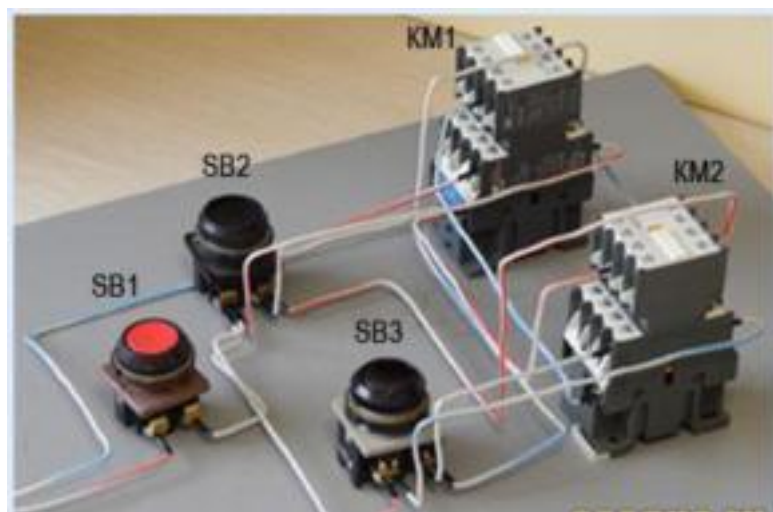


Рисунок 7.2

Также в цепь питания обмотки пускателя КМ1 включен нормально-замкнутый контакт пускателя КМ2:5, а в цепь обмотки пускателя КМ2, включен нормально-замкнутый контакт пускателя КМ1:5. Это сделано для блокировки, чтобы предотвратить запуск двигателя назад, когда он вращается вперед, и наоборот. Т.е. запустить двигатель в любую из сторон можно только из положения останова.

#### РАБОТА СХЕМЫ

Переводим рычаг трехполюсного автоматического выключателя во включенное положение, его контакты замыкаются, схема готова к работе.

#### ЗАПУСК ВПЕРЕД

Нажимаем кнопку **ВПЕРЕД**. Цепь питания обмотки магнитного пускателя **КМ1** замыкается, якорь катушки втягивается, замыкает силовые контакты **КМ1** и вспомогательный нормально-открытый контакт **КМ1**, который шунтирует кнопку **ВПЕРЕД**.



Одновременно вспомогательный нормально-замкнутый контакт **КМ1** размыкает цепь управления магнитным пускателем **КМ2**, блокируя тем самым возможность запуска реверса двигателя.

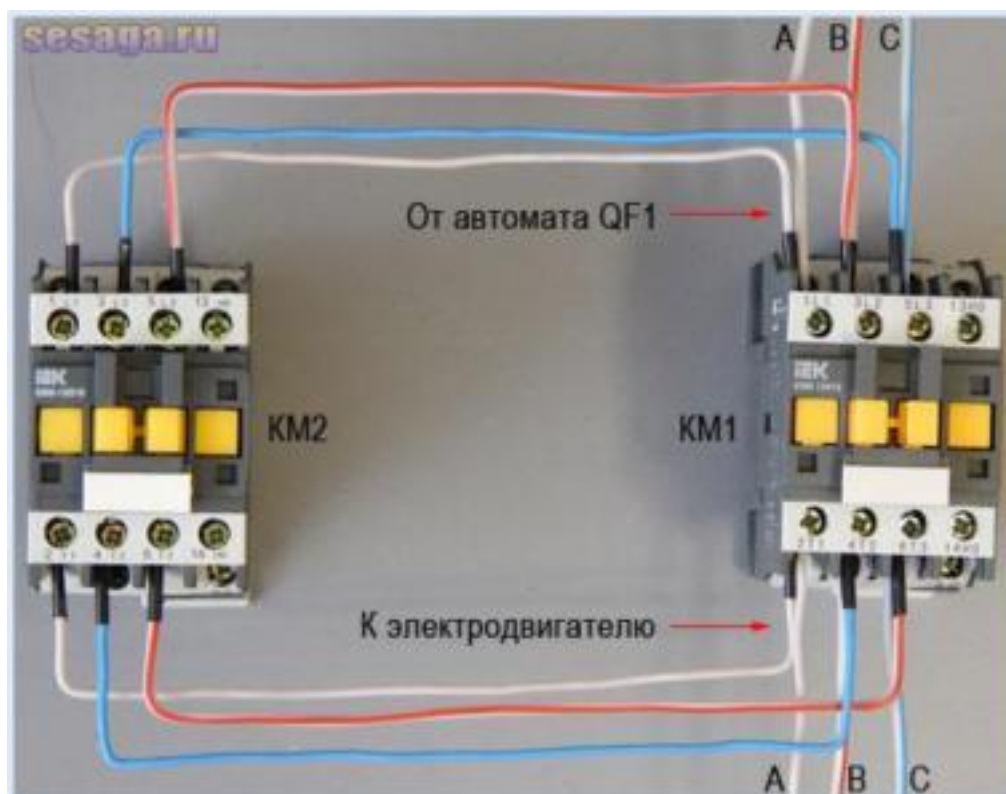


Рисунок 7.3

Три питающих фазы в последовательности А,В,С подаются на обмотки двигателя и он начинает вращаться вперед.

Отпускаем кнопку **ВПЕРЕД**, она возвращается в исходное нормально-разомкнутое состояние. Теперь питание на обмотку пускателя **КМ1** подается через замкнутый вспомогательный контакт **КМ1**. Двигатель запущен и вращается вперед.

#### ОСТАНОВ ДВИГАТЕЛЯ ИЗ ПОЛОЖЕНИЯ ВПЕРЕД

Для остановки двигателя или для запуска в другую сторону, необходимо сначала нажать кнопку **СТОП**. Питание цепи управления размыкается. Якорь магнитного пускателя **КМ1** под действием пружины возвращается в

исходное состояние. Силовые контакты размыкаются, отключая питающее напряжение от электродвигателя. Двигатель останавливается.

Одновременно с этим размыкается вспомогательный контакт **КМ1** в цепи питания обмотки пускателя **КМ1** и замыкается вспомогательный контакт **КМ1** в цепи питания пускателя **КМ2**.

Отпускаем кнопку **СТОП**. Она возвращается в исходное, нормально-замкнутое положение. Но поскольку вспомогательный контакт **КМ1** разомкнут, питание на обмотку пускателя **КМ1** не подается, двигатель остается выключенным и схема готова к следующему запуску.

#### РЕВЕРС ДВИГАТЕЛЯ

Чтобы запустить двигатель в обратном направлении, нажимаем кнопку **НАЗАД**.

Питание подается на обмотку пускателя **КМ2**. Он срабатывает, замыкая силовые контакты **КМ2** в цепи питания двигателя, и вспомогательный контакт **КМ2**, который шунтирует кнопку **НАЗАД**. Одновременно с этим, другой вспомогательный контакт **КМ2** разрывает цепь питания пускателя **КМ2**.

На обмотки двигателя подаются три фазы в порядке С,В,А, он начинает вращаться в другую сторону.

Отпускаем кнопку **НАЗАД**. Она возвращается в исходное положение, но питание на обмотку пускателя **КМ2** продолжает поступать через замкнутый вспомогательный контакт **КМ2**. Двигатель продолжает вращаться в обратном направлении.

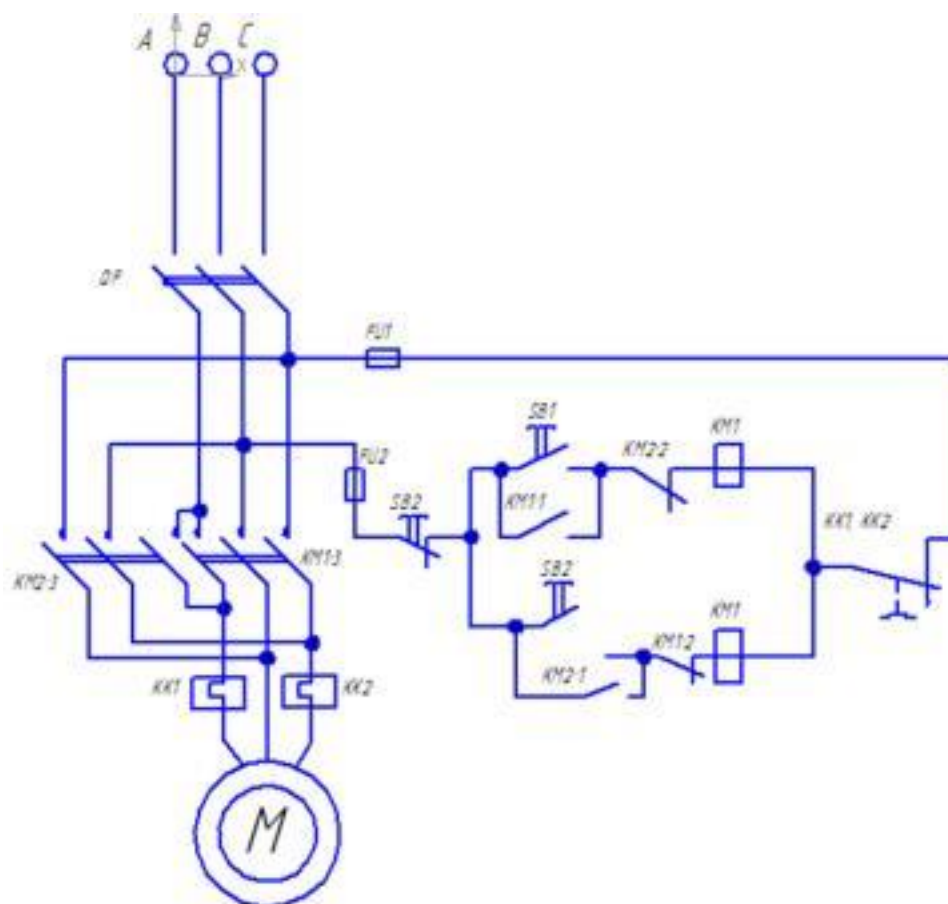
#### ОСТАНОВ ДВИГАТЕЛЯ ИЗ ПОЛОЖЕНИЯ НАЗАД

Для останова повторно нажимаем кнопку **СТОП**. Цепь питания обмотки пускателя **КМ2** размыкается. Якорь возвращается в исходное положение, размыкая силовые контакты **КМ2**. Двигатель останавливается. Одновременно с этим, вспомогательные контакты **КМ2** возвращаются в исходное состояние.

Отпускаем кнопку **СТОП**, схема готова к следующему пуску.

Принципиальная схема управления асинхронным электродвигателем с короткозамкнутым ротором с помощью реверсивного магнитного пускателя представлена на рисунке 7.4.

Рисунок 7.4



### Задание к практической работе № 7

1. Ознакомиться с основными теоретическими положениями.
2. Вычертить схему управления АЭД с короткозамкнутым ротором с помощью реверсивного магнитного пускателя.
3. Пояснить принцип работы схемы.
4. Обозначить на схеме силовую цепь и цепь управления.
5. Составить спецификацию (таблица 7).

Таблица 7

Обозначение	Наименование	Количе-	Примечание

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 8

### Расчет электроснабжения строительной площадки

**Цель работы:** Освоить метод расчёта электроснабжения строительной площадки

*В результате выполнения практической работы студент должен:*

**знать:** - устройство и принцип действия электрических машин и трансформаторов

- **уметь:** - вести оперативный учет работы энергетических установок.

### Краткие теоретические сведения

На стадии разработки вопросов э/снабжения строительства при проектировании общеплощадочного СГП решают следующие задачи:

- определяют ориентировочную потребность в электроэнергии,
- число, мощность трансформаторных подстанций (или др. источников),
- выбирают и обосновывают наиболее рациональные схемы энергетических линий и пункты подключения временных сетей к действующим,
- определяют ориентировочные потребности строительства в оборудовании и кабельной продукции,
- согласуют с соответствующими организациями вопросы снабжения строительства электроэнергией в необходимом количестве и нужных параметрах.

Общая потребность в электроэнергии на строительной площадке складывается из трех составляющих:

- электроэнергия на наружное и внутреннее освещение строительной площадки и объектов - до 10% общей потребности,

-электроэнергия на технологические нужды при пр-ве СМР (электросварка, электроподогрев бетона и грунта, сушка помещений и т.д.) - 20-30% общей потребности,

-электроэнергия для питания электродвигателей - 60-70% общей потребности.

При проектировании временного электроснабжения строительной площадки необходимо: рассчитать электрические нагрузки; определить количество и мощность трансформаторных подстанций. Наиболее точным является способ расчета по мощности, необходимой для обеспечения строительных машин и электросварочных аппаратов ( $P_c$ ), выполнения технологических процессов ( $P_m$ ), освещения наружной стройплощадки ( $P_{он}$ ) и внутренних помещений ( $P_{ов}$ ):

$$P_{трансф} = 1,1 \left( \frac{k_c \sum P_c}{\cos \varphi} + \frac{k_m \sum P_m}{\cos \varphi} + k_o \sum P_{ов} + k_o \sum P_{он} \right)$$

где 1,1 — коэффициент, учитывавший потери в сети;  $K_c$ ,  $K_m$ ,  $K_o$  — коэффициенты спроса, зависящие от количества потребителей, определяемые по таблице 1;

$\cos \varphi$  — коэффициент мощности, зависящий от количества и загрузки силовых потребителей, определяемые по таблице 8.1.

Мощность потребителей электроэнергии для строительных машин ( $P_c$ ) и технологических процессов ( $P_m$ ) определяется по справочникам и каталогам, устройств внутреннего и наружного освещения ( $P_{ов}$  и  $P_{он}$ ) — по удельным показателям мощности на освещаемую площадь по таблицам 8.2 и 8.3.

Таблица 8.1 – Значение коэффициентов спроса и мощности

Группа потребителей электроэнергии	$k_c$	$k_m$	$k_o$	$\cos \varphi$
Башенные краны и другие машины	0,7	—	—	0,5
Электросварочные агрегаты: сварочные трансформаторы	0,3	—	—	0,4
однопостовые генераторы	0,35	—	—	0,6
Установки для технологических процессов	—	0,5	—	0,85
Наружное электроосвещение	—	—	1,0	1,0
Внутреннее электроосвещение	—	—	0,8	1,0

Таблица 8.2 – Удельные показатели мощности

Потребитель	Средняя освещенность, лк	Удельная мощность, Вт/м <sup>2</sup>
Объекты на территории строительства в зоне производства работ	2	0,4
Объекты в зоне монтажа строительных конструкций и каменной кладки	20	3,0
Устройства освещения помещений при отделочных работах, временных административных и бытовых зданий	50	15
Другие (в среднем)	10	1,0
Внутрипостроечные дороги, проезды	0,2	2,5 кВт/км
Охранное освещение прожекторами	0,1	1,5 кВт/км

Таблица 8.3 – Удельная мощность электроэнергии на освещение помещений

Потребители	Удельная мощность на 1 м <sup>2</sup> площади, Вт
Вагон - гардеробная	15
Проходная, используемая для обогрева рабочих	15
Вагон - душевая	3
Туалет (уборная)	3
Вагон – сушилка для спецодежды и обуви	5
Вагон - столовая	15
Медпункт	15
Закрытый склад	15
Прорабская	15
Диспетчерская	15

По определенной суммарной мощности подбирается марка трансформатора по таблице 8.4 . Если мощность трансформатора по расчету не соответствует табличному значению, то принимается к установке трансформатор, ближайший по мощности в сторону увеличения.

Таблица 8.4 – Основные технические характеристики трансформаторов

Но- мин. мощ- ность , кВт	Тип	Номи- нальное напряже- ние, кВ	Группа соедине- ния обмо- ток	Потери холос- того хо- да $P_0$ , Вт	Поте- ри ко- роткого замы- кания $P_k$ , Вт	Напря- жение коротко- го замы- кания $U_k$ , %	Ток холо- стого хода $I_0$ , %	Вес пол- ный, кг	Вес мас- ла, кг
25	ТМ- 25/10	6(10)/0,4	У/У <sub>Н</sub> -0 У/З <sub>Н</sub> -11	110	600 690	4,5 4,7	2,2	250	80
40	ТМ- 40/10	6(10)/0,4	У/У <sub>Н</sub> -0 У/З <sub>Н</sub> -11	150	880 1000	4,5 4,7	2,0	310	90
63	ТМ- 63/10	6(10)/0,4	У/У <sub>Н</sub> -0 У/З <sub>Н</sub> -11	210	1280 1470	4,5 4,7	1,8	420	110
100	ТМ- 100/10	6(10)/0,4	У/У <sub>Н</sub> -0 У/З <sub>Н</sub> -11	265	1900 2250	4,5 4,7	1,6	520	170
160	ТМ- 160/10	6(10)/0,4	У/У <sub>Н</sub> -0 У/З <sub>Н</sub> -11	410	2600 2900	4,5 4,7	1,4	720	205
250	ТМ- 250/10	6(10)/0,4	У/У <sub>Н</sub> -0 У/З <sub>Н</sub> -11	580	3700	4,5 4,7	1,2	1080	335
400	ТМ- 400/10	6(10)/0,4	У/У <sub>Н</sub> -0	820	5500	4,5	1,0	1480	465
630	ТМ- 630/10	6(10)/0,4	У/У <sub>Н</sub> -0	1160	7600	5,5	0,8	2200	540

### Задание к практической работе №8

Определить количество и мощность трансформаторов на нужды строительства, согласно варианта задания, выбранного по таблице 8.5.

Таблица 8.5

№ варианта	Потребители электроэнергии	Потребители сжатого воздуха
1	Башенные краны и другие машины ; установки для технологических процессов; освещение объектов на территории строительства в зоне производства работ.	Отбойный молоток-3шт
2	Электросварочные агрегаты: сварочные трансформаторы; установки для технологических процессов; освещение объектов в зоне монтажа строительных конструкций и каменной кладки.	Бурильный молоток-4шт
3	Установки для технологических процессов; однопостовые генераторы; устройства освещения помещений при отделочных работах.	Отбойный молоток, бурильный молоток
4	Башенные краны и другие машины ; установки для технологических процессов; освещение закрытого склада площадью 8 м <sup>2</sup> .	Отбойный молоток-2шт, бурильный молоток-3шт
5	Электросварочные агрегаты: сварочные трансформаторы; установки для технологических процессов; освещение прорабской площадью 5 м <sup>2</sup> .	Отбойный молоток-1шт, бурильный молоток-3шт
6	Установки для технологических процессов; однопостовые генераторы; устройства освещения диспетчерской площадью 4,5 м <sup>2</sup> .	Отбойный молоток-2шт,
7	Башенные краны и другие машины ; установки для технологических процессов; освещение гардеробной площадью 7,2 м <sup>2</sup> .	Бурильный молоток-3шт
8	Электросварочные агрегаты: сварочные трансформаторы; установки для технологических процессов; освещение душевой площадью 9 м <sup>2</sup> .	Отбойный молоток-4шт, бурильный молоток-3шт
9	Установки для технологических процессов; однопостовые генераторы; устройства освещения уборной площадью 3 м <sup>2</sup> .	Отбойный молоток-1шт, бурильный молоток-4шт
10	Установки для технологических процессов; однопостовые генераторы; устройства освещения склада площадью 15,3м <sup>2</sup> .	Отбойный молоток-5шт.

**Мощность потребителей электроэнергии для строительных машин ( $P_c=0,8$ ) и технологических процессов ( $P_m=0,4$ )**



## КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ

- а) оценка «отлично» выставляется обучающемуся за работу, выполненную безошибочно, в полном объеме с учетом рациональности выбранных решений;
- б) оценка «хорошо» выставляется обучающемуся за работу, выполненную в полном объеме с недочетами;
- в) оценка «удовлетворительно» выставляется обучающемуся за работу, выполненную в не полном объеме (не менее 50% правильно выполненных заданий от общего объема работы);
  - оценка «неудовлетворительно» выставляется обучающемуся за работу, выполненную в не полном объеме (менее 50% правильно выполненных заданий от общего объема работы).

### Информационное обеспечение

#### Основные источники:

##### *литература*

1. Прянишников, В.А. Теоретические основы электротехники./ В.А. Пряшников: Курс лекций. – СПб: КОРОНА принт, 2018. – 368 с., ил.

#### Дополнительные источники:

##### *Интернет-ресурс*

2. Немцов, М.В. Электротехника и электроника/ М.В. Немцов: учебник для студ. образоват. учреждений сред. проф. образования. – М. : Издательский центр «Академия», 2018. – 480 с.

***Приложение А. Образец титульного листа***

Министерство образования и науки Челябинской области  
Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение  
**«Южно-Уральский государственный технический колледж»**

**Отчёт**  
по практическим работам  
по дисциплине  
**«Основы электротехники»**

**Выполнил:** *студент группы СЗ-284/б*  
*Петров В. И.*

**Проверил:** *преподаватель*  
*Василенко И.Н.*

**Челябинск 20\_\_\_/\_\_\_ г.**