

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ  
«ОРЕХОВО-ЗУЕВСКИЙ ТЕХНИКУМ»

УТВЕРЖДАЮ

Зам.директора по МР  
*Е.Б.Купцова*  
«27» августа 2020 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ  
по выполнению практических работ

по учебной дисциплине

**ОП.03 Электротехника и электроника**

(индекс, название УД)

ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ

**15.02.12 Монтаж, техническое обслуживание и ремонт  
промышленного оборудования (по отраслям)**

Разработал(а):

Ларионова Александра Викторовна  
ФИО

преподаватель ОП.03 Электротехника и электроника  
(УД)

РАССМОТРЕНА И ОДОБРЕНА

ЦК преподавателей мастеров п/о  
профессионального цикла

Председатель ЦК *Ларионова* Ларионова А.В.

«27» августа 2020 г.

2020 год

## Содержание:

1. Пояснительная записка.....	4
2. Критерии оценки практических работ .....	7
3. Перечень практических работ.....	7
4. Методические указания по выполнению практических занятий.....	8
Практическая работа № 1. Опытная проверка свойств последовательного и параллельного соединения резисторов .....	8
Практическая работа № 2. Опытная проверка свойств последовательного и параллельного соединения резисторов .....	12
Практическая работа № 3. Расчет параметров цепей переменного тока .....	15
Практическая работа № 4. Расчет трехфазных электрических цепей переменного тока. ....	20
Практическая работа № 5. Расчёт параметров трансформаторов.....	22
Практическая работа № 6. Расчёт параметров двигателей постоянного тока	26
Практическая работа №7. Расчёт параметров асинхронных двигателей.....	37
Практическая работа №8. Расчет мощности и выбор двигателя при различных режимах работы. ....	40
Практическая работа №9. Измерение тока, напряжения, сопротивления, мощности и энергии в электрических цепях. Приборы и схемы измерения..	48
Используемая литература:.....	52

### **Уважаемый студент!**

Методические указания по дисциплине ОП.03 Электротехника и электроника по выполнению практических занятий созданы Вам в помощь для работы на занятиях, подготовки к практическим работам.

Приступая к выполнению практической работы, Вы должны внимательно прочитать цель и задачи занятия, ознакомиться с требованиями к уровню Вашей подготовки в соответствии с федеральными государственными стандартами, краткими теоретическими и учебно-методическими материалами по теме практической работы, ответить на вопросы для закрепления теоретического материала.

Наличие положительной оценки по практическим работам необходимо для получения допуска к экзамену, поэтому в случае отсутствия на уроке по любой причине или получения неудовлетворительной оценки за практическую работу Вы должны найти время для ее выполнения или пересдачи.

**Внимание!** Если в процессе подготовки к практическим работам при решении задач у Вас возникают вопросы, разрешить которые самостоятельно не удастся, необходимо обратиться к преподавателю для получения разъяснений или указаний.

**Желаем Вам успехов!!!**

## **1. Пояснительная записка**

Методические рекомендации составлены в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «ОП.03 Электротехника и электроника» для специальности 15.02.12 Монтаж, техническое обслуживание и ремонт промышленного оборудования (по отраслям)".

В методических рекомендациях приведено описание 9 практических работ (16 часов), охватывающих все основные разделы «ОП.03 Электротехника и электроника».

Практические работы активизируют познавательную деятельность обучающихся, так как требуют их личного участия в проведении различного рода исследований и предназначены для углубления и закрепления обучающимися теоретических знаний и приобретения практических навыков, которые могут быть использованы в будущей практической деятельности. Обучающиеся учатся работать с различной литературой, методическими и справочными пособиями.

**Задачи** практических работ по дисциплине ОП.03 Электротехника и электроника:

освоение теории физических явлений, положенных в основу создания и функционирования различных электротехнических устройств, а также в привитии практических навыков использования методов анализа и расчета электрических цепей для решения широкого круга задач.

### **Цели:**

дать обучающимся достаточно полное представление об электрических цепях, их составных элементах, а также математических описаниях, основных методах анализа и расчета этих цепей. При этом обучающемуся предполагается практически продемонстрировать основные законы электротехники; привить начальные навыки экспериментальной работы; дать практическое представление о системах единиц измерения и их практическом использовании; дать качественное представление о некоторых явлениях электротехники; закрепить навыки статистической обработки данных реальных экспериментов.

Перед выполнением практической работы обучающийся должен повторить изученный материал, относящийся к теме занятия или выполнить практическое домашнее задание.

Выполненная работа должна быть представлена в виде отчета по заданной форме.

В результате выполнения практических работ, предусмотренных программой по учебной дисциплине «ОП.03 Электротехника и электроника», обучающийся должен:

**знать:**

- классификацию электронных приборов, их устройство и область применения;
- методы расчета и измерения основных параметров электрических цепей;
- основные законы электротехники;
- основные правила эксплуатации электрооборудования и методы измерения электрических величин;
- основы теории электрических машин, принцип работы типовых электрических устройств;
- параметры электрических схем и единицы их измерения;
- принцип выбора электрических и электронных приборов;
- принципы составления простых электрических и электронных цепей;
- способы получения, передачи и использования электрической энергии;
- устройство, принцип действия и основные характеристики электротехнических приборов;
- основы физических процессов в проводниках, полупроводниках и диэлектриках;
- характеристики и параметры электрических и магнитных полей, параметры различных электрических цепей;
- воздействие электрического тока на организм человека;
- применение законов электротехники к цепям постоянного и переменного тока (однофазных и трехфазных), электрическим машинам;
- применение электроизмерительных приборов для оценки опасности электрического тока.

**уметь:**

- выбирать электрические, электронные приборы и электрооборудование;
- правильно эксплуатировать электрооборудование и механизмы передачи

движения технологических машин и аппаратов;

- производить расчеты простых электрических цепей;
- рассчитывать параметры различных электрических цепей и схем;
- снимать показания и пользоваться электроизмерительными приборами и приспособлениями;
- оценивать опасность поражения электрическим током в цепях постоянного и переменного тока промышленных установок.

Отчет по практической работе должен быть дополнен устным ответом при собеседовании. Отчет должен быть озаглавлен. В заголовке отчета указывают номер работы, ее полное наименование. Отчет должен содержать кратко сформулированную цель работы, схему, порядок выполнения работы (номера и названия опытов), результаты опытов в табличной форме, формулы, необходимые для расчетов, графики и векторные диаграммы, построенные по результатам проведения практической работы. Графики и векторные диаграммы строят в масштабе по линейке карандашом. Текст, формулы и числовые выкладки должны быть выполнены аккуратно и без помарок. Буквенные обозначения и единицы физических величин должны соответствовать ГОСТу. При расчетах придерживаются определенного порядка: сначала искомую величину выражают формулой, затем подставляют в неё известные значения величин, записывают результат расчета.

## 2. Критерии оценки практических работ

Шкала оценивания	Критерии оценки
5 (отлично)	Все задания выполнены правильно, возможна одна неточность или описка, не являющаяся следствием незнания или непонимания учебного материала. Работа выполнена самостоятельно. Работа сдана с соблюдением всех сроков. Соблюдены все правила оформления отчета.
4 (хорошо)	Все задания выполнены правильно, но недостаточны обоснования, рассуждения, допущены одна ошибка или два – три недочета. Обучающийся единожды обращается за помощью преподавателя. Работа сдана в срок (либо с опозданием на два-три занятия). Есть некоторые недочеты в оформлении отчета.
3 (удовлетв.)	В заданиях допущены более одной ошибки или более трех недочетов, но обучающийся владеет обязательными умениями по проверяемой теме. Обучающийся многократно обращается за помощью преподавателя. Работа сдана с опозданием более трех занятий. В оформлении отчета есть отклонения и не во всем соответствует предъявляемым требованиям.
2 (неудовл.)	Выполнено меньше половины предложенных заданий, допущены существенные ошибки, показавшие, что обучающийся не владеет обязательными умениями по данной теме в полном объеме. Обучающийся выполняет работу с помощью преподавателя. Работа сдана с нарушением всех сроков. Много нарушений правил оформления.

## 3. Перечень практических работ

№ п/п	Практические работы	Количество часов
1	Опытная проверка свойств последовательного и параллельного соединения резисторов	1
2	Опытная проверка свойств смешанного соединения резисторов	1
3	Исследование R,L – цепей переменного тока. Исследование R,C – цепей переменного тока.	2
4	Исследование трехфазных электрических цепей переменного тока.	2

5	Расчёт параметров трансформаторов	2
6	Расчёт параметров двигателей постоянного тока	2
7	Расчёт параметров асинхронных двигателей	2
8	Расчет мощности и выбор двигателя при различных режимах работы. Аппаратура для управления электроприводом	2
9	Измерение тока, напряжения, сопротивления, мощности и энергии в электрических цепях. Приборы и схемы измерения	2
	<b>ИТОГО</b>	<b>16</b>

#### **4. Методические указания по выполнению практических занятий**

##### **Практическая работа № 1. Опытная проверка свойств последовательного и параллельного соединения резисторов**

**1.Цель работы:** Ознакомиться с элементами интерфейса, принципами работы и методиками исследования электрических схем в программном комплексе Multisim 10.1. Получить начальные навыки работы с комплексом, освоить методы исследования электрических цепей. проверить справедливость законов электрического тока для последовательного и параллельного соединения проводников.

**Время выполнения работы – 1 час.**

**Программное обеспечение:** При выполнении практической работы №1 используются инструменты системы автоматизированного проектирования Multisim 10.1.

**Задачи:**

изучить систему автоматизированного проектирования Multisim 10.1;  
научить использовать САП Multisim 10.1 для создания и проверки электрических цепей.

#### **2. Краткие теоретические сведения.**

Электрические цепи, с которыми приходится иметь дело на практике, обычно состоят не из одного потребителя, а из нескольких. По способу соединения их можно разделить на два вида: последовательное и параллельное.

Если конец одного проводника соединить с началом другого, то такое соединение называется последовательным соединением. Примером такого соединения может быть елочная гирлянда. Сила тока, протекающего через лампочки, одна и та же:  $I = I_1 = I_2$ . Если взять вольтметр и поочередно включать его параллельно лампочкам, то сумма его показаний будет равна



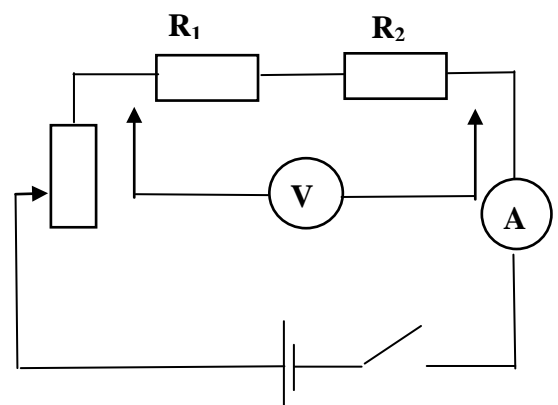
напряжению источника:  $U = U_1 + U_2$ . При последовательном соединении проводников увеличивается их общая длина, поэтому увеличивается и сопротивление цепи. Полное сопротивление цепи при последовательном соединении равно сумме сопротивлений отдельных проводников:  $R = R_1 + R_2$ . Если в цепь последовательно соединить  $N$  проводников с одинаковым сопротивлением, то полное сопротивление будет больше сопротивления одного проводника в  $N$  раз:  $R = NR_1$ . Из-за того, что при последовательном соединении ток из одной лампочки переходит в другую, при сгорании одной лампочки цепь размыкается. При параллельном соединении проводников, начала проводников соединяются в одной точке, а концы в другой. Из рисунка, где приводится параллельное соединение двух лампочек, видно, что напряжение, приложенное к лампочкам, одинаково:  $U = U_1 = U_2$ . Общая сила тока в цепи при таком соединении равна сумме сил токов, протекающих через каждую лампочку:  $I = I_1 + I_2$ . При параллельном соединении площади поперечного сечения складываются, и общая площадь проводника увеличивается. Поэтому полное сопротивление цепи уменьшается. Из закона Ома для участка цепи следует, что:  $R = \frac{R_1 R_2}{(R_1 + R_2)}$ .

При параллельном соединении проводников их полное сопротивление уменьшается. Полное сопротивление меньше сопротивления каждого проводника. Телевизор, электрические лампочки, холодильник и другие потребители в помещении соединяются параллельно. При таком соединении все потребители работают при одинаковом напряжении. Поэтому с увеличением потребителей, уменьшается полное сопротивление и растет сила тока. Если одна лампочка при параллельном соединении сгорает, то другие продолжают гореть. Этим и удобно параллельное соединение.

## 2. Порядок выполнения работы

1. Запустить программный комплекс Multisim 10.1.
2. Ознакомиться с элементами управления и методами построения электрических схем.
3. Собрать электрическую цепь (рис. 1) и с помощью реостата установить стрелку амперметра на определенное деление.
4. Измерить вольтметром напряжение в общей цепи и на отдельных потребителях.

Результаты измерений и вычислений записать в таблицу:



Сила электрического тока $I$ в цепи	Напряжение на резисторе			Сопротивление резистора		
	$U_1$	$U_2$	$U_{\text{общ}}$	$R_1$	$R_2$	$R_{\text{общ}}$

5. Собрать электрическую цепь (рис. 2) и с помощью реостата установить стрелку вольтметра на определенное деление шкалы.
6. Измерить поочередно амперметром силу электрического тока в общей цепи и в цепях отдельных потребителей.

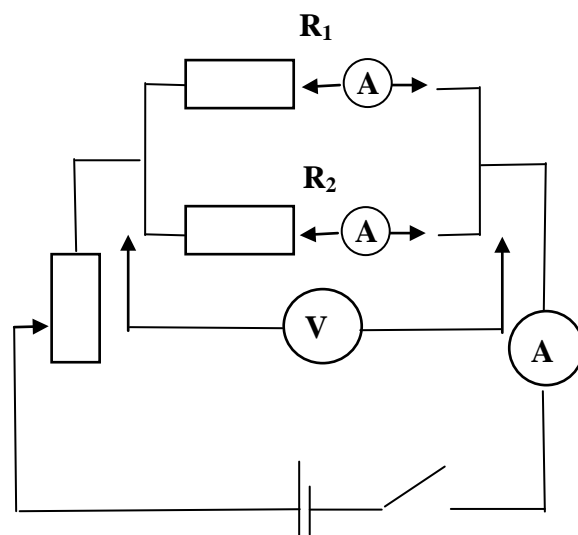


рис.2

Результаты измерений и  
вычислений записать в таблицу:

Напряжение $U$ на резисторе	Сила электрического тока в цепи			Сопротивление резистора		
	$I_1$	$I_2$	$I_{\text{общ}}$	$R_1$	$R_2$	$R_{\text{общ}}$

7. Провести расчеты по результатам эксперимента.

На основании проведенных опытов, сделать вывод о том, выполняются ли законы электрического тока для последовательного и параллельного соединений проводников.

### 3. Содержание отчета

1. Название и цель работы.
2. Исследуемые схемы, полученные показания приборов и результаты аналитических расчетов.
3. Выводы по практической работе.

### 4. Контрольные вопросы

1. Какие физические величины бывают одинаковыми при параллельном соединении проводников?
2. Какие физические величины бывают одинаковыми при последовательном соединении проводников?
3. В электрическую цепь включена лампочка. Как изменится сопротивление цепи, если к первой лампочке, параллельно включить еще две лампочки? Меняется ли сила тока?

4. Как изменяются показания амперметра и вольтметра, если в последовательно соединенной цепи ползунок реостата  $R_1$  поставить в крайнее левое положение?

## **Практическая работа № 2. Опытная проверка свойств последовательного и параллельного соединения резисторов**

### **Цель работы:**

Научиться самостоятельно определять типы соединений потребителей и выполнять расчёт электрических цепей методом свёртывания.

Развивать навыки самоорганизации, критического мышления, умения применять полученные знания на практике.

Воспитывать средствами занятия уверенность в своих силах, стремление добиваться результатов;

формировать навыки самостоятельной работы, ответственность.

### **Задачи:**

Научить обучающихся самостоятельно определять типы соединений потребителей и выполнять расчёт электрических цепей методом свёртывания.

Развивать навыки самоорганизации, критического мышления, умения применять полученные знания на практике.

Воспитывать в обучающихся средствами занятия уверенность в своих силах, стремление добиваться результатов; формировать навыки самостоятельной работы, ответственность.

**Время выполнения работы – 1 час.**

**Программное обеспечение:** При выполнении практической работы №2 используются инструменты системы автоматизированного проектирования Multisim 10.1.

### **Теоретический материал:**

Описание метода

Согласно методу свертывания, сложная электрическая схема поэтапно упрощается путем замены ее участков последовательно и параллельно соединенных сопротивлений соответствующими эквивалентными сопротивлениями.

В результате преобразования получают схему с одним эквивалентным сопротивлением, подключенным к клеммам источника. Рассчитывается ток, протекающий в преобразованной схеме через эквивалентное сопротивление, а затем возвращаются поэтапно к исходной схеме, определяя токи, протекающие через ее элементы.

## Правила расчёта

- Отметить на схеме все токи и узловые точки.
- Группы резисторов с явно выраженными последовательными и параллельными соединениями заменяются эквивалентными. Определить сопротивления групп резисторов (составить формулы).
- Замену производить до получения простейшей схемы, где легко определить общее сопротивление цепи.
- По напряжению источника и общему сопротивлению цепи определяется ток в неразветвленной части цепи.
- Определяются падения напряжения на участках цепи и ток каждого резистора.

## **Порядок выполнения работы**

1. Запустить программный комплекс Multisim 10.1.
2. Собрать схему в соответствии с рисунком

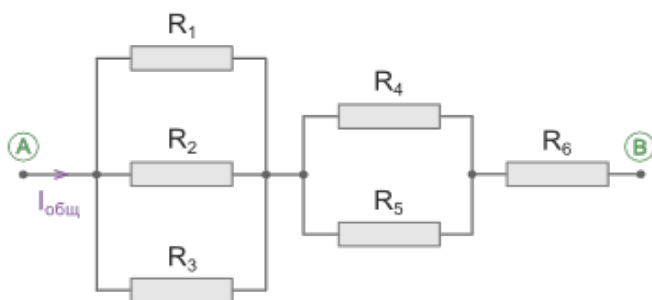


Схема 1.  
Смешанное соединение  
последовательного типа.

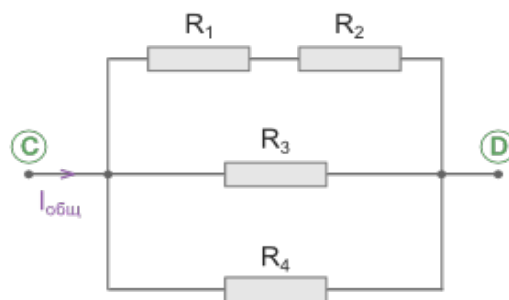


Схема 2.  
Смешанное соединение  
параллельного типа.

3. Произвести расчёты в соответствии с таблицей данных.

Для схемы 1

дано:  $R1=100$

$OmR2=20Om$

$R3=50$

$OmR4=100$

$OmR5=R6=10$

$OmU_{AB} = 20 B$

Найти  $R_{общ}$ ,  $I_{общ}$

Для схемы 2

дано:  $R1=10 Om$

$R2=50$

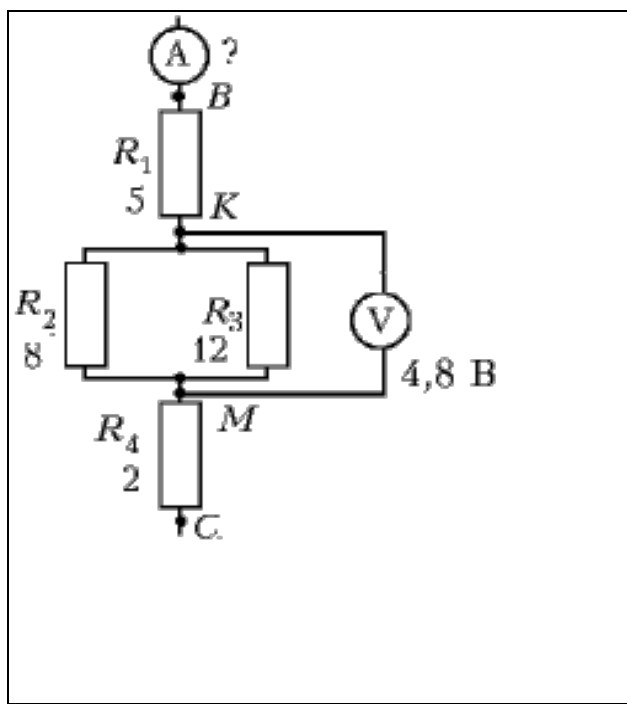
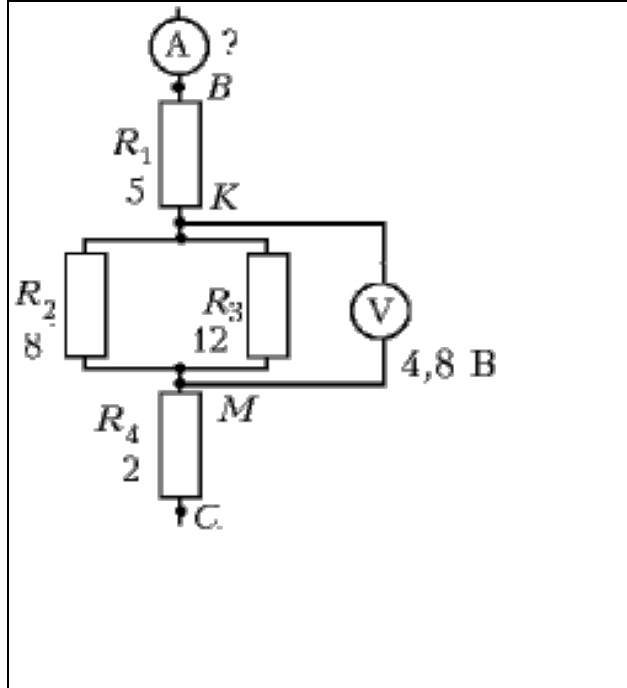
$OmR3=30$

$OmR4=100$

$OmUCD =$

$50 B$

Найти  $R_{общ}$ ,  $I_{общ}$

	<p><b>Дано:</b>  <math>R_1=5 \quad \text{Ом}</math>  <math>R_2=8 \quad \text{Ом}</math>  <math>R_3=12 \quad \text{Ом}</math>  <math>R_4=2 \quad \text{Ом}</math>  <math>U_{\text{KM}} = 4,8 \text{ В}</math></p> <p><b>Найти:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Силу тока <math>I</math> на участке ВС (показ.амперметра)</li> <li>2) Найти падение напряжения на участкеВК</li> <li>3) Найти падение напряжения на участкеМС</li> </ol>
	<p><b>Дано:</b>  <math>R_1=5 \quad \text{Ом}</math>  <math>R_2=8 \quad \text{Ом}</math>  <math>R_3=12 \quad \text{Ом}</math>  <math>R_4=2 \quad \text{Ом}</math>  <math>U_{\text{KM}} = 4,8 \text{ В}</math></p> <p><b>Найти:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Силу тока <math>I</math> на участке ВС (показ.амперметра)</li> <li>2) Найти падение напряжения на участкеВК</li> <li>3) Найти падение напряжения на участкеМС</li> </ol>

4. Сделать выводы по проделанной работе.

### Содержание отчета

- 1.Название и цель работы.
- 2.Исследуемые схемы, полученные показания приборов и результаты аналитических расчетов.
- 3.Выводы по практической работе.

### Практическая работа № 3. Расчет параметров цепей переменного тока

#### Цель работы:

Научиться производить расчет цепей переменного тока.

#### Задачи:

Научиться пользоваться справочными данными и расчетными формулами.

Время выполнения работы – 2 часа.

**Программное обеспечение:** При выполнении практической работы №3 используются инструменты системы автоматизированного проектирования Multisim 10.1.

#### Общие сведения

Практическая работа относится к расчету неразветвленных цепей переменного тока. Перед ее решением изучите соответствующий теоретический материал, ознакомьтесь с методикой построения векторных диаграмм и рассмотрите типовой пример.

#### Пример.

Цепь переменного тока содержит последовательно соединенные резистор с сопротивлением  $R_1=6$  Ом, индуктивность с индуктивным сопротивлением  $X_L=10$  Ом, резистор с сопротивлением  $R_2=2$  Ом и конденсатор с емкостным сопротивлением  $X_C=4$  Ом (см. рис. 1).

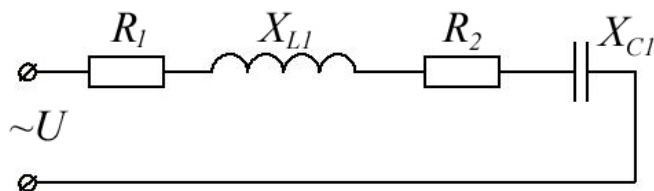


рис. 1.  
К цепи приложено напряжение  $U=50$  В (действующее значение).

Определить: 1) полное сопротивление цепи; 2) ток; 3) коэффициент мощности; 4) активную, реактивную и полную мощности; 5) напряжения на каждом сопротивлении. Начертите в масштабе, векторную диаграмму цепи.

#### Решение.

1. Определяем полное сопротивление цепи:

$$z = \sqrt{(R_1 + R_2)^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{(6 + 2)^2 + (10 - 4)^2} = 10 \text{ Ом}$$

2. Определяем ток:

$$I = \frac{U}{z} = 50/10 = 5 \text{ А}$$

3. Определяем угол сдвига по фазе между током и напряжением цепи:

$$\sin \varphi = \frac{X_L - X_C}{z} = \frac{10 - 4}{10} = 0,6. \text{ Откуда } \varphi \approx 36^\circ.$$

4. Определяем активную мощность цепи:

$$P = I^2 \cdot (R_1 + R_2) = 5^2 \cdot (6 + 2) = 200 \text{ Вт}$$

или  $P = U \cdot I \cdot \cos \varphi = 50 \cdot 5 \cdot 0,8 = 200 \text{ Вт},$

Здесь  $\cos \varphi = \frac{R_1 + R_2}{Z} = \frac{6 + 2}{10} = 0,8$  коэффициент мощности цепи.

5. Определяем реактивную мощность цепи:

$$Q = I^2 \cdot (X_L - X_C) = 5^2 \cdot (10 - 4) = 200 \text{ вар или}$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi = 50 \cdot 5 \cdot 0,6 = 150 \text{ вар}$$

6. Определяем полную мощность цепи:

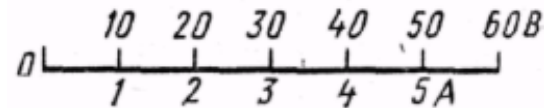
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{200^2 + 150^2} = 250 \text{ ВА или } S = U \cdot I = 50 \cdot 5 = 250 \text{ ВА}$$

7. Определяем падения напряжения на сопротивлениях цепи:

$$U_{R1} = I \cdot R_1 = 5 \cdot 6 = 30 \text{ В } U_{R2} = I \cdot R_2 = 5 \cdot 2 = 10 \text{ В}$$

$$U_L = I \cdot X_L = 5 \cdot 10 = 50 \text{ В } U_C = I \cdot X_C = 5 \cdot 4 = 20 \text{ В}$$

Построение векторной диаграммы начинаем с выбора масштаба для тока и напряжения. Задаемся масштабом по току:  $m_I = 1 \text{ А/см}$  (в 1 см — 1,0 А) и масштабом по напряжению:  $m_U = 10 \text{ В/см}$  (в 1 см — 10 В).



Построение векторной диаграммы (см. рис.

2) начинаем с вектора тока, который откладываем по горизонтали, длина вектора тока:

$$|\vec{I}| = \frac{I}{m_I} = \frac{5}{1} = 5 \text{ см}.$$

Вдоль вектора тока откладываем векторы падений напряжения на активных сопротивлениях  $R_1$  и  $R_2$ , длины которых определяем по формулам:

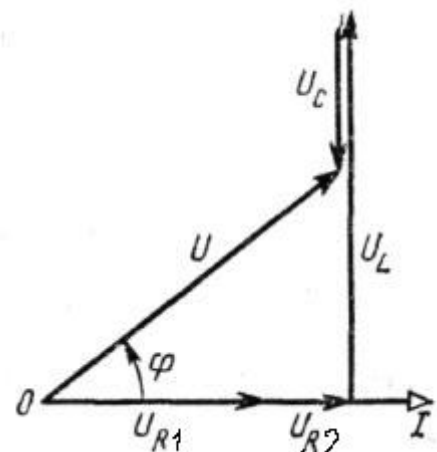
$$|\vec{U}_{R1}| = \frac{U_{R1}}{m_U} = \frac{30}{10} = 3 \text{ см } |\vec{U}_{R2}| = \frac{U_{R2}}{m_U} = \frac{10}{10} = 1 \text{ см}$$

Из конца вектора напряжения на активном сопротивлении  $R_2$  -  $\vec{U}_{R2}$ , откладываем в сторону опережения вектора тока на  $90^\circ$  вектор падения напряжения на индуктивном сопротивлении -  $\vec{U}_L$ , его длина:

$$|\vec{U}_L| = \frac{U_L}{m_U} = \frac{50}{10} = 5 \text{ см}$$

Из конца вектора  $\vec{U}_L$  откладываем в сторону отставания от вектора тока на  $90^\circ$  вектор падения напряжения на конденсаторе  $\vec{U}_C$ , его длина:

$$|\vec{U}_C| = \frac{U_C}{m_U} = \frac{20}{10} = 2 \text{ см}$$





Геометрическая сумма векторов  $\vec{U}_{R2}, \vec{U}_{R2}, \vec{U}_L, \vec{U}_C$  равна полному напряжению  $\vec{U}$ , приложенному к цепи.

Рис. 2

### Порядок выполнения работы:

1. Отметьте в отчете наименование и цель занятия.
2. Отметьте в отчете исходные условия задачи и заданную схему. Условия задачи и схемы цепей приведены в приложении.
3. Выполните предложенное задание. По необходимости, при выполнении задания практической работы, повторите теоретический материал и примеры, подобные заданию практической работы.
4. Оформите отчет по практической работе.

### Отчет должен содержать:

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Требуемые расчеты, рисунки, схемы.
4. Вывод по работе.
5. Дату выполнения работы

### Задание для выполнения практической работы.

Цепь переменного тока содержит различные элементы (резисторы, индуктивности, емкости), включенные последовательно. Схема цепи приведена на соответствующем рисунке. Номер рисунка и значения сопротивлений всех элементов, а также один дополнительный параметр заданы в таблице 1.

Начертить схему цепи и определить следующие величины, относящиеся к данной цепи, если они не заданы в таблице 1:

- 1) полное сопротивление цепи  $z$ ;
- 2) напряжение приложенное к цепи  $U$ ;
- 3) ток  $I$ ;
- 4) угол сдвига фаз  $\varphi$  (по величине и знаку);
- 5) активную  $P$ , реактивную  $Q$  и полную  $S$  мощности цепи.

Начертить в масштабе векторную диаграмму цепи и объяснить ее построение. С помощью логических рассуждений пояснить характер изменения (увеличится, уменьшится, останется без изменения) тока, активной, реактивной мощности в цепи при увеличении частоты тока в два раза. Напряжение, приложенное к цепи, считать неизменным.

**Замечание.** Индекс у тока, напряжения или мощности совпадает с индексом элемента, к которому относится. Например,  $U_{C2}$  – напряжение на

конденсаторе  $C_2$ . Если индекса нет напряжение, мощность, ток относятся ко всей цепи.

Таблица 1.

Номер вариант	Номер рисунок	$R_1, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$	$X_{L1}, \text{Ом}$	$X_{L2}, \text{Ом}$	$X_{C1}, \text{Ом}$	$X_{C2}, \text{Ом}$	Дополнительный параметр
1	1	4	—	6	—	3	—	$Q_{L1}=150 \text{ вар}$
2	2	6	2	3	—	9	—	$U = 40 \text{ В}$
3	3	3	—	—	—	2	2	$I = 4 \text{ А}$
4	4	4	4	3	3	—	—	$S = 360 \text{ ВА}$
5	5	8	—	12	—	4	2	$P = 200 \text{ Вт}$
6	6	16	—	10	8	6	—	$U = 80 \text{ В}$
7	1	3	—	2	—	6	—	$U = 50 \text{ В}$
8	2	4	4	4	—	10	—	$I = 4 \text{ А}$
9	3	6	—	—	—	5	3	$S=160 \text{ ВА}$
10	4	6	10	8	4	—	—	$P = 400 \text{ Вт}$
11	5	12	—	4	—	12	8	$I = 4 \text{ А}$
12	6	6	—	8	4	4	—	$P = 54 \text{ Вт}$
13	1	6	—	10	—	2	—	$I = 5 \text{ А}$
14	2	4	2	12	—	4	—	$P = 24 \text{ Вт}$
15	3	8	—	—	—	4	2	$U = 40 \text{ В}$
16	4	4	8	10	6	—	—	$Q=64 \text{ вар}$
17	5	6	—	12	—	2	2	$U_{L1} = 60 \text{ В}$
18	6	4	—	8	4	9	—	$Q = 75 \text{ вар}$
19	1	8	—	4	—	10	—	$P = 800 \text{ Вт}$
20	2	3	3	2	—	10	—	$Q_{C1} = -160$
21	3	16	—	—	—	4	8	$Q = -300 \text{ вар}$
22	4	2	4	2	6	—	—	$U = 60 \text{ В}$
23	5	4	—	10	—	4	3	$U_{C2} = 15 \text{ В}$
24	6	12	—	14	10	8	—	$U_{R1} = 60 \text{ В}$
25	1	12	—	18	—	2	—	$S=500 \text{ ВА}$
26	2	8	4	20	—	4	—	$Q_{L1} = 500 \text{ вар}$
27	3	12	—	—	—	10	6	$P = 48 \text{ Вт}$
28	4	6	2	4	2	—	—	$I = 4 \text{ А}$

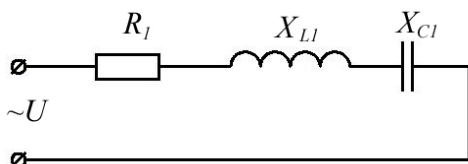


Рис. 1.

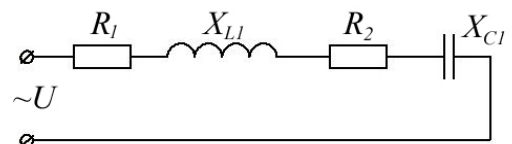


Рис. 2.

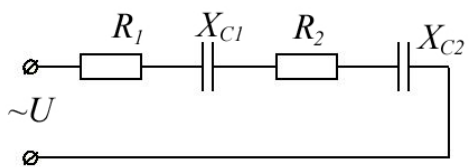


Рис. 3.

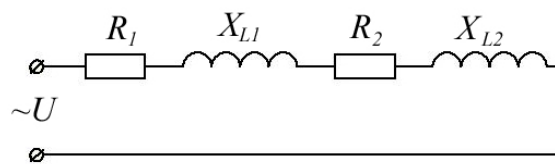


Рис. 4.

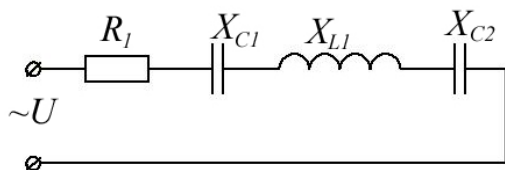


Рис. 5.

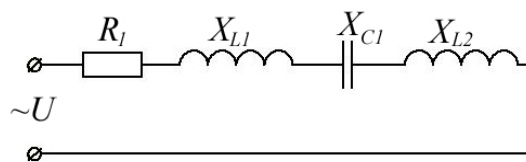


Рис. 6.

## **Практическая работа № 4. Расчет трехфазных электрических цепей переменного тока.**

### **Цель работы:**

сформировать умения рассчитывать основные параметры трехфазных цепей (фазные и линейные напряжения и токи, сопротивления фаз, мощности фаз).

### **Задачи:**

способствовать формированию умения различать фазные и линейные величины при различных соединениях приемников электроэнергии;  
создать условия для приобретения навыков в решении задач по данной теме;  
выполнять расчеты электрических цепей;  
выполнять измерения параметров цепей постоянного и переменного тока.

**Время выполнения работы – 2 часа.**

### **Порядок выполнения работы:**

1. Просмотреть текст задачи.
2. Изучить текст задачи
3. Прочитать текст задачи
4. Выписать все известные величины
5. Выделить все известные величины
6. Определить требование задачи
7. Выписать требование задачи
8. Начертить схему цепи
9. Определить тип соединения
10. Найти тип соединения
11. Указать на схеме все параметры
12. Выписать соответствующие формулы
13. Оформить решение задачи
14. Выразить неизвестные величины через известные
15. Подставить численные значения в формулу
16. Произвести вычисления
17. Проверить правильность вычисления
18. Записать ответ

### **Задача 1.**

На вводе трехэтажного дома напряжение 220 В. Причем на каждый этаж идет одна фаза, соединенная треугольником,. Суммарная мощность включенных ламп на первом этаже 2200 Вт, на втором – 550 Вт и на третьем этаже – 1100 Вт. Приняв лампы за линейные элементы цепи, найти ток и напряжение на лампах всех этажей.

### *Дополнительные вопросы к задаче 1.*

\*Определить токи и напряжения на лампах, если перегорит плавкая вставка на фазе В.

\*\*Что будет происходить, если жители станут менять число включенных ламп (при сгоревшей вставки)?

### **Задача 2.**

На каждом из трех этажей здания 110 ламп (60 Вт, 220 В) подключены к трехфазному трансформатору. Найти токи в линейных проводах и мощность при полной нагрузке, если линейное напряжение в сети 380 В, способ соединения «звезда с нулевым проводом».

### *Дополнительные вопросы к задаче 2.*

\* Определить фазные токи и мощность каждой фазы, если на первом этаже будет включена половина всех ламп, на втором – 22 лампы и на третьем все лампы этажа.

\*\*Изменятся ли напряжения и токи на каждом этаже, если произойдет обрыв нулевого провода при полном освещении здания?

### **Задача 3.**

Трехфазный асинхронный двигатель с обмотками, соединенными звездой, включен в сеть с напряжением 380 В. Полное сопротивление каждой обмотки  $Z=20$  Ом. Определить фазные напряжения и токи.

### *Дополнительные вопросы к задаче 3.*

\* Почему асинхронный двигатель не подключен к нулевому проводу?

\*\* Как изменятся фазные напряжения и токи, если обмотки двигателя переключить со звезды на треугольник?

### **Задача 4.**

Приемник электрической энергии, соединенный по схеме «треугольник», подключен к трехфазной сети с действующим значением линейного напряжения  $U_L=220$  В. В фазу АВ включен резистор сопротивлением  $R=10$  Ом, в фазу ВС – конденсатор сопротивлением  $X_L=20$  Ом, в фазу СА – катушка индуктивности с полным сопротивлением 30 Ом. Определить фазные токи  $I_{AB}$ ,  $I_{BC}$ ,  $I_{CA}$ .

Дополнительные вопросы к задаче 4.

\* Как изменятся фазные токи  $I_{AB}$ ,  $I_{BC}$ ,  $I_{CA}$ , если в фазу АВ включить последовательно еще два резистора сопротивлением  $R=10$  Ом, в фазу ВС - параллельно конденсатор сопротивлением  $X_L=10$  Ом, фазу СА оставить без изменений.

\*\* Можно ли считать нагрузку симметричной при проведенных изменениях в цепи? Ответ обоснуйте.

## Практическая работа № 5. Расчёт параметров трансформаторов

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** определить коэффициент трансформации, ЭДС, токи в обмотках, параметры холостого хода и короткого замыкания однофазного двухобмоточного трансформатора

Норма времени: 2 часа

### КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:

В процессе работы однофазного двухобмоточного трансформатора в его магнитопроводе наводится переменный магнитный поток (рис. 1.1). Основная часть этого потока  $\Phi_{\max}$  (максимальное значение), сцепляясь с обмотками трансформатора, индуцирует в них переменные ЭДС, действующие значения которых равны:  
первичная ЭДС

$$E_1 = 4,44 \Phi_{\max} f_1 w_1; (\text{формула 1.1})$$

вторичная ЭДС

$$E_2 = 4,44 \Phi_{\max} f_1 w_2; (\text{формула 1.2})$$

где  $f_1$  — частота переменного тока, Гц;  $w_1$  и  $w_2$  — число витков в первичной и вторичной обмотках трансформатора.

Максимальное значение основного магнитного потока, Вб,

$$\Phi_{\max} = B_{\max} Q_{CT} \kappa_c; (\text{формула 1.3})$$

где  $B_{\max}$  — максимальное значение магнитной индукции в стержне магнитопровода, Тл;  $Q_{CT}$  — площадь поперечного сечения стержня трансформатора,  $\text{м}^2$ ;  $\kappa_c$  — коэффициент заполнения магнитопровода сталью, который учитывает толщину изоляционных прослоек между пластинами электротехнической стали, при толщине пластин 0,5 мм обычно принимают  $\kappa_c = 0,95$ .

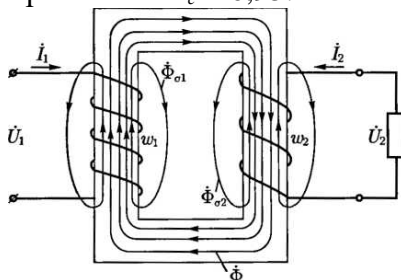


Рис. 1.1. Однофазный двухобмоточный трансформатор

Различие в значениях ЭДС  $E_1$  и  $E_2$  вызвано неодинаковым числом витков в первичной  $w_1$  и во вторичной  $w_2$  обмотках трансформатора.

Отношение ЭДС обмотки высшего напряжения к ЭДС обмотки низшего напряжения, равное отношению чисел витков этих обмоток, называют коэффициентом трансформации:

$$k = E_1/E_2 = w_1/w_2; \text{(формула 1.4)}$$

Трансформаторы характеризуются следующими параметрами:

1. полная мощность первичной обмотки, В•А,

$$S_1 = U_1 I_1; \text{(формула 1.5)}$$

где  $U_1$  – первичное напряжение,  $I_1$  – первичный ток;

2. полная мощность вторичной обмотки, В•А,

$$S_2 = U_2 I_2; \text{(формула 1.6)}$$

где  $U_1$  – первичное напряжение,  $I_1$  – первичный ток;

Так как потери в трансформаторе невелики, то за номинальную полную мощность трансформатора принимают:

$$S_{\text{ном}} = U_{1\text{ном}} I_{1\text{ном}} \approx U_{2\text{ном}} I_{2\text{ном}}. \text{(формула 1.7)}$$

Трансформатор, у которого параметры вторичной цепи приведены к числу витков первичной обмотки  $w_1$  называют *приведенным трансформатором*. Такому трансформатору соответствует электрическая схема замещения (рис. 1.2) и основные уравнения:

(формула 1.8)

$$\dot{U}_1 = (-\dot{E}_1) + \dot{I}_1 Z_1 = (-\dot{E}_1) + j\dot{I}_1 x_1 + \dot{I}_1 r_1;$$

$$\dot{U}'_2 = \dot{E}'_2 - \dot{I}'_2 Z'_2 = \dot{E}'_2 - j\dot{I}'_2 x'_2 - \dot{I}'_2 r'_2;$$

$$\dot{I}_1 = \dot{I}_0 + (-\dot{I}'_2).$$

Индуктивные сопротивления первичной  $x_1$  и вторичной  $x_2$  обмоток обусловлены потоками рассеяния  $\Phi_{\sigma 1}$  и  $\Phi_{\sigma 2}$  (см. рис. 1.1).

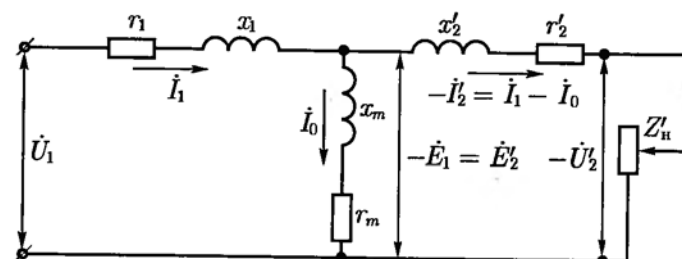


Рис. 1.2. Схема замещения трансформатора

В режиме холостого хода ток в первичной обмотке  $I_{10}$  обычно составляет

небольшую величину относительно номинального значения этого тока и поэтому падениями напряжения в первичной обмотке можно пренебречь ввиду их незначительности и принять

(формула 1.9)

$$U_1 \approx (-E_1).$$

### ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ:

1. Зарисовать схему работы однофазного двухобмоточного трансформатора (рис 1.1.).

2. Решить задачу №1. Однофазный двухобмоточный трансформатор имеет номинальные напряжения: первичное 6,3 кВ, вторичное 0,4 кВ; максимальное значение магнитной индукции в стержне магнитопровода 1,5 Тл; площадь поперечного сечения этого стержня 200 см<sup>2</sup>; коэффициент заполнения стержня сталью  $k_c = 0,95$ . Определить число витков в обмотках трансформатора и коэффициент трансформации, если частота переменного тока в сети  $f = 50$  Гц. Решение задачи выполнить поэтапно:

- I. Найти максимальное значение основного магнитного потока  $\Phi_{\max}$ , используя формулу 1.3;
- II. Вычислить число витков во вторичной обмотке  $w_2$ , используя формулу 1.2 и равенство  $U_2 \approx E_2$ ;
- III. Определить коэффициент трансформации по формуле 1.4.

3. Решить задачу №2, согласно варианту. Однофазный трансформатор включен в сеть с частотой тока 50 Гц. Номинальное вторичное напряжение  $U_{2\text{ном}}$ , а коэффициент трансформации  $k$  (табл. 1.1). Определить число витков в обмотках  $w_1$  и  $w_2$ , если в стержне магнитопровода трансформатора сечением  $Q_{\text{ст}}$  максимальное значение магнитной индукции  $B_{\max}$ . Коэффициент заполнения стержня сталью  $k_c = 0,95$ .

Таблица 1.1. Варианты исходных значений задачи №2

Параметр	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{2\text{ном}}$ , В	230	400	680	230	230	400	400	680	230	230
$k$	15	10	12	8	10	6	8	12	14	8
$Q_{\text{ст}}$ , м <sup>2</sup>	0,049	0,08	0,12	0,18	0,065	0,08	0,12	0,076	0,06	0,085
$B_{\max}$ , Тл	1,3	1,6	1,8	1,3	1,4	1,5	1,2	1,3	1,5	1,2

Решение задачи выполнить поэтапно:

- I. Найти максимальное значение основного магнитного потока  $\Phi_{\max}$ ;
- II. Вычислить число витков во вторичной обмотке  $w_2$  трансформатора;
- III. Определить количество витков  $w_1$  в первичной обмотке трансформатора.



4. Решить задачу №3. Однофазный двухобмоточный трансформатор номинальной мощностью  $S_{\text{ном}}$  и номинальным током во вторичной цепи  $I_{2\text{ном}}$  при номинальном вторичном напряжении  $U_{2\text{ном}}$ , имеет коэффициент трансформации  $k$ ; при числе витков в обмотках  $w_1$  и  $w_2$ . Максимальное значение магнитной индукции в стержне  $B_{\text{max}}$ , а площадь поперечного сечения этого стержня  $Q_{\text{ст}}$ ; ЭДС одного витка  $E_{\text{втек}}$ , частота переменного тока в сети  $f = 50$  Гц. Значения перечисленных параметров приведены в табл. 1.3. Требуется определить не указанные в этой таблице значения параметров для каждого варианта.

Таблица 1.3. Варианты исходных значений задачи №4

Параметр	Варианты				
	1	2	3	4	5
$S_{\text{ном}}$ , кВ · А	—	120	—	240	600
$U_{2\text{ном}}$ , В	400	630	—	880	660
$w_1$	—	1800	—	—	—
$w_2$	—	—	169	128	140
$k$	15	—	12	23,4	9,55
$E_{\text{втек}}$ , В	5	—	6	—	—
$Q_{\text{ст}}$ , м <sup>2</sup>	—	0,018	—	0,022	—
$B_{\text{max}}$ , Тл	1,5	1,4	1,5	—	1,55
$I_{2\text{ном}}$ , А	172	—	140	—	—

5. Оформить отчет по практической работе.
6. Ответить на контрольные вопросы.
7. Сделать вывод о проделанной работе.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Что возникает в магнитопроводе однофазного двухобмоточного трансформатора в процессе его работы?
2. Какие виды ЭДС присутствуют в магнитопроводе однофазного двухобмоточного трансформатора и как они вычисляются?
3. Какими параметрами характеризуются трансформаторы и как эти параметры могут быть определены?
4. Что такое приведенный трансформатор?
5. Что происходит с током, ЭДС и напряжением трансформатора в режиме холостого хода?

## Практическая работа № 6. Расчёт параметров двигателей постоянного тока

**ЦЕЛЬ РАБОТЫ:** рассчитать ток двигателя в номинальном режиме, частоту вращения и ток в режиме холостого хода; потери и КПД двигателя; механические и искусственные характеристики двигателя.

Норма времени: 2 часа

### КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ:

Коллекторные машины обладают свойством обратимости, т. е. они могут работать как в режиме генератора, так и в режиме двигателя. Поэтому если машину постоянного тока подключить к источнику энергии постоянного тока, то в обмотке возбуждения и в обмотке якоря машины появятся токи. Взаимодействие тока якоря с полем возбуждения создает на якоре электромагнитный момент  $M$ , который является не тормозящим, как это имело место в генераторе, а *вращающим*.

Под действием электромагнитного момента якоря машина начнет вращаться, т. е. машина будет работать в режиме двигателя, потребляя из сети электрическую энергию и преобразуя ее в механическую. В процессе работы двигателя его якорь вращается в магнитном поле. В обмотке якоря индуцируется ЭДС  $E_a$ , направление которой можно определить по правилу «правой руки». По своей природе она не отличается от ЭДС, наводимой в обмотке якоря генератора. В двигателе же ЭДС направлена против тока  $I_a$ , и поэтому ее называют *противоэлектродвижущей* силой (противо-ЭДС) якоря.

Для двигателя, работающего с постоянной частотой вращения,

$$U = E_a + I_a \sum r. \quad (1)$$

Из (29.1) следует, что подведенное к двигателю напряжение уравнивается противо-ЭДС обмотки якоря и падением напряжения в цепи якоря. На основании (29.1) ток якоря

$$I_a = \frac{U - E_a}{\sum r}. \quad (2)$$

Умножив обе части уравнения (29.1) на ток якоря  $I_a$ , получим *уравнение мощности для цепи якоря*:

$$UI_a = I_a^2 \sum r + E_a I_a, \quad (3)$$

где  $UI_a$  — мощность в цепи обмотки якоря;  $I_a^2 \sum r$  — мощность электрических потерь в цепи якоря.

Для выяснения сущности выражения  $E_a I_a$  сделаем следующее преобразование:

$$E_a I_a = \frac{pN}{60a} \Phi n I_a = \frac{pN}{60a} \Phi \frac{60\omega}{2\pi} I_a, \text{ или } E_a I_a = \frac{pN}{2\pi a} \Phi I_a \omega.$$

$$\text{Но, } [pN/(2\pi a)] \Phi I_a = M$$

$$\text{Тогда } E_a I_a = M\omega = P_{\text{эм}}, \quad (4)$$

где  $\omega = 2\pi n / 60$  — угловая частота вращения якоря;  $P_{\text{эм}}$  — электромагнитная мощность двигателя.

Следовательно, выражение  $E_a I_a$  представляет собой *электромагнитную мощность двигателя*.

Преобразовав выражение (3) с учетом (4), получим

$$UI_a = M\omega + I_a^2 \sum r.$$

Анализ этого уравнения показывает, что с увеличением нагрузки на вал двигателя, т. е. с увеличением электромагнитного момента  $M$ , возрастает мощность в цепи обмотки якоря  $UI_a$ , т. е. мощность на входе двигателя. Но так как напряжение, подводимое к двигателю, поддерживается неизменным ( $U = \text{const}$ ), то увеличение нагрузки двигателя сопровождается ростом тока в обмотке якоря  $I_a$ .

В зависимости от способа возбуждения двигателя постоянного тока, так же как и генераторы, разделяют на двигатели с возбуждением от постоянных магнитов (магнитоэлектрические) и с электромагнитным возбуждением. Последние в соответствии со схемой включения обмотки возбуждения относительно обмотки якоря подразделяют на двигатели параллельного (шунтовые), последовательного (сериесные) и смешанного (компаундные) возбуждения.

В соответствии с формулой ЭДС  $E_a = c_e \Phi n$  частота вращения двигателя (об/мин)  $n = E_a / (c_e \Phi)$ .

$$\text{Подставив значение } E_a \text{ из (1), получим (об/мин) } n = \frac{U - I_a \sum r}{c_e \Phi}, \quad (5)$$

*Частота вращения двигателя прямо пропорциональна напряжению и обратно пропорциональна магнитному потоку возбуждения.* Физически это объясняется тем, что повышение напряжения  $U$  или уменьшение потока  $\Phi$  вызывает увеличение разности  $(U - E_a)$ ; это, в свою очередь, ведет к росту тока  $I_a$ . Вследствие этого возросший ток повышает вращающий момент, и если при этом нагрузочный момент остается неизменным, то частота вращения двигателя увеличивается.

Из (29.5) следует, что регулировать частоту вращения двигателя можно изменением либо напряжения  $U$ , подводимого к двигателю, либо основного магнитного потока  $\Phi$ , либо электрического сопротивления в цепи якоря  $\sum r$ .

Направление вращения якоря зависит от направлений магнитного потока возбуждения  $\Phi$  и тока в обмотке якоря. Поэтому, изменив направление какой-либо из указанных величин, можно изменить направление вращения якоря. Следует иметь в виду, что переключение общих зажимов схемы у рубильника не дает изменения направления вращения якоря, так как при этом одновременно изменяется направление тока и в обмотке якоря, и в обмотке возбуждения.

Пусковой ток якоря при полном сопротивлении пускового реостата

$$I_n = \frac{U - E_a}{\sum r + r_{n.p}}. \quad (7)$$

С появлением тока в цепи якоря  $I_{n \max}$  возникает пусковой момент  $M_{n \max}$ , под действием которого начинается вращение якоря. По мере нарастания частоты вращения увеличивается противо-ЭДС  $E_a = c_e \Phi n$ , что ведет к уменьшению пускового тока и пускового момента.

Схема включения в сеть двигателя показана на рис. 29.3, а. Характерной особенностью параллельного возбуждения является то, что ток в обмотке возбуждения (ОВ) не зависит от тока нагрузки (тока якоря). Реостат в цепи возбуждения  $r_{pz}$  служит для регулирования тока в обмотке возбуждения и магнитного потока главных полюсов.

Эксплуатационные свойства двигателя определяются его *рабочими характеристиками*, под которыми понимают зависимость частоты вращения  $n$ , тока  $I$ , полезного момента  $M_2$ , вращающего момента  $M$  от мощности на валу двигателя  $P_2$  при  $U = const$  и  $I_B = const$  (рис. 29.3, б).

При включении *стабилизирующей* обмотки согласованно с параллельной обмоткой возбуждения ее МДС компенсирует размагничивающее действие реакции якоря так, что поток  $\Phi$  во всем диапазоне нагрузок остается практически неизменным.

Изменение частоты вращения двигателя при переходе от номинальной нагрузки к х.х., выраженное в процентах, называют *номинальным изменением частоты вращения*:

$$\Delta n_{ном} = \frac{n_0 - n_{ном}}{n_{ном}} \cdot 100, \quad (29.8)$$

где  $n_0$  — частота вращения двигателя в режиме х.х.

Обычно для двигателей параллельного возбуждения  $\Delta n_{ном} = 2 \div 8\%$ , поэтому характеристику частоты вращения двигателя параллельного возбуждения называют *жесткой*.

**Введение дополнительного сопротивления в цепь якоря.** Дополнительное сопротивление (реостат  $r_d$ ) включают в цепь якоря аналогично пусковому реостату (ПР). Однако в отличие от последнего оно должно быть рассчитано на продолжительное протекание тока.

При включении сопротивления  $r_d$  в цепь якоря выражение частоты (29.5) принимает вид

$$n = \frac{U - I_a(\sum r + r_d)}{c_e \Phi} = n_0 - \Delta n, \quad (29.12)$$

где  $n_0 = U / (c_e \Phi)$  — частота вращения в режиме х.х.;

$\Delta n = I_a(\sum r + r_d) / (c_e \Phi)$  — изменение частоты вращения, вызванное падением напряжения в цепи якоря.

Частоту вращения двигателей последовательного возбуждения можно регулировать изменением либо напряжения  $U$ , либо магнитного потока обмотки возбуждения. В первом случае в цепь якоря последовательно включают регулировочный реостат  $R_{pe}$  (рис. 29.10, а). С увеличением сопротивления этого реостата уменьшаются напряжение на входе двигателя и частота его вращения. Этот метод регулирования применяют главным образом в двигателях небольшой мощности. В случае значительной мощности двигателя этот способ неэкономичен из-за больших потерь энергии в  $R_{pe}$ . Кроме того, реостат  $R_{pe}$ , рассчитываемый на рабочий ток двигателя, получается громоздким и дорогостоящим.

Регулировать частоту вращения двигателя изменением магнитного потока можно тремя способами: шунтированием обмотки возбуждения реостатом  $r_{pe}$ , секционированием обмотки возбуждения и шунтированием обмотки якоря реостатом  $r_{ш}$ . Включение реостата  $r_{pe}$ , шунтирующего обмотку возбуждения, а также уменьшение сопротивления этого реостата ведет к снижению тока возбуждения  $I_B = I_a - I_{pe}$ , а следовательно, к росту частоты вращения. Этот способ экономичнее предыдущего (см. рис. 29.10, а), применяется чаще и оценивается коэффициентом регулирования  $k_{pe} = (I_{pe} / I_a) \cdot 100\%$ . Обычно сопротивление реостата  $r_{pe}$  принимается таким, чтобы  $k_{pe} \geq 50\%$ .

При секционировании обмотки возбуждения отключение части витков обмотки сопровождается ростом частоты вращения. При шунтировании обмотки якоря реостатом увеличивается ток возбуждения  $I_B = I_a + I_{ш}$ , что вызывает уменьшение частоты вращения. Этот способ регулирования, хотя и обеспечивает глубокую регулировку, неэкономичен и применяется очень редко.

**Потери в машинах постоянного тока.** В машинах постоянного тока, как и в других электрических машинах, имеют место магнитные, электрические и механические потери (составляющие группу основных потерь) и добавочные потери.

*Магнитные потери*  $P_M$  происходят только в сердечнике якоря, так как только этот элемент магнитопровода машины постоянного тока подвергается перемагничиванию. Величина магнитных потерь, состоящих из потерь от гистерезиса и потерь от вихревых токов, зависит от частоты перемагничивания  $f = pn / 60$ , значений магнитной индукции в зубцах и спинке якоря, толщины листов электротехнической стали, ее магнитных свойств и качества изоляции этих листов в пакете якоря.

*Электрические потери* в коллекторной машине постоянного тока обусловлены нагревом обмоток и щеточного контакта. Потери в цепи возбуждения определяются потерями в обмотке возбуждения и в реостате, включенном в цепь возбуждения:

$$P_{\Sigma.B} = U_B I_B. \quad (18)$$

Здесь  $U_B$  — напряжение на зажимах цепи возбуждения. Потери в обмотках цепи якоря

$$P_{\Sigma a} = I_a^2 \Sigma r \quad (19)$$

где сопротивление обмоток в цепи якоря  $\Sigma r$ , приведенное к расчетной рабочей температуре  $\theta_{раб}$ , определяется по (13.4) с учетом данных, приведенных в § 13.1 и § 8.4.

Электрические потери также имеют место и в контакте щеток:

$$P_{\Sigma щ} = \Delta U_{щ} I_a, \quad (20)$$

где  $\Delta U_{щ}$  — переходное падение напряжения, В, на щетках обеих полярностей, принимаемое в соответствии с маркой щеток.

Электрические потери в цепи якоря и в щеточном контакте зависят от нагрузки машины, поэтому эти потери называют *переменными*.

*Механические потери.* В машине постоянного тока механические потери складываются из потерь от трения щеток о коллектор

$$P_k = k_{mp} S_{щ} f_{щ} V_k, \quad (21)$$

трения в подшипниках  $P_{II}$  и на вентиляцию  $P_{вен}$

$$P = P_k + P_{II} + P_{вен}, \quad (22)$$

где  $k_{mp}$  — коэффициент трения щеток о коллектор ( $k_{mp} = 0,2 \div 0,3$ );  $S_{щ}$  — поверхность соприкосновения всех щеток с коллектором, м<sup>2</sup>;  $f_{щ}$  — удельное давление, Н/м<sup>2</sup>, щетки [для машин общего назначения  $f_{щ} = (2 \div 3) \cdot 10^4$  Н/м<sup>2</sup>];

окружная скорость коллектора (м/с) диаметром  $D_k$  (м)

$$V_k = \pi D_k n / 60. \quad (23)$$

Механические и магнитные потери при стабильной частоте вращения ( $n = const$ ) можно считать *постоянными*.

Сумма магнитных и механических потерь составляют потери х.х.:

$$P_0 = P_m + P_{мех}. \quad (24)$$

Если машина работает в качестве двигателя параллельного возбуждения в режиме х.х., то она потребляет из сети мощность

$$P_{10} = UI_{a0} + U_B I_B = P_m + P_{мех} + I_{a0}^2 \Sigma r + \Delta U_{щ} I_{a0} + U_B I_B. \quad (25)$$

Однако ввиду небольшого значения тока  $I_{a0}$  электрические потери  $I_{a0}^2 \Sigma r$  и  $\Delta U_{щ} I_{a0}$  весьма малы и обычно не превышают 3% потерь  $P_0 = P_m + P_{мех}$ . Поэтому, не допуская заметной ошибки, можно записать  $P_{10} = UI_{a0} + U_B I_B = P_0 + U_B I_B$ , откуда потери х.х.

$$P_0 = P_{10} - U_B I_B. \quad (26)$$

Таким образом, потери х.х. (магнитные и механические) могут быть определены экспериментально.

В машинах постоянного тока имеется ряд трудно учитываемых потерь — *добавочных*. Эти потери складываются из потерь от вихревых токов в меди обмоток, потерь в уравнивательных соединениях, в стали якоря из-за неравномерного распределения индукции при нагрузке, в полюсных

наконечниках, обусловленных пульсацией основного потока из-за наличия зубцов якоря, и др. Добавочные потери составляют хотя и небольшую, но не поддающуюся точному учету величину. Поэтому, согласно ГОСТу, в машинах без компенсационной обмотки значение добавочных потерь  $P_d$  принимают равным 1% от полезной мощности для генераторов или 1% от подводимой мощности для двигателей. В машинах с компенсационной обмоткой значение добавочных потерь принимают равным соответственно 0,5%.

Мощность (Вт) на входе машины постоянного тока (подводимая мощность):

для генератора (механическая мощность)

$$P_{1ген} = M_1 \omega = 0,105 M_1 n, \quad (27)$$

где  $M_1$  — вращающий момент приводного двигателя, Н·м;

для двигателя (электрическая мощность)

$$P_{1дв} = UI. \quad (28)$$

Мощность (Вт) на выходе машины (полезная мощность):

для генератора (электрическая мощность)

$$P_{2ген} = UI; \quad (29)$$

для двигателя (механическая мощность)

$$P_{2дв} = 0,105 M_2 n. \quad (30)$$

Здесь  $M_1$  и  $M_2$  — момент на валу электрической машины, Н·м;  $n$  — частота вращения, об/мин.

**Коэффициент полезного действия.** Коэффициент полезного действия электрической машины представляет собой отношение мощностей отдаваемой (полезной)  $P_2$  к подводимой (потребляемой)  $P_1$ ;

$$\eta = P_2 / P_1.$$

Определив суммарную мощность вышеперечисленных потерь

$$\Sigma P = P_M + P_{МЭХ} + P_{э.в} + P_{эа} + P_{эщ} + P_d, \quad (31)$$

можно подсчитать КПД машины по одной из следующих формул:

для генератора

$$\eta_{г} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{UI}{UI + \Sigma P} = 1 - \frac{\Sigma P}{UI + \Sigma P}; \quad (32)$$

для двигателя

$$\eta_{дв} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{UI - \Sigma P}{UI} = 1 - \frac{\Sigma P}{UI}. \quad (33)$$

Обычно КПД машин постоянного тока составляет 0,75—0,90 для машин мощностью от 1 до 100 кВт и 0,90—0,97 для машин мощностью свыше 100 кВт. Намного меньше КПД машин постоянного тока малой мощности. Например, для машин мощностью от 5 до 50 Вт  $\eta = 0,15 \div 0,50$ . Указанные значения КПД соответствуют номинальной нагрузке машины. Зависимость КПД машины постоянного тока от нагрузки выражается графиком  $\eta = f(P_2)$ , форма которого характерна для электрических машин.

Коэффициент полезного действия электрической машины можно определять: а) методом непосредственной нагрузки по результатам измерений подводенной  $P_1$  и отдаваемой  $P_2$  мощностей; б) косвенным методом по результатам измерений потерь.

Метод непосредственной нагрузки применим только для машин малой мощности, для остальных случаев применяется косвенный метод, как более точный и удобный. Установлено, что при  $\eta > 80 \%$  измерять КПД методом непосредственной нагрузки нецелесообразно, так как он дает большую ошибку, чем косвенный метод.

Существует несколько косвенных способов определения КПД. Наиболее прост способ холостого хода двигателя, когда потребляемая машиной постоянного тока мощность затрачивается только на потери х.х. Что же касается электрических потерь, то их определяют расчетным путем после предварительного измерения электрических сопротивлений обмоток и приведения их к рабочей температуре.

**Пример 1.** Двигатель постоянного тока параллельного возбуждения включен в сеть с напряжением 220 В. При номинальной нагрузке и частоте вращения  $n_{ном} = 1500$  об/мин он потребляет ток  $I_{ном} = 43$  А. Определить КПД двигателя при номинальной нагрузке, если ток х.х.  $I_0 = 4$  А, а сопротивления цепей якоря  $\Sigma r = 0,25$  Ом и возбуждения  $r_B = 150$  Ом. При каком добавочном сопротивлении  $r_{доб}$ , включенном последовательно в цепь якоря, частота вращения двигателя будет  $n = 1000$  об/мин (нагрузочный момент  $M_2 = const$ )?

**Решение.** Ток возбуждения  $I_B = U / r_B = 220 / 150 = 1,47$  А. Ток якоря в режиме х.х.  $I_{a0} = I_0 - I_B = 4 - 1,47 = 2,53$  А. Ток якоря номинальный  $I_{аном} = I_{ном} - I_B = 43 - 1,47 = 41,53$  А. Сумма магнитных и механических потерь  $P_0 = P_M + P_{МЕХ} = UI_{a0} - I_{a0}^2 \Sigma r = 220 \cdot 2,53 - 2,53^2 \cdot 0,25 = 555$  Вт. Электрические потери в цепи возбуждения по (18)

$$P_{э.в} = UI_B = 220 \cdot 1,47 = 323,4 \text{ Вт.}$$

Электрические потери в цепи якоря по (19)

$$P_{я} = I_{аном}^2 \Sigma r = 41,53^2 \cdot 0,25 = 431 \text{ Вт.}$$

Электрические потери в щеточном контакте по (20)

$$P_{э.щ} = \Delta U_{щ} I_{аном} = 2 \cdot 41,53 = 83 \text{ Вт.}$$

Подводимая к двигателю мощность по (28)

$$P_{1ном} = UI_{ном} = 220 \cdot 43 = 9460 \text{ Вт.}$$

Добавочные потери

$$P_{доб} = 0,01 P_{1ном} = 0,01 \cdot 9460 = 94,6 \text{ Вт.}$$

Суммарные потери по (31)

$$\Sigma P = 555 + 323,4 + 431 + 83 + 94,6 = 1487 \text{ Вт.}$$

Полезная мощность двигателя

$$P_{ном} = P_{1ном} - \Sigma P = 9460 - 1487 = 7973 \text{ Вт.}$$

КПД двигателя при номинальной нагрузке



$$\eta_{ном} = P_{ном} / P_{1ном} = 7973 / 9460 = 0,843.$$

Из выражения (29.5) получим

$$c_e \Phi = \frac{U - I_a \sum r}{n_{ном}} = \frac{220 - 41,53 \cdot 0,25}{1500} = 0,14$$

ЭДС якоря при частоте вращения 1000 об/мин по (20)

$$E_a = c_e \Phi n = 0,14 \cdot 1000 = 140 \text{ В.}$$

Так как ток якоря прямо пропорционален моменту  $I_a \equiv M$ , то при  $M = const$  сила тока  $I_a$  после включения  $r_{доб}$  останется прежней  $I_a = I_{0ном} = 41,53 \text{ А}$ . Из выражения тока якоря (2) получим

$$r_{доб} = \frac{U - E_a}{I_a} - \sum r = \frac{220 - 140}{41,53} - 0,25 = 1,68 \text{ Ом.}$$

Электрические потери в добавочном сопротивлении

$$P_{0доб} = I_a^2 r_{доб} = 41,53^2 \cdot 1,68 = 2897 \text{ Вт.}$$

Полезная мощность двигателя при частоте вращения 1000 об/мин

$$P_2 \approx P_{ном} - P_{0доб} = 7973 - 2897 = 5076 \text{ Вт.}$$

Расчет полезной мощности  $P_2$  является приближенным, так как он не учитывает уменьшение механических потерь двигателя при его переходе на меньшую частоту вращения.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ:

1. Решить задачу №1. Двигатель постоянного тока параллельного возбуждения имеет следующие данные: номинальная мощность  $P_{ном}$ , напряжение питания  $U_{ном}$ , номинальная частота вращения  $n_{ном}$ , сопротивление обмоток в цепи якоря  $\sum r$ , сопротивление цепи возбуждения  $r_b$ , падение напряжения в щеточном контакте щеток  $\Delta U_{щ} = 2 \text{ В}$ . Значения перечисленных параметров приведены в табл. 1. Требуется определить потребляемый двигателем ток в режиме номинальной нагрузки  $I_{ном}$ , сопротивление пускового реостата  $R_{п.р.}$ , при котором начальный пусковой ток в цепи якоря двигателя был бы равен  $2,5I_{аном}$ , начальный пусковой момент  $M_{п.}$ , частоту вращения  $n_0$  и ток  $I_0$  в режиме холостого хода, номинальное изменение частоты вращения якоря двигателя при сбросе нагрузки. Влиянием реакции якоря пренебречь.

Таблица 3.

Параметр	Варианты				
	1	2	3	4	5
$P_{ном}, \text{кВт}$	25	15	45	4,2	18
$U_{ном}, \text{В}$	440	220	440	220	220
$n_{ном}, \text{об/мин}$	1500	1000	1500	1500	1200
$\eta_{ном}, \%$	85	83,8	88	78	84
$\sum r, \text{Ом}$	0,15	0,12	0,13	0,15	0,12
$r_b, \text{Ом}$	88	73	88	64	73

Решение:

- определить потребляемую двигателем мощность при номинальной нагрузке  $P_{1\text{ном}}$ ;
- определить ток, потребляемый двигателем при номинальной нагрузке  $I_{\text{ном}}$ ;
- определить ток в цепи обмотки возбуждения  $I_{\text{в}}$ ;
- определить ток в обмотке якоря  $I_{\text{аном}}$ ;
- определить начальный пусковой ток якоря при заданной кратности  $2,5 I_{\text{п.р.}}$ ;
- определить требуемое сопротивление цепи якоря при заданной кратности пускового тока  $2,5 R_{\text{а}} = R_{\text{п.р.}} + \Sigma r = U_{\text{ном}}/I_{\text{ап}}$ ;
- определить сопротивление пускового реостата  $R_{\text{п.р.}}$ ;
- определить ЭДС якоря в режиме номинальной нагрузки  $I_{\text{аном}}$ , используя уравнение напряжений;
- определить отношение коэффициентов  $c_{\text{м}}/c_{\text{е}} = [pN/2\pi a]/[pN/(60a)]$ ;
- определить начальный пусковой момент при заданной кратности пускового тока  $2,5$
- $M_{\text{н}} = c_{\text{м}}\Phi I_{\text{ап}}$ ;
- определить момент на валу двигателя при номинальной нагрузке  $M_{2\text{ном}}$ ;
- определить электромагнитную мощность при номинальной нагрузке  $P_{\text{эм.ном}}$ ;
- определить электромагнитный момент при номинальной нагрузке  $M_{\text{ном}}$ ;
- определить момент холостого хода  $M_0 = M_{\text{ном}} - M_{2\text{ном}}$ ;
- определить ток якоря в режиме холостого хода  $I_{\text{аном}} = M_0/(c_{\text{м}}\Phi)$ ;
- определить ЭДС якоря в режиме холостого хода  $E_{\text{а}}$ , используя уравнение напряжений (принимая  $\Delta U_{\text{щ}} = 0$ );
- определить частоту вращения якоря в режиме холостого хода  $n_0 = E_{\text{а}0}/(c_{\text{е}}\Phi)$ ;
- определить номинальное изменение частоты вращения двигателя при сбросе нагрузки  $\Delta n_{\text{ном}}$ .

2. Решить задачу №2. В табл. 1 даны значения параметров двигателя постоянного тока независимого возбуждения: номинальная мощность двигателя  $P_{\text{ном}}$ , напряжение питания цепи якоря  $U_{\text{ном}}$ , напряжение питания цепи возбуждения  $U_{\text{в}}$ , частота вращения якоря в номинальном режиме  $n_{\text{ном}}$ ; сопротивления цепи якоря  $\Sigma r$ ; и цепи возбуждения  $r_{\text{в}}$ , приведенные к рабочей температуре, падение напряжения в щеточном контакте при номинальном токе  $\Delta U_{\text{щ}} = 2$  В, номинальное изменение напряжения при сбросе нагрузки  $\Delta n_{\text{ном}} = 8,0$  %, ток якоря в режиме холостого хода  $I_0$ . Требуется определить все виды потерь и КПД двигателя.

Таблица 2.

Параметр	Варианты					
	1	2	3	4	5	6
$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	25	40	53	75	16	11
$U_{\text{ном}}, \text{В}$	440	440	440	440	220	220

$U_B, \text{В}$	220	220	220	220	220	110
$I_0, \text{А}$	6,0	<b>7,5</b>	8,0	10,8	<b>8,7</b>	<b>5,8</b>
$\Sigma r, \text{Ом}$	<b>0,30</b>	<b>0,17</b>	0,12	<b>0,70</b>	<b>0,18</b>	<b>0,27</b>
$r_B, \text{Ом}$	<b>60</b>	<b>55</b>	<b>42</b>	<b>40</b>	<b>60</b>	<b>27</b>
$n_{\text{ном}}$	2200	1000	<b>2360</b>	<b>3150</b>	<b>1500</b>	<b>800</b>

Решение:

- определить частоту вращения в режиме холостого хода  $n_0$ ;
- определить ЭДС якоря в режиме холостого хода (падением напряжения в щеточном контакте пренебрегаем ввиду его незначительной величины в режиме холостого хода)  $E_{a0}$ ;
- определить момент в режиме холостого хода  $M_0$ ;
- определить момент на валу двигателя в режиме номинальной нагрузки  $M_{2\text{ном}}$ ;
- определить электромагнитный момент двигателя при номинальной нагрузке  $M_{\text{ном}}$ ;
- определить электромагнитная мощность двигателя в режиме номинальной нагрузки  $P_{\text{эм.ном}}$ ;
- определить тока якоря в режиме номинальной нагрузки через ЭДС якоря в режиме холостого хода можно представить как  $E_{a0} = c_e \Phi n_0 \Rightarrow c_m \phi = 9,55 c_e \phi$ ,  $c_m/c_e = 9,55$ ;
- определить сумму магнитных и механических потерь двигателя, которая пропорциональна моменту холостого хода  $0,105 M_0 n_0$ ;
- определить электрические потери в цепи обмотки якоря  $P_{\text{а.э}}$ ;
- определить электрические потери в щеточном контакте якоря  $P_{\text{щ.э}}$ ;
- определить мощность, подводимая к цепи якоря, в номинальном режиме  $P_{1\text{аном}}$ ;
- определить ток в обмотке возбуждения  $I_B$ ;
- определить мощность в цепи возбуждения  $P_B$ ;
- определить мощность, потребляемую двигателем в режиме номинальной нагрузки  $P_{1\text{ном}}$ ;
- определить КПД двигателя в номинальном режиме  $\eta_{\text{ном}}$ .

3. Решить задачу №3. В табл. 3 приведены данные каталога на двигатели постоянного тока независимого возбуждения серии 2П: номинальная мощность  $P_{\text{ном}}$ , номинальное напряжение, подводимое к цепи якоря,  $U_{\text{ном}}$ , номинальная частота вращения  $n_{\text{ном}}$ , КПД двигателя  $\eta_{\text{ном}}$ , сопротивление цепи якоря, приведенное к рабочей температуре  $\Sigma r$ . Требуется определить сопротивление добавочного резистора  $r_d$ , который следует включить в цепь якоря, чтобы при номинальной нагрузке двигателя частота вращения якоря составила  $0,5 n_{1\text{ном}}$ ; построить естественную и искусственную механические характеристики двигателя.

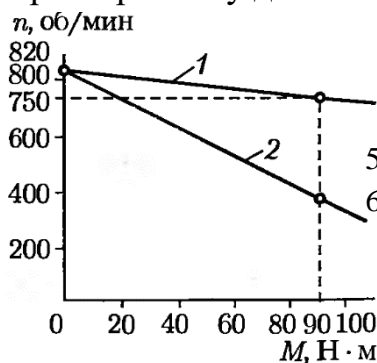
Таблица 3.

Тип	$P_{\text{ном}}, \text{кВт}$	$U_{\text{ном}}, \text{В}$	$n_{\text{ном}}$	$\eta_{\text{ном}}, \%$	$\Sigma r, \text{Ом}$
2ПТО200L	7Д	220	750	83,5	0,48

2ПО200М	20	440	2200	90	0,28
2ПФ200М	30	440	2200	90	0,22
2ПФ200Ц	20	220	1000	85,5	0,18
2ПН225М	37	220	1500	86,5	0,07
2ПФ225М	10	220	500	74,5	0,58
2ПО180М	17	440	3000	90	0,31

Решение.

- определить ток в цепи якоря в режиме номинальной нагрузки при  $n_{ном} = 750$  об/мин  $I_{аном}$ ;
- определить ЭДС в режиме номинальной нагрузки (падением напряжения в щеточном контакте пренебрегаем)  $E_{ном}$ ;
- определить частоту вращения идеального холостого хода (пограничная частота вращения)  $n_{оо}$ ; - - определить номинальный момент на валу двигателя  $M_{2ном}$ ;
- по полученным данным построить естественную механическую характеристику (рис. 1, график 1);
- определить частоту вращения при включении резистора  $n'_{ном} = 0,5n_{ном}$ ;
- по вычисленным данным построить искусственную механическую характеристику двигателя (рис. 1, график 2);
- определить сопротивление резистора  $r_{д}$ .



4. Оформить отчет по практической работе.
5. Ответить на контрольные вопросы.
6. Сделать вывод о проделанной работе.

Рисунок 1. Механические характеристики двигателя постоянного тока

8. Оформить отчет по практической работе.
9. Ответить на контрольные вопросы.
10. Сделать вывод о проделанной работе.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

1. Каким свойством обладают коллекторные машины?
2. Охарактеризуйте вращающий момент. Где он возникает?
3. Почему в двигателе постоянного тока ЭДС называется противоэлектродвижущей силой (противо-ЭДС) якоря?
4. Что является рабочими характеристиками двигателя?
5. Как можно регулировать частоту вращения двигателей последовательного возбуждения?
6. От чего зависит направление вращения якоря?
7. Виды потерь двигателя постоянного тока и их характеристики.

## **Практическая работа №7. Расчёт параметров асинхронных двигателей**

**Цель работы:** Научиться производить расчет основных параметров асинхронного электродвигателя

**Приобретаемые умения и навыки:**

Научиться пользоваться справочными данными и расчетными формулами

Научиться пользоваться вычислительной техникой

**Норма времени: 2 часа**

**Оснащение рабочего места:**

1. Раздаточный материал

### **Общие сведения**

Решаемая на практическом занятии задача направлена на определение основных параметров асинхронного электродвигателя. Для ее решения необходимо знать устройство и принцип действия асинхронного двигателя и зависимости между электрическими величинами, характеризующими его работу.

Перед решением задачи изучите соответствующий теоретический материал и рассмотрите типовой пример.

При частоте напряжения питающей сети 50 Гц возможные синхронные частоты вращения магнитного поля статора: 3000, 1500, 1000, 750, 600 об/мин и т.д. Тогда при частоте вращения ротора  $n_2 = 950$  об/мин из приведенного выше ряда выбираем ближайшую к ней частоту вращения поля  $n_1 = 1000$  об/мин. Тогда можно определить скольжение ротора, даже не зная числа пар полюсов двигателя:

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1000 - 950}{1000} = 0,05;$$

Из формулы для скольжения можно определить частоту вращения ротора

$$n_2 = n_1 \cdot (1 - S)$$

В настоящее время промышленность выпускает асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором серии 4А мощностью от 0,06 до 400 кВт (табл. 1). Обозначение типа электродвигателя расшифровывается так: 4 — порядковый номер серии; А — асинхронный; Х — алюминиевая оболочка и чугунные щиты (отсутствие буквы Х означает, что корпус полностью выполнен из чугуна); В — двигатель встроен в оборудование; Н — исполнение защищенное IP23, для закрытых двигателей исполнения IP44 обозначение защиты не приводится; Р — двигатель с повышенным пусковым моментом; С — сельскохозяйственного назначения; цифра после буквенного обозначения показывает высоту оси вращения в мм (100, 112 и т. д.); буквы S, M, L — после цифр — установочные размеры по длине корпуса (S —

станина самая короткая; М — промежуточная; L — самая длинная); цифра после установочного размера — число полюсов; буква У — Климатическое исполнение (для умеренного климата); последняя цифра — категория размещения: 1 — для работы на открытом воздухе, 3 — для закрытых неотапливаемых помещений.

**Например.** Необходимо расшифровать условное обозначение двигателя 4A250S4Y3.

Это двигатель четвертой серии, асинхронный, корпус полностью чугунный (нет буквы Х), высота оси вращения 250 мм, размеры корпуса по длине S (самый короткий), четырех полюсный, для умеренного климата, третья категория размещения.

**Пример.** Трехфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором типа 4AP160B6Y3 имеет номинальные данные: мощность  $P_{ном} = 11$  кВт; напряжение  $U_{ном} = 380$  В; частота вращения ротора  $n_2 = 975$  об/мин; к.п.д.  $\eta_{ном} = 0,855$ ; коэффициент мощности  $\cos \varphi_{ном} = 0,83$ ; кратность пускового тока  $I_{п}/I_{ном} = 7$ ; кратность пускового момента  $M_{п}/M_{ном} = 2,0$ ; способность к перегрузке  $M_{max}/M_{ном} = 2,2$ . Частота тока в сети  $f_l = 50$  Гц.

**Определить:** 1) потребляемую мощность; 2) номинальный, пусковой и максимальный вращающие моменты; 3) номинальный и пусковой токи; 4) номинальное скольжение; 5) частоту тока в роторе. Расшифровать его условное обозначение. Оценить возможность пуска двигателя при номинальной нагрузке, если напряжение в сети при пуске снизилось на 20%?

**Решение.**

1. Мощность, потребляемая из сети

$$P_1 = \frac{P_{ном}}{\eta_{ном}} = \frac{11}{0,855} = 12,86 \text{ кВт}$$

2. Номинальный момент, развиваемый двигателем:

$$M = 9,55 \frac{P_{ном}}{n_2} = \frac{9,55 \cdot 11 \cdot 1000}{975} = 107,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

3. Максимальный и пусковой моменты:

$$M_{max} = 2,2 \cdot M_{ном} = 2,2 \cdot 107,7 = 237 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

$$M_{п} = 2 \cdot M_{ном} = 2 \cdot 107,7 = 215,4 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

4. Номинальный и пусковой токи:

$$I_{ном} = \frac{P_{ном} \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot \eta_{ном} \cdot \cos \varphi_{ном}} = \frac{11 \cdot 1000}{1,73 \cdot 380 \cdot 0,855 \cdot 0,83} = 23,6 \text{ А};$$

$$I_{п} = 7,0 \cdot I_{ном} = 7,0 \cdot 23,6 = 165 \text{ А}$$

5. Номинальное скольжение

$$S = \frac{n_1 - n_2}{n_1} = \frac{1000 - 975}{1000} = 0,025 = 2,5 \%$$

6. Частота тока в роторе

$$f_2 = f_1 \cdot s = 50 \cdot 0,025 = 1,25 \text{ Гц}$$

7. Условное обозначение двигателя расшифровываем так: двигатель четвертой серии, асинхронный, с повышенным скольжением (буква Р), высота оси вращения 160 мм, размеры корпуса по длине S (самый короткий), шестиполосный, для умеренного климата, третья категория размещения.

8. При снижении напряжения в сети на 20% на выводах двигателя остается напряжение  $0,8 U_{ном}$ . Так как момент двигателя пропорционален квадрату напряжения, то

$$\frac{M'_\Pi}{M_\Pi} = \frac{(0,8 \cdot U_{ном})^2}{U_{ном}^2} = \frac{(0,8 \cdot 380)^2}{380^2} = 0,64$$

Отсюда

$$M'_\Pi = 0,64 \cdot M_\Pi = 0,64 \cdot 215,4 = 138 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

что больше  $M = 107,7 \text{ Н} \cdot \text{м}$ . Таким образом, пуск двигателя возможен.

### Порядок выполнения работы:

1. Отметьте в отчете наименование и цель занятия.
  2. Отметьте в отчете исходные условия задачи и заданную схему.
- Условия задачи и схемы цепей приведены в приложении.**
3. Выполните предложенное задание. По необходимости, при выполнении задания практической работы, повторите теоретический материал и примеры, подобные заданию практической работы.
  4. Оформите отчет по практической работе.

### Задание для отчета

**Отчет по п/р должен содержать:**

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Требуемые расчеты, рисунки, схемы.
4. Вывод по работе.

**Задание**

Для привода рабочей машины применяется трехфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором. Используя данные для своего варианта, указанные в таблице 1, определить:

- 1) потребляемую мощность; 2) номинальный, пусковой и максимальный вращающие моменты; 3) номинальный и пусковой токи; 4) номинальное скольжение; 5) частоту тока в роторе.

Расшифровать его условное обозначение. Оценить возможность пуска двигателя при номинальной нагрузке, если напряжение в сети при пуске снизилось на 20%?

Таблица 1.

Номер варианта	Тип двигателя	$P_{ном2},$ кВт	$n_2,$ об/мин	$\cos\varphi_{ном}$	$\frac{I_{II}}{I_{ном}}$	$\frac{M_{II}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\eta_{ном}$
1	4A100S2Y3	4	2880	0,89	7,5	2,0	2,2	0,86
2	4A100L2Y3	5,5	2880	0,91	7,5	2,0	2,2	0,87
3	4A112M2CY	7,5	2900	0,88	7,5	2,0	2,2	0,87
4	4Л132M2CY	11	2900	0,9	7,5	1,6	2,2	0,88
5	4A90L4Y3	2,2	1400	0,83	6,0	2,0	2,2	0,8
6	4A100S4Y3	3	1425	0,83	6,5	2,0	2,2	0,82
7	4A100L4Y3	4,0	1425	0,84	6,5	2,2	2,2	0,84
8	4A112M4CY	5,5	1450	0,85	7,0	2,0	2,2	0,85
9	4A132M4CY1	11	1450	0,87	7,5	2,0	2,2	0,87
10	4AP160S4Y	15	1465	0,87	7,5	2,0	2,2	0,865
11	4AP160M4Y3	18,5	1465	0,87	7,5	2,0	2,2	0,885
12	4AP180S4Y	22	1460	0,87	7,5	2,0	2,2	0,89
13	4AP180M4Y	30	1460	0,87	7,5	2,0	2,2	0,9
14	4A100L6Y3	2,2	950	0,73	5,5	2,0	2,0	0,81
15	4AP160S6Y3	11	975	0,83	7,0	2,0	2,2	0,855
16	4AP160M6Y	15	975	0,83	7,0	2,0	2,2	0,875
17	4AP180M6Y3	18,5	970	0,8	6,5	2,0	2,2	0,87
18	4A250S6Y3	45	985	0,89	6,5	1,2	2,0	0,92
19	4A250M6Y3	55	985	0,89	7,0	1,2	2,0	0,92
20	4АН250M6Y	75	985	0,87	7,5	1,2	2,5	0,93
21	4A100L8Y3	1,5	725	0,65	6,5	1,6	1,7	0,74
22	4AP160S8Y	7,5	730	0,75	6,5	1,8	2,2	0,86
23	4A250S8Y3	37	740	0,83	6,0	1,2	1,7	0,9
24	4A250M8Y3	45	740	0,84	6,0	1,2	1,7	0,91
25	4АН250M8Y	55	740	0,82	6,0	1,2	2,0	0,92

### Практическая работа №8. Расчет мощности и выбор двигателя при различных режимах работы.

**Цель работы:** Освоить методики расчета требуемой мощности электродвигателей для различных режимов работы.

#### РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ДЛЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОГО РЕЖИМА

##### 1. Нагрузка продолжительная неизменная



**Задача 1:** Определить расчетную мощность трехфазного АД для привода механизма, работающего в продолжительном режиме S1. Привод нерегулируемый, статический нагрузочный момент механизма  $M_c = 40 \text{ Н} \cdot \text{м}$ , требуемая частота вращения  $n = 2900 \pm 10 \text{ об/мин}$ , КПД механизма  $\eta = 0.8$ . По условиям эксплуатации требуется двигатель закрытого исполнения IP44; расположение вала горизонтально; крепление двигателя фланцевое.

**Решение:**

Расчетная мощность двигателя:

$$P_{\text{расч}} = \frac{0,105 \cdot 10^{-3} M_c n}{\eta_{\text{мех}}} = \frac{0,105 \cdot 10^{-3} \cdot 40 \cdot 2900}{0,8} = 15,225 \text{ кВт}.$$

По каталогу на АД серии 4А выбираем двигатель 4А160М2У3 со следующими данными:

$P_{\text{НОМ}} = 18.5 \text{ кВт}$ ;  $n_{\text{НОМ}} = 3000 \text{ об/мин}$ ;  $\cos \varphi_{\text{НОМ}} = 0,92$ ; перегрузочная способность  $\lambda_M = 2,2$ ; кратность  $\lambda_n = 1,4$ ; исполнение по способу монтажа IM3031.

2. Нагрузка продолжительная переменная.

**Задача 2:** Для ЭП главного двигателя токарного станка необходим трехфазный АД серии АИР. Частота вращения  $n = 980 \pm 5 \text{ об/мин}$ . Пуск двигателя выполняется без нагрузок. Нагрузочная диаграмма представлена в виде таблицы.

P, кВт	12	10	15	5	9
t, с	5	2	6	4	8

**Решение:**

*1. Используем метод средних потерь:*

1) Среднее значение мощности:

$$P_{\text{ср}} = \frac{\sum P_i t_i}{\sum t_i} = \frac{P_1 t_1 + P_2 t_2 + P_3 t_3 + P_4 t_4 + P_5 t_5}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5} = \frac{262}{25} = 10,48 \text{ кВт}$$

2) Принимаем предварительно двигатель номинальной мощностью:

$$P'_{\text{ном}} = (1,2 \div 1,3)P_{\text{ср}} = 1,25 \cdot 10,48 = 13,1 \text{ кВт.}$$

По каталогу: АИРХ160М6;  $P_{\text{ном}} = 15 \text{ кВт}$ ;  $n_{\text{ном}} = 1000 \text{ об/мин}$ ; КПД  $\eta_{\text{ном}} = 88\%$ ;  $\cos\varphi_{\text{ном}} = 0,85$ ; перегрузочная способность  $\lambda_{\text{м}} = 2,6$ ; кратность пускового момента  $\lambda_{\text{п}} = 1,7$ ; кратность пускового тока  $\lambda_{\text{и}} = 6,5$ ; исполнение по способу монтажа IM2031.

3) Коэффициент нагрузки  $\beta^2$  для участков нагрузки диаграммы:

$$\beta^2 = \frac{P_i}{P_{\text{ном}}};$$

$$\beta_1^2 = \frac{12}{15} = 0,8; \beta_2^2 = \frac{10}{15} = 0,66; \beta_3^2 = \frac{15}{15} = 1; \beta_4^2 = \frac{5}{15} = 0,33$$

$$\beta_5^2 = \frac{9}{15} = 0,6.$$

4) Определить соотношение постоянных потерь в двигателе к номинальным  $\gamma$ , для трехфазного АД короткозамкнутым ротором:

Таблица – Определение коэффициента соотношения постоянных потерь

Тип двигателя	Коэффициент $\gamma$
АД общего назначения	
С короткозамкнутым ротором	0,5 - 0,7
АД крановые с короткозамкнутым ротором	0,4 – 0,5
АД крановые с фазным ротором	0,6 – 0,9
Двигатели постоянного тока	
Независимого возбуждения	0,5 – 0,9
крановые	1,0 – 1,5

Согласно таблице 1  $\gamma = 0,5$ .

5) Потери при номинальной нагрузке для выбранного двигателя:

$$\Delta P_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} \left( \frac{1}{\eta_{\text{ном}}} - 1 \right) = 15 \left( \frac{1}{0,8} - 1 \right) = 2,045 \text{ кВт.}$$

6) Определить потери для участков нагрузки диаграммы:

$$\Delta P_i = \frac{\Delta P_{\text{ном}}(\gamma + \beta_i)}{\gamma + 1};$$

$$\Delta P_1 = \frac{2,045(0,5 + 0,8)}{0,5 + 1} = 1,772 \text{ кВт}; \Delta P_2 = 1,58 \text{ кВт};$$

$$\Delta P_3 = 2,045 \text{ кВт}; \Delta P_4 = 1,13 \text{ кВт}; \Delta P_5 = 1,49 \text{ кВт}.$$

7) Средние потери в двигателе:

$$P_{\text{ср}} = \frac{\sum P_i t_i}{\sum t_i} = \frac{1,58 \cdot 6 + 1,28 \cdot 6 + 1,4 \cdot 4 + 1,79 \cdot 4 + 1,08 \cdot 8}{28} = \frac{40,73}{25} = 1,63 \text{ кВт}.$$

Так как  $1,63 < 2,045$  то перерасчета мощности не требуется.

8) Наибольшая мощность по нагрузочной диаграмме равна 15 кВт, что равняется номинальной мощности выбранного двигателя. Поэтому требуется проверка двигателя на перегрузочную способность. Момент нагрузки на четвертом участке:

$$M_3 = \frac{9,55 P_3}{n_3},$$

где  $n_3$  - частота вращения на четвертом участке.

$$n_3 = n_1 - \frac{P_3}{P_{\text{ном}}} (n_1 - n_{\text{ном}})$$

$$n_1 - \text{синхронная частота вращения } n_1 = \frac{60 f_1}{p};$$

$f_1$  - частота переменного тока Гц,  $p$  - число пар полюсов.

Для  $p = 2$ ;  $n_1 = 1500$  об/мин

$$n_3 = 1500 - \frac{15}{15} (1500 - 1000) = 1000, \text{ об/мин}$$

$$M_4 = \frac{9,55 \cdot 15000}{1000} = 143,25 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент двигателя при полной мощности  $P_{\text{ном}} = 15 \text{ кВт}$

$$M_{\text{ном}} = \frac{9,55 \cdot 15000}{1000} = 143,25 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Превышение момента:

$$\frac{M_4}{M_{\text{ном}}} = \frac{143,25}{143,25} = 1$$

Перегрузочная способность выбранного двигателя при номинальной нагрузке  $\lambda_M = 2,6$ . Устойчивая работа двигателя обеспечена.

*2 Используем метод эквивалентной мощности:*

$$P_{\text{э}} = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 t_i}{\sum t_i}} = \sqrt{\frac{17648}{145}} = 11,043 \text{ кВт}$$

По каталогу выбираем двигатель ближайшей большей номинальной мощностью 15 кВт, типоразмер АИРХ160М6.

## РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ДЛЯ КРАТКОВРЕМЕННОГО РЕЖИМА

**Задача 3:** Для электропривода заслонки трубопровода требуется 3-х фазный двигатель с частотой вращения  $n=1350 \pm 10$  об/мин. Режим работы кратковременный  $t_p=10$  мин.. Статический момент сопротивления  $M_c=50$  Н·м. Двигатель закрытого исполнения, способ монтажа IM1001, климатические условия УЗ.

**Решение:**

1) Требуемая мощность двигателя:

$$P_{\text{кр}} = 0,105 \cdot 10^{-3} M_c n = 0,105 \cdot 10^{-3} \cdot 50 \cdot 1350 = 7,08 \text{ кВт}$$

2) Выбираем двигатель серии АИР, степень защиты IP44; постоянная нагревания  $T_H=30$  мин, относительное значение времени рабочего цикла:

$$t^* = \frac{t_p}{T_H} = \frac{10}{30} = 0,33$$

3) По графику определяем коэффициент механической перегрузки  $p_M=1,2$ , график представлен на рис.1.

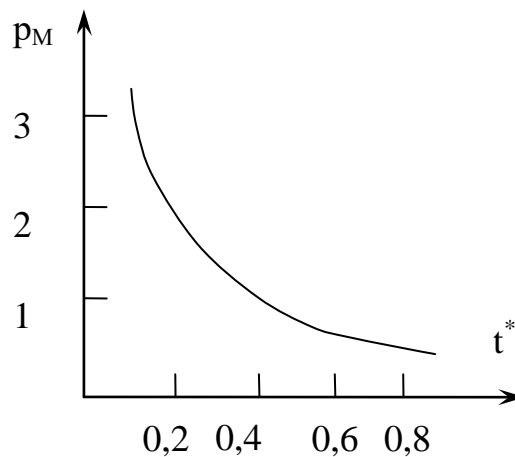


Рис1.- Монограмма для определения коэффициента механической перегрузки

4) Мощность двигателя продолжительного режима, используемого в кратковременном режиме:

$$P'_{\text{ном.кр}} = \frac{P_{\text{кр}}}{p_M} = \frac{7,08}{1,2} = 5,9, \text{ кВт.}$$

5) По каталогу выбираем АИРХ132S6:

$$P_{\text{ном}}=7.5 \text{ кВт}; S_{\text{ном}} = 4\% ; \lambda_M = 2,2 ; \lambda_n = 2.$$

6) Учитывая перегрузку двигателя, определяем частоту вращения при кратковременном режиме нагрузки  $P_{\text{кр}}=7,08$  кВт:

$$n'_{\text{ном}} = n_1 - \frac{P_{\text{кр}}}{P_{\text{ном}}} (n_1 - n_{\text{ном}}) = 1500 - \frac{7,08}{7.5} (1500 - 1350) = 1358 \text{ об/мин,}$$

где частота вращения двигателя в продолжительном режиме

$$n_{\text{ном}} = n_1 (1 - S_{\text{ном}}) = 1500(1 - 0,04) = 1440 \text{ об/мин.}$$

7) Момент на валу двигателя, соответствующий кратковременной нагрузке  $P_{\text{кр}}=7,08$  кВт и частоте вращения  $n_{\text{кр}}=n'_{\text{ном}}=1358$  об/мин:

$$M_{\text{кр}} = \frac{9,55 P_{\text{кр}}}{n_{\text{кр}}} = \frac{9,55 \cdot 6840}{913} = 71,5 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

8) Номинальный вращающий момент в продолжительном режиме:

$$M_{\text{ном}} = \frac{9,55 P_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}} = \frac{9,55 \cdot 7080}{1358} = 49,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

9) Максимальный момент:

$$M_{\text{max}} = M_{\text{ном}} \cdot \lambda_{\text{м}} = 49,8 \cdot 2,2 = 109,56 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

10) Действительная перегрузочная способность двигателя:

$$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{с}}} = \frac{109,56}{50} = 2,19.$$

При возможном уменьшении напряжения сети на 5% перегрузочная способность двигателя составит:

$$2,19 \cdot 0,95^2 = 1,97.$$

11) Пусковой момент двигателя

$$M_{\text{п}} = M_{\text{ном}} \cdot \lambda_{\text{п}} = 49,8 \cdot 2 = 99,6 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

что превышает статический момент  $M_{\text{с}}=50 \text{ Н} \cdot \text{м}$ .

Выбранный двигатель удовлетворяет требованиям электропривода по пусковому моменту и перегрузочной способности.

## РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ДЛЯ ПОВТОРНО-КРАТКОВРЕМЕННОГО РЕЖИМА

**Задача 4:** Для ЭП подъемного механизма необходимо рассчитать мощность двигателя методом эквивалентного момента и выбрать трехфазный асинхронный двигатель с КЗР для повторно-кратковременного режима работы S3 в соответствии с нагрузочной диаграммой со следующими значениями:

M, Н·м	35	20	35
t, с	30	5	15

Время паузы  $t_{\text{п}}=65 \text{ с}$ . Частота вращения  $n=950 \pm 10 \text{ об/мин}$ . Пуск двигателя под нагрузкой.

### Решение:

#### 1) Эквивалентный момент

$$M_{\text{эк}} = \sqrt{\frac{57125}{50}} = 33,8 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

где  $\sum M_x^2 t_x = 35^2 \cdot 30 + 20^2 \cdot 5 + 35^2 \cdot 15 = 1167356$

Время работы:  $t_p = 30 + 5 + 15 = 50 \text{ с}$  :

#### 2) Эквивалентная мощность двигателя:

$$P_{\text{эк}} = 0,105 \cdot 10^{-3} M_{\text{эк}} \cdot n_{\text{ном}} = 0,105 \cdot 10^{-3} \cdot 33,8 \cdot 950 \approx 3,37 \text{ кВт}.$$

#### 3) Продолжительность цикла при $\beta=0,5$ :

$$t_{\text{ц}} = t_p + \beta t_{\text{п}} = 50 + 0,5 \cdot 65 = 82,5 \text{ с}.$$

$\beta$  - коэффициент, учитывающий ухудшение условий охлаждения двигателей.

При частоте вращения  $n \leq 0,2 n_{\text{ном}}$  принимают  $\beta = \beta_0$ ;

При частоте вращения  $0,8 n_{\text{ном}} \geq n \geq 0,2 n_{\text{ном}}$  принимают  $\beta = 0,5(1 + \beta_0)$ ;

при частоте вращения  $n \geq 0,8 n_{\text{ном}}$  принимают  $\beta = 1$ .

Значения  $\beta_0$  зависят от исполнений двигателей по способам защиты и охлаждения.

Таблица 2 – определение коэффициента  $\beta_0$

Способ защиты	Значение коэффициента $\beta_0$
Закрытый с независимой вентиляцией	1
Закрытый с естественным охлаждением	0,97
Закрытый с самовентиляцией	0,5
Защищенный с самовентиляцией	0,3

#### 4) Расчетной значение относительной продолжительности включения:

$$ПВ' = \frac{t_p}{t_{\text{ц}}} \cdot 100 = \frac{50}{82,5} \cdot 100 = 60\%.$$

#### 5) Мощность двигателя при $ПВ=65\%$ :

$$P_{\text{пкр}} = P_{\text{эк}} \sqrt{\frac{ПВ'}{40}} = 3,37 \sqrt{\frac{60}{65}} = 3,24 \text{ кВт}.$$

6) По каталогу краново-металлургической серии МТКН выбираем АД с КЗР МТКН112-6:

$P_{\text{ном}} = 3.6 \text{ кВт}$  при  $\text{ПВ} = 40\%$  ;  $n_{\text{ном}} = 925 \text{ об/мин.}$  ;  $M_{\text{max}} = 155 \text{ Н} \cdot \text{м}$  ;

$M_n = 154 \text{ Н} \cdot \text{м}$

**Вывод:**

В ходе выполнения работы были освоены методики расчета требуемой мощности электродвигателей для различных режимов работы.

### **Практическая работа №9. Измерение тока, напряжения, сопротивления, мощности и энергии в электрических цепях. Приборы и схемы измерения**

**Цель работы:** Ознакомиться с измерениями токов, напряжений и сопротивлений с помощью мультиметра, с измерением мощности с помощью ваттметра, экспериментально убедиться в выполнении закона Ома и закона Джоуля-Ленца в электрической цепи постоянного тока.

**Пояснения:**

Для измерения силы тока через какой-либо элемент электрической цепи последовательно с этим элементом включают измеритель тока - амперметр.

Для измерения ЭДС и напряжения на каком-либо участке электрической цепи измеритель

напряжения – вольтметр, включают параллельно этому участку.

Приборы для измерения тока и напряжения, амперметры и вольтметры, имеют одинаковые по устройству измерительные механизмы, но отличаются параметрами измерительных схем и различным способом включения в испытываемую цепь. Амперметр должен иметь малое сопротивление, чтобы не было влияния на ток цепи, и мощность потерь в приборе была минимальна. Сопротивление вольтметра должно быть большим, чтобы его включение не изменило режима работы цепи, и потери в приборе были минимальны.

Мощность в электрических цепях измеряют прямым и косвенным способами. При прямом измерении используют ваттметры, при косвенном - амперметры и вольтметры.

В цепях постоянного тока для измерения мощности ваттметр применяют относительно редко, в основном используют метод амперметра-вольтметра. Определив амперметром значение тока и вольтметром напряжение, вычисляют мощность по формуле  $P=UI$ .



При измерении мощности с помощью ваттметра токовую обмотку ваттметра включают в цепь последовательно с приемником, а обмотку напряжения - параллельно приемнику.

Электрические сопротивления электротехнических устройств (катушек, резисторов и т.д.) постоянному току условно можно разделить на малые (до 1 Ом), средние (от 1 до 105 Ом) и большие (свыше 105 Ом).

Для измерения малых и средних сопротивлений применяют метод амперметра – вольтметра, омметры, одинарные четырехплечие мосты, компенсационный метод. Для измерения больших сопротивлений применяют мегаомметры.

Метод амперметра – вольтметра является наиболее простым косвенным методом измерения малых и средних сопротивлений. Амперметр включают в цепь последовательно с потребителем, сопротивление которого надо определить, вольтметр – параллельно потребителю. Сопротивление будет равно частному от деления показаний вольтметра на показания амперметра  $R = U/I$

### Порядок выполнения эксперимента

#### Работа выполняется с помощью. ПО Multisim 10.1

1. Включите блок мультиметров, установите на одном из них переключатель в положение

измерения сопротивлений ( $\Omega$ ), подключите к мультиметру с помощью соединительных проводов заданное в соответствии с вариантом (см. табл.1.1) сопротивление из набора миниблоков, выберите ближайший превышающий измеряемое сопротивление предел измерения и запишите показание мультиметра  $R_{изм}$  и номинальное сопротивление, указанное на этикетке миниблока

$R_{изм} = \dots\dots\dots \text{Ом}$ ;  $R_{ном} = \dots\dots\dots \text{Ом}$ .

2. Соберите цепь в соответствии с принципиальной схемой (рис.1.1) и монтажной схемой

(рис. 2), установив в наборную панель миниблок с заданным сопротивлением (табл.1.1). Запишите значение сопротивления в таблицу 1.2.

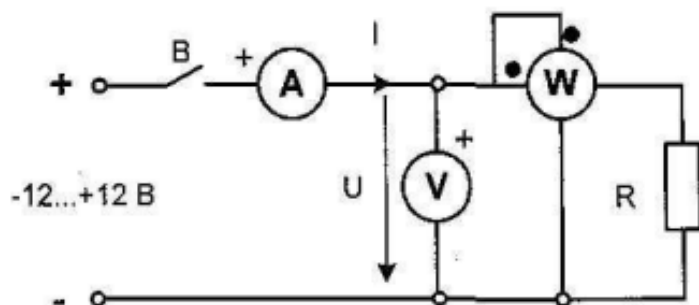


Рис.1.1 Принципиальная схема

3. Убедитесь, что при включении выключателя «В» в цепи появляется ток, а при выключении — исчезает.

4. Устанавливая регулятором напряжения указанные в табл. 1.1 значения, запишите в таблицу показания приборов.

Не забывайте следить за сигнальными светодиодами ваттметра. При включении светодиода  $I >$  или  $U >$  переводите соответствующий переключатель на больший предел. При включении светодиода  $I <$  или  $U <$  переключайте его на меньший предел.

Следите также за светодиодами, указывающими размерность измеряемой мощности: Вт или мВт.

5. Вычислите значения мощности  $P = UI$  и сопротивления  $R = U/I$  и запишите результаты в столбцы «Вычисленные значения» таблицы 2. Сравните результаты измерений и вычислений и сделайте выводы.

Таблица 1.1

№ варианта	1	2	3	4	5	6
Значение сопротивления, Ом	100	150	220	330	470	1000

Таблица 1.2

Измеренные значения				Вычисленные значения	
$R_{ном}$ Ом	$U$ , В	$I$ , мА	$P$ , Вт	$P$ , Вт	$R$ , Ом
	-5				
	4				
	6				
	8				
	12				

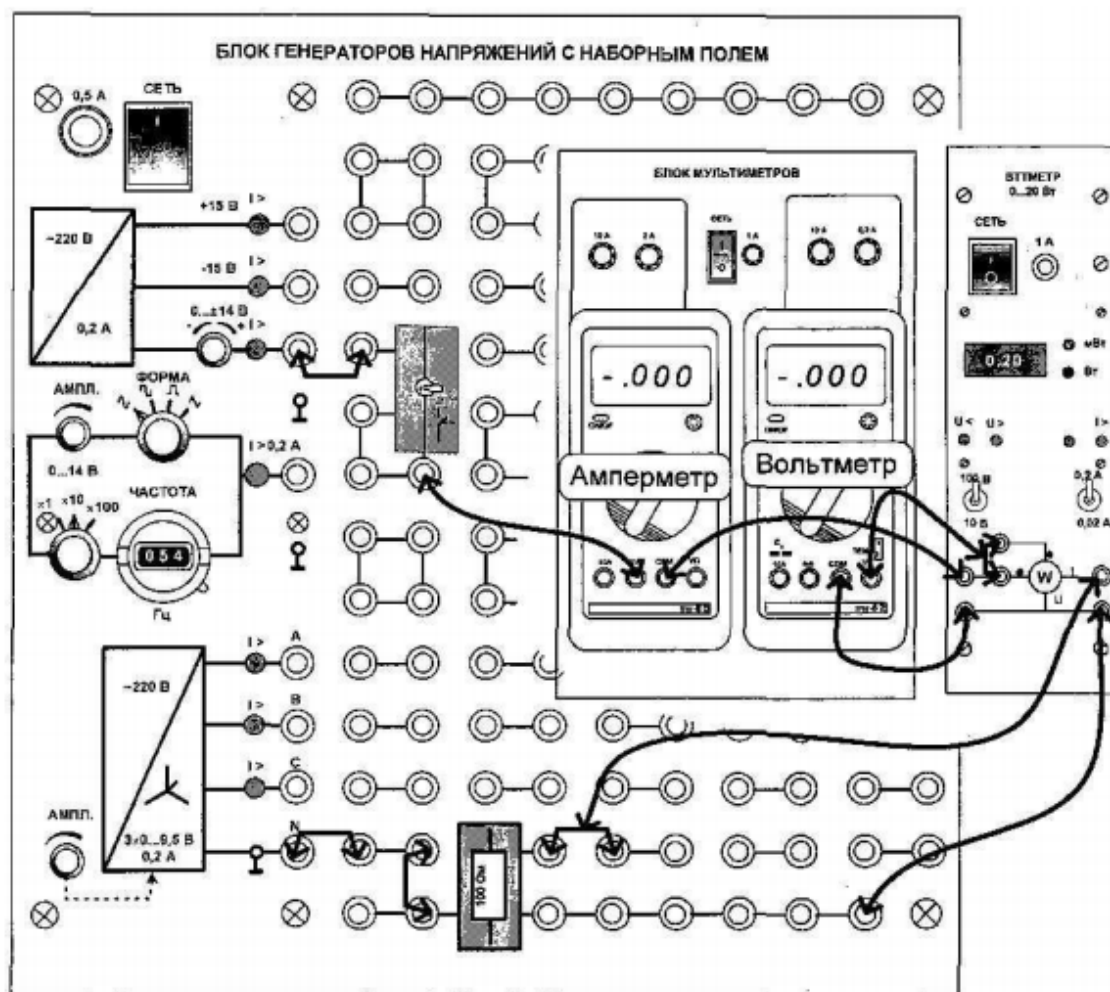


Рис.1.2 Монтажная схема

### Содержание отчета:

1. Наименование работы.
2. Цель работы.
3. Электрическая схема.
4. Таблица с результатами измерений и вычислений
5. Расчеты
6. Вывод по результатам расчетов.

### Контрольные вопросы:

- 1) В каких единицах измеряются сила тока, напряжение, мощность и сопротивление?
- 2) Какими приборами производятся прямые измерения этих величин?
- 3) На основании какого закона по показаниям амперметра и вольтметра определяют сопротивление электрической цепи?
- 4) Какими способами измеряют электрическое сопротивление?
- 5) Как производится косвенное измерение мощности?

### **Используемая литература:**

1. **Немцов М.В.** Электротехника и электроника учебник для студ. сред.проф. образования - 6-е изд., стер. - М.: Издательский центр "Академия" 2017г
2. **Немцов М.В.** Электротехника и электроника учебник для студ. сред.проф. образования - 6-е изд., стер. - М.: Издательский центр "Академия" 2018.
3. **Лапынин Ю.Г.** Контрольные материалы по электротехнике и электронике. Учеб. пособие для студ. сред.проф. образования - 5-е изд., стер. - М.: Издательский центр "Академия" 2017.