

Министерство образования Иркутской области
ГБПОУ ИО «Бодайбинский горный техникум»

Утверждаю:
Зам. директора по УР
Щпак М.Е.
« 10 » 2018 г.



**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ, ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ
ОП 01. ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

Специальности: 23.01.03 Автомеханик

Форма обучения: Очная, очно-заочная

Рекомендовано методическим советом
ГБПОУ ИО «Бодайбинский горный техникум»
Заключение методического совета,
протокол № 01 от « 01 » 10 2018 г.
председатель методсовета
Щпак М.Е./



Бодайбо, 2018

Учебно-практическое пособие предназначено для выполнения лабораторно-практических работ и разработано на основе ФГОС СПО, утвержденного приказами Минобрнауки России от 02.08.2013 г. №701 «Об утверждении федерального государственного стандарта среднего профессионального образования по ППКРС (программе подготовке квалифицированных рабочих, служащих по профессии) 190631.01 Автомеханик» и от 09.04.2015 №389 «О внесении изменений в федеральные государственные образовательные стандарты среднего профессионального образования».

Разработчик:

Кострыгина Елена Николаевна – преподаватель специальных дисциплин

Рассмотрено на заседании П(Ц)К Электромеханическим дисциплинам

Протокол № __ от «__» _____ 2018года

Учебно-практическое пособие предназначено для студентов специальности 23.01.03 Автомеханики соответствует программе учебной дисциплины ОП 01. Электротехника.

В пособии представлены общие или индивидуальные задания поисково-творческого и проблемного характера, подробные методические рекомендации по их выполнению, приведены краткие необходимые сведения по теории.

Цель пособия - закрепить главные положения теории и дать возможность сформировать у студентов следующие общие (ОК) и профессиональные (ПК) компетенции:

Код	Наименование результата обучения
ПК 1.1	Диагностировать автомобиль, его агрегаты и системы
ПК 1.2	Выполнять работы по различным видам технического обслуживания
ПК 1.3	Разбирать, собирать узлы и агрегаты автомобиля и устранять неисправности
ПК 1.4	Оформлять отчетную документацию по техническому обслуживанию
ПК 2.1	Управлять автомобилями категорий "В" и "С"
ПК 2.3	Осуществлять техническое обслуживание транспортных средств в пути следования
ПК 2.4	Устранять мелкие неисправности, возникающие во время эксплуатации транспортных средств
ПК 3.1	Производить заправку горючими и смазочными материалами транспортных средств на заправочных станциях
ПК 3.2	Проводить технический осмотр и ремонт оборудования заправочных станций
ОК 1.	Понимать сущность и социальную значимость будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.
ОК 2.	Организовывать собственную деятельность, исходя из цели и способов ее достижения, определенных руководителем
ОК 3.	Анализировать рабочую ситуацию, осуществлять текущий и итоговый контроль, оценку и коррекцию собственной деятельности, нести ответственность за результаты своей работы
ОК 4.	Осуществлять поиск информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач
ОК 5.	Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности
ОК 6.	Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности
ОК 7.	Исполнять воинскую обязанность, в том числе с применением полученных профессиональных знаний (для юношей)

Объем работы необходимый для выполнения лабораторных и практических работ приведен в таблице 1.

Таблица 1

Практические работы	Объем, м, часов
Практическая работа №1. «Расчёт простой электрической цепи»	2
Практическая работа №2. «Расчёт сложных электрических цепей»	4
Практическая работа №3. «Расчёт магнитной цепи»	4
Практическая работа №4. «Расчёт цепи переменного тока»	2
Практическая работа №5. «Расчёт трёхфазных цепей»	4
Практическая работа №6. «Электроизмерительные приборы»	2
Практическая работа №7. «Изучение однофазных трансформаторов»	4
Лабораторные работы	
Лабораторная работа №1. «Исследование последовательного и параллельного соединения проводников»	4
Лабораторная работа №2. «Исследование резонанса токов»	4
Лабораторная работа №3. «Соединение «звезда» в трёхфазной системе переменного тока»	4
Лабораторная работа №4. «Исследование работы асинхронного двигателя»	4
Лабораторная работа №5. «Исследование работы двигателя постоянного тока»	2
Всего	40

Практическое занятие №1

Тема: Расчёт простой электрической цепи

Цель: научиться рассчитывать электрические цепи постоянного тока, используя законы Кирхгофа.

Работа оформляется на листах формата А4 (210x297 мм) в соответствии с требованиями государственных стандартов (в печатном виде или написанном от руки).

В работе приводится:

- номер и название работы;
- задание к работе;
- исходные данные к расчету в соответствии с вариантом;
- результаты расчетов с краткими комментариями.

Проверенное преподавателем задание должно быть защищено студентом.

Методические указания по выполнению расчетов

Согласно первому закону Кирхгофа: алгебраическая сумма токов, входящих в узел равна сумме токов, исходящих из узла.

Согласно второму закону Кирхгофа: алгебраическая сумма напряжений на резистивных элементах замкнутого контура равна алгебраической сумме ЭДС, входящих в этот контур. Расчет многоконтурной линейной электрической цепи, имеющей n -ветвей и m -узлов, сводится к определению токов отдельных ветвей и напряжений на зажимах элементов, входящих в данную цепь.

Пассивной называется ветвь, не содержащая источника ЭДС. Ветвь, содержащая источник ЭДС, называется активной.

1-й закон Кирхгофа применяют к независимым узлам, т.е. таким, которые отличаются друг от друга хотя бы одной новой ветвью, что позволяет получить $(n-1)$ -уравнений. Недостающие уравнения в количестве $m - (n-1)$ составляют, исходя из второго закона Кирхгофа.

Уравнения записывают для независимых контуров, которые отличаются один от другого, по крайней мере, одной ветвью.

Порядок выполнения расчета:

- в электрической цепи выделяют ветви, независимые узлы и контуры;
- с помощью стрелок указывают произвольно выбранные положительные направления токов в отдельных ветвях, а также указывают произвольно выбранное направление обхода контура;
- составляют уравнения по законам Кирхгофа, применяя следующее правило знаков: а) токи, направленные к узлу цепи, записывают со знаком "плюс", а токи, направленные от узла, - со знаком "минус" (для первого закона Кирхгофа); б) ЭДС и напряжение на резистивном элементе (R) берутся со знаком "плюс", если направления ЭДС и тока в ветви совпадают с направлением обхода контура, а при встречном направлении - со знаком "минус";
- решая систему уравнений, находят токи в ветвях.

При решении могут быть использованы ЭВМ, методы подстановки или определителей. Отрицательные значения тока какой-либо ветви указывают на то, что направление тока противоположно выбранному.

Баланс мощностей цепи.

Баланс мощности цепи составляют для проверки расчетов. Его записывают в виде:

$$P_{\text{рез}} \approx P_{\text{ист}}, \text{ где } P_{\text{рез}} = I_1^2 * R_1 + I_2^2 * R_2 + \dots, P_{\text{ист}} = \varepsilon_1 * I_1 + \varepsilon_2 * I_2 + \dots$$

В уравнении баланса произведение $\varepsilon_1 * I_1$ (мощность источника) подставляют со знаком "плюс", если истинное направление тока, протекающего через источник, и направление ЭДС источника совпадают, и со знаком "минус" - при встречном направлении (источник работает в режиме приемника).

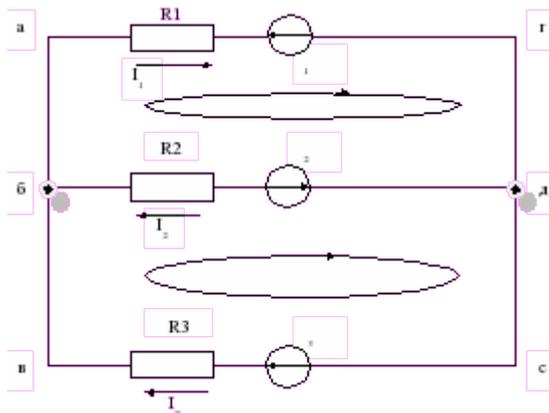
Хорошее совпадение P_1 и P_2 говорит о том, что расчеты выполнены правильно.

Пример выполненного задания

Для заданной электрической цепи постоянного тока выполнить расчеты методом непосредственного применения законов Кирхгофа, если $R_1=2,3$ Ом, $R_2=6,3$ Ом, $R_3=1,8$ Ом;

$$\varepsilon_1 = 5,7 \text{ В}, \varepsilon_2 = 4,5 \text{ В}, \varepsilon_3 = 2,7 \text{ В}.$$

1. Нарисовать схему.
2. Выбрать контуры и направления их обхода.
3. Обозначить токи в ветвях.



4. Составить систему уравнений.

Так как узла в цепи два, то по первому закону Кирхгофа составим одно уравнение (для узла д):

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0 \quad (1)$$

По второму закону Кирхгофа составляем еще два уравнения, так как всего неизвестных три:

$$-\varepsilon_1 - \varepsilon_2 = I_1 * R_1 + I_2 * R_2 \quad (2)$$

$$\varepsilon_1 + \varepsilon_2 = I_3 * R_3 - I_2 * R_2 \quad (3)$$

Подставим в полученные уравнения, известные значения:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0 \quad (1)$$

$$-5,7 - 4,5 = 2,3 * I_1 + 6,3 * I_2 \quad (2)$$

$$4,5 + 2,7 = 1,8 * I_3 - 6,3 * I_2 \quad (3)$$

5. Определить токи, путем решения системы уравнений.

Промежуточные результаты:

$$I_3 = -0,08 \text{ А},$$

$$3,74 I_2 = -4,27 - 0,086; I_2 = -1,16 \text{ А},$$

$$-I_1 = 4,43 - 3,19; I_1 = -1,24 \text{ А}.$$

Решая систему, получили токи в ветвях:

$$I_1 = -1,24 \text{ А};$$

$$I_2 = -1,16 \text{ А};$$

$$I_3 = -0,08 \text{ А}.$$

Знак «-» в значении тока говорит о том, что направление тока противоположно выбранному.

Поэтому на рисунке на самом деле: ε_1 и I_1 совпадают по направлению, ε_2 и I_2 тоже совпадают по направлению, а ε_3 и I_3 противоположно направлены.

Напряжения на резисторах:

$$U_1 = I_1 * R_1 = 1,24 * 2,3 = 2,852 \text{ В}$$

$$U_2 = I_2 * R_2 = 1,16 * 6,3 = 7,308 \text{ В}$$

$$U_3 = I_3 * R_3 = 0,08 * 1,8 = 0,144 \text{ В.}$$

6. Проверить баланс мощностей. Согласно уравнению баланса мощностей мощность источников равна мощности потребителей в каждый момент времени.

Найдем мощность, выделяемую на резисторах R1, R2, R3 в виде теплоты:

$$P_{\text{рез}} = I_1^2 * R_1 + I_2^2 * R_2 + I_3^2 * R_3,$$

$$P_1 = 1,24^2 * 2,3 + 1,16^2 * 6,3 + 0,08^2 * 1,8 = 12,025 \text{ Вт.}$$

Найдем мощность, выделяемую источниками тока в результате работы сторонних сил:

$$P_{\text{ист}} = \varepsilon_1 * I_1 + \varepsilon_2 * I_2 + \varepsilon_3 * I_3$$

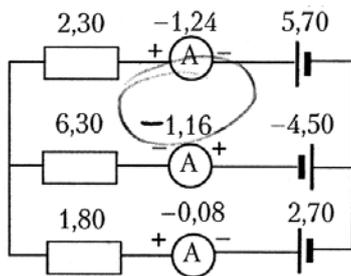
$$P_2 = 5,7 * 1,24 + 4,5 * 1,16 - 0,08 * 2,7 = 12,072 \text{ Вт.}$$

Для третьего источника тока мощность отрицательная, так как I_3 направлен против ЭДС.

Хорошее совпадение P_1 и P_2 говорит о том, что расчеты выполнены правильно.

Ответ:

Окончательный вид схемы с обозначением номиналов:



$$I_1 = -1,24 \text{ A;}$$

$$I_2 = -1,16 \text{ A;}$$

$$I_3 = -0,08 \text{ A.}$$

Задание для самостоятельного решения

Для заданной электрической цепи постоянного тока выполнить расчеты методом непосредственного применения законов Кирхгофа.

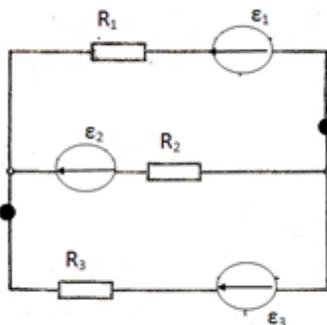


рис. 1

$$R_1, 2 \text{ Ом}$$

$$R_2, 3 \text{ Ом}$$

$$R_3, 4 \text{ Ом}$$

$$\varepsilon_1, 40 \text{ В}$$

$$\varepsilon_2, 20 \text{ В}$$

$$\varepsilon_3, 15 \text{ В}$$

Практическое занятие №2

Тема:Расчёт сложных электрических цепей

Цель:Научиться рассчитывать сложные электрические цепи

Работа оформляется на листах формата А4 (210x297 мм) в соответствии с требованиями государственных стандартов (в печатном виде или написанном от руки).

В работе приводится:

- номер и название работы;
- задание к работе;
- исходные данные к расчету в соответствии с вариантом;
- результаты расчетов с краткими комментариями.

Проверенное преподавателем задание должно быть защищено студентом.

Методические указания по выполнению расчетов

Выполнения задания требует знания основных законов постоянного тока, производных формул этих законов и умение применить их для расчёта электрических цепей со смешанным соединением резисторов.

Методику и последовательность действий рассмотрим на конкретном примере.

Задана схема цепи и значения сопротивлений резисторов:

$$R_1=30\text{ Ом}$$

$$R_2=20\text{ Ом}$$

$$R_3=30\text{ Ом}$$

$$R_4=50\text{ Ом}$$

И мощностью цепи $P=320\text{ Вт}$

Определить:

1. Эквивалентное сопротивление цепи $R_{\text{экв}}$;
2. Токи, проходящие через каждый резистор решение проверить применяя первый закон Кирхгофа.

Порядок выполнения:

Дано:

$$R_1=30\text{ Ом}$$

$$R_2=20\text{ Ом}$$

$$R_3=30\text{ Ом}$$

$$R_4=50\text{ Ом}$$

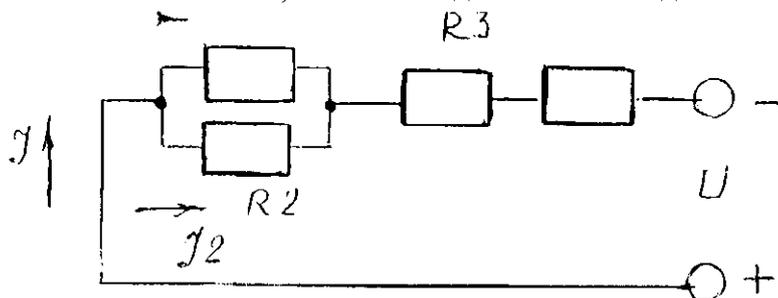
$$P=320\text{ Вт}$$

Найти: $R_{\text{экв}}$? I_1 ? I_2 ? I ?

3.Находим эквивалентное сопротивление для резисторов R_1 и R_2 , используем формулу для параллельного соединения резисторов. $\frac{1}{R_{1-2}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

4. Находим эквивалентное сопротивление всей цепи

$R_{\text{экв}}=R_{1-2} + R_3 + R_4$, т.к. они соединяемы последовательно.



5. Выпишем формулу мощности: $P=I^2R$, $I= \frac{\sqrt{P}}{\sqrt{R}}$

6. Определим значения напряжения на параллельном соединении резисторов R_1, R_2 ; $U_{1,2}=I R_{1-2}$

Задание для самостоятельного выполнения

Цепь постоянного тока состоит из смешанного соединения пятирезисторов. В таблице в строке, соответствующей номеру Вашего варианта, задан **номер** рисунка и исходные данные. Определите общее напряжение и все токи, протекающие в цепи. Решение задачи проверьте, составив баланс мощностей. Перед решением задачи укажите направления токов на схеме и обозначьте их.

Вариант	Номер рисунка	E	R _i	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅
		В	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом	Ом
1	1	120	1	19	60	60	40	6
2	2	96	1,5	30	120	40	90	180
3	3	104	2	20	80	40	150	100
4	4	160	2	36	12	36	18	15,6
5	5	84	2	17,5	30	90	60	16
6	6	276	2	75	150	100	20	60
7	7	60	1,5	54	12	30	6	9
8	8	75	1	18	18	8	8	5
9	1	96	1	36	18	11	24	12
10	2	27	1	40	160	28	120	49

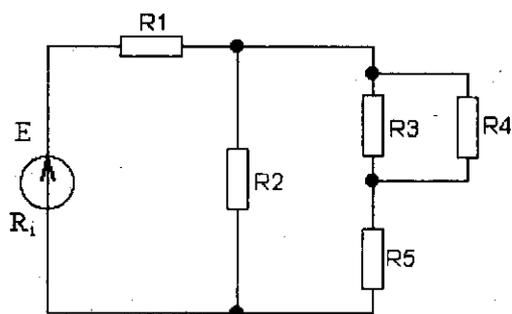


Рисунок 2.1

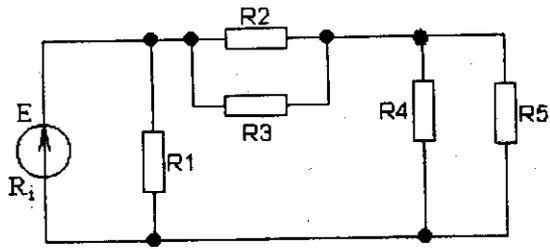


Рисунок 2.2

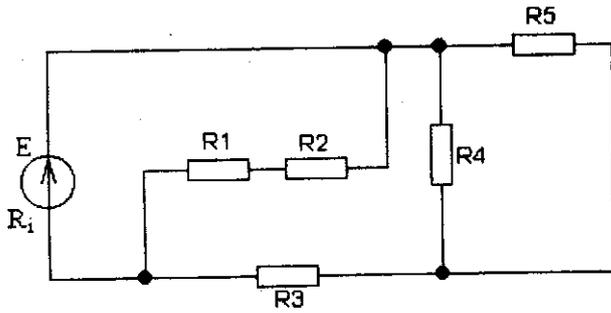


Рисунок 2.3

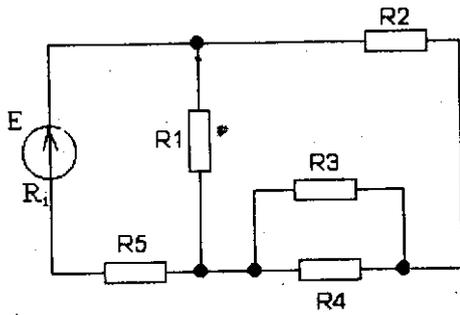


Рисунок 2.4

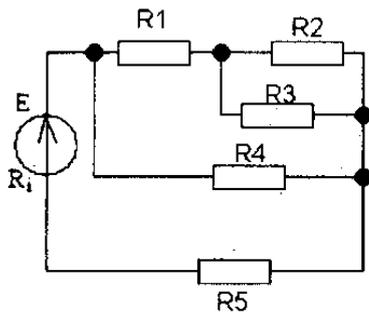


Рисунок 2.5

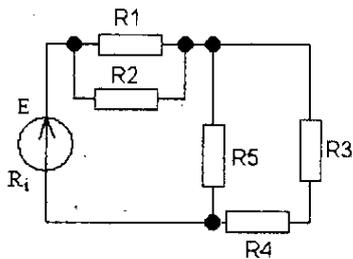


Рисунок 2.6

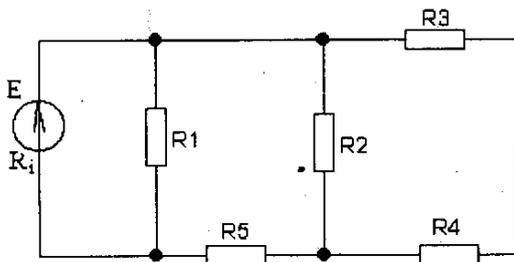


Рисунок 2.7

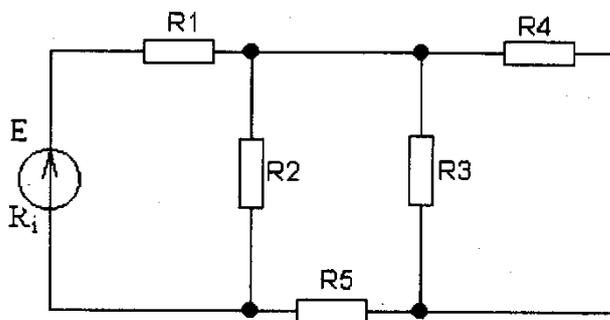


Рисунок 2.8

7. Следовательно, зная напряжение на параллельном участке (**R1, и R2**) цепи можно найти токи ветвей по закону Ома:

$$I_1 = \frac{U_{1,2}}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{U_{1,2}}{R_2}$$

8. По первому закону Кирхгофа проверяем правильность решения задачи:
 $I = I_1 + I_2$

Используя порядок выполнения, подставляя числовые значения, определяем все неизвестные к своему варианту.

Практическое занятие №3

Тема: Расчёт магнитной цепи

Цель: Приобрести навыки расчёта магнитных цепей прямой задачей

Работа оформляется на листах формата А4 (210x297 мм) в соответствии с требованиями государственных стандартов (в печатном виде или написанном от руки).

В работе приводится:

- номер и название работы;
- задание к работе;
- схема электрической цепи;
- исходные данные к расчету в соответствии с вариантом;
- результаты расчетов с краткими комментариями.

Проверенное преподавателем задание должно быть защищено студентом.

Методические указания по выполнению расчетов

Магнитной цепью называют совокупность элементов, по которым распространяется магнитный поток.

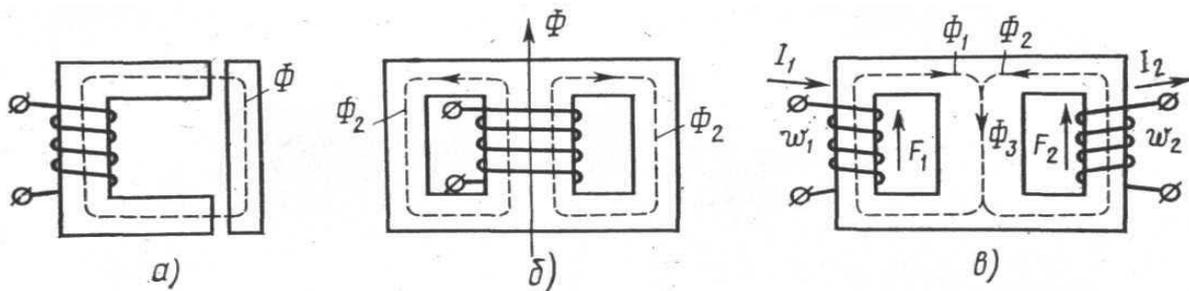


Рисунок 4.1.

Магнитные цепи бывают неразветвленные (рис.4.1 а) и разветвленные (рис. 4.1, б, в). Примерами простейших цепей могут служить сердечники кольцевой катушки, электромагнита и других устройств, а примерами более сложных цепей — электрические машины, трансформаторы, электромагнитные аппараты и т. д. Магнитные цепи могут быть выполнены из различных материалов различной длины и площади поперечного сечения.

Магнитную цепь, выполненную из однородного материала и имеющую постоянное сечение, называют однородной. Магнитную цепь, выполненную из различных ферромагнитных материалов, имеющих различные сечения с различными магнитными свойствами, называют неоднородной.

Разветвленные цепи делятся на симметричные и несимметричные.

Разветвленной симметричной цепью считают такую цепь, у которой левая и правая части стержней выполнены из одинакового материала, имеют одинаковые длины и сечения, а также значения намагничивающих сил. В разветвленной магнитной цепи могут существовать несколько магнитных потоков, которые складываются или вычитаются на различных участках.

По аналогии с разветвленной электрической цепью магнитная цепь может быть разбита на ветви и узлы. В этом случае намагничивающие силы подобны э. д. с. электрической цепи, а разности, наоборот, пропорциональны площадям поперечного сечения этих участков.

Законы Кирхгофа для магнитной цепи

Первый закон. Сумма магнитных потоков Φ для узла магнитной цепи равна нулю.

$$\sum \Phi = 0.$$

Второй закон. Алгебраическая сумма намагничивающих сил F для замкнутого магнитного контура равна сумме магнитных напряжений U для этого контура.

$$\sum F = \sum U \text{ или}$$

$$\sum I \omega = \sum H L,$$

где I – ток катушки, создающей магнитный поток, А; ω – количество витков катушки, шт; H – напряженность магнитного поля, А/м; L – длина средней линии магнитопровода, причем условно принимается, что эта средняя линия во всех точках совпадает с линией магнитной индукции, м.

Неразветвленные цепи можно рассматривать как одну магнитную трубку, для которой магнитный поток во всех сечениях имеет одно и то же значение:

$$\Phi = \text{const.}$$

Предполагается, что магнитные потоки рассеяния и утечки отсутствуют. Тогда для магнитной цепи во всех ее сечениях магнитный поток

$$\Phi = B_1 S_1 = B_2 S_2 = B_3 S_3 \text{ и т. д.}$$

$$\text{Откуда } \frac{B_1}{B_2} = \frac{S_2}{S_1},$$

$$\text{или } B_1 = \frac{S_2 \cdot B_2}{S_1}$$

т.е. магнитные индукции в различных участках магнитной цепи обратно пропорциональны площадям поперечного сечения этих участков.

Прямая и обратная задачи расчета неразветвленной магнитной цепи.

Прямая задача

Определение намагничивающей силы H по заданной магнитной индукции B (магнитному потоку Φ) при известных конструктивных параметрах магнитной цепи и ферромагнитного материала является прямой задачей.

Порядок решения следующий:

- по габаритным размерам магнитопровода определяют участки одинакового сечения магнитной цепи S ;
- определяют длину средней линии L по всем участкам магнитной цепи;
- определяют значение магнитной индукции B для каждого участка;
- по кривым намагничивания материала определяют напряженность поля H , соответствующую значению магнитной индукции B по участкам;
- определяют значение намагничивающей силы F

$$F = \sum H L$$

Обратная задача

Определение магнитной индукции B по заданной намагничивающей силе H при известных конструктивных параметрах магнитопровода и ферромагнитного материала является обратной задачей – определение магнитного потока Φ по заданным намагнивающим силам H .

Порядок выполнения расчета:

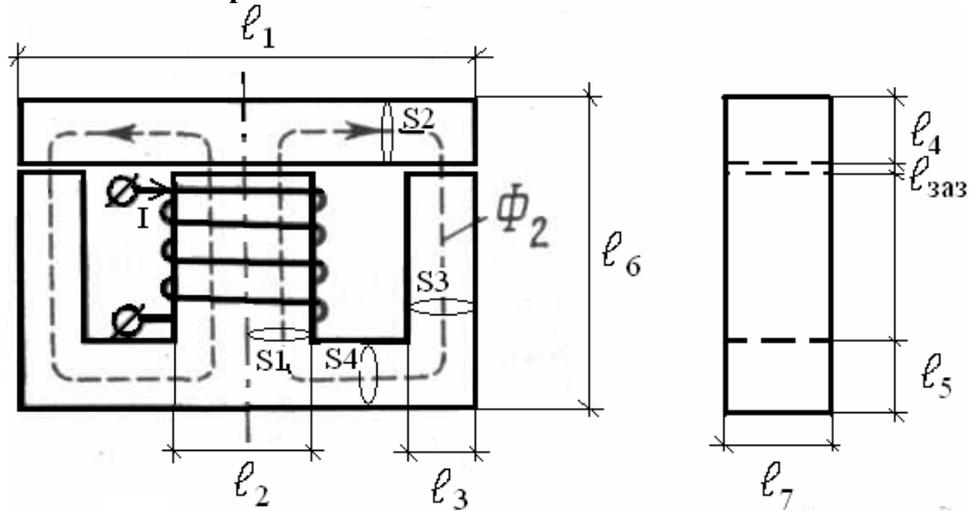


Рисунок 4.2

1. Для определения участков однородной магнитной цепи, находим площадь поперечного сечения S1, S2, S3, S4 из рис. 4.2 по формулам:

$$S1 = \frac{l_2 \cdot l_6}{2}; S2 = l_1 \cdot l_6; S3 = l_3 \cdot l_6; S4 = l_4 \cdot l_6,$$

где S1, S2, S3, S4 - площади поперечного сечения магнитной цепи, мм²; $l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7$ - параметры магнитной цепи, мм.

2. Находим длину средней линии определенных однородных участков по формулам:

$$L1 = l_2 \cdot l_6 \cdot l_6 \cdot l_{3аз}; L2 = \frac{l_1 \cdot l_6}{2} \cdot \frac{l_1 \cdot l_6}{4} \cdot \frac{l_1 \cdot l_6}{2} \cdot l_1; L3 = L1; L4 = \frac{l_1 \cdot l_6}{2} \cdot \frac{l_1 \cdot l_6}{4} \cdot \frac{l_1 \cdot l_6}{2} \cdot l_1.$$

3. Определяем значение магнитной индукции B на каждом участке магнитной цепи согласно соотношений:

$$B2 = \frac{B \cdot S_1}{S_2}; B3 = \frac{B \cdot S_1}{S_3}; B4 = \frac{B \cdot S_1}{S_4}.$$

4. По кривым намагничивания (см. рис. 4.3) определяем напряженности полей на однородных участках H1, H2, H3, H4.

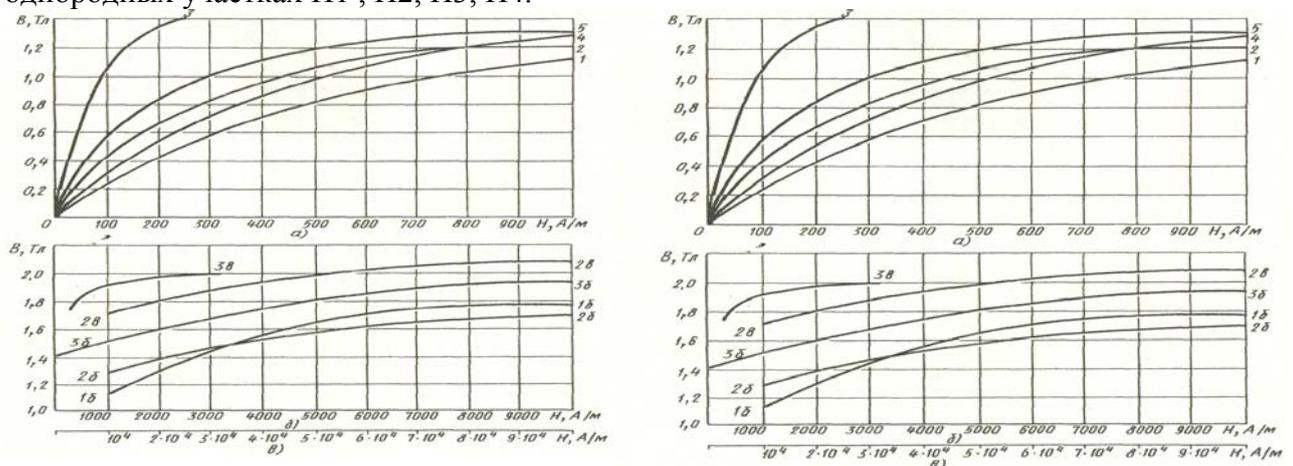


Рисунок 4.3. Кривые намагничивания различных материалов магнитопровода.

1 - литая сталь, 2 - листовая электротехническая сталь 1512 (горячекатаная), 3 - листовая электротехническая сталь 3411 (холоднокатаная), 4 - листовая

электротехническая сталь 1212 (горячекатаная), 5 - листовая электрическая сталь 1410 (горячекатаная).

5. Определяем намагничивающую силу F , А, согласно по формуле $F = H_0 L_0 = H_1 L_1 + H_2 L_2 + H_3 L_3 + H_4 L_4$.

6. Находим количество витков ω , шт, необходимое для создания заданного магнитного поля

$$\omega = \frac{H_0 \cdot L_0}{I}$$

Задание для самостоятельного решения

Определить намагничивающую силу F катушки и количество её витков ω , расположенной на среднем стержне магнитопровода (рис 4.2), необходимую для получения магнитной индукции $B_1 = 1,8$ Тл в сечении S_1 при протекании тока $I = 4$ А, если размеры магнитной цепи $l_1 = 500$ мм, $l_2 = 120$ мм, $l_3 = 70$ мм, $l_4 = 70$ мм, $l_5 = 60$ мм, $l_6 = 400$ мм, $l_7 = 60$ мм, $l_{\text{зав}} = 1$ мм. Магнитопровод выполнен из листовой электротехнической стали 3411.

Практическое занятие №4

Тема: Расчёт цепи переменного тока

Цель: Приобрести навыки расчёта цепи переменного тока

Работа оформляется на листах формата А4 (210x297 мм) в соответствии с требованиями государственных стандартов (в печатном виде или написанном от руки).

В работе приводится:

- номер и название работы;
- задание к работе;
- схема электрической цепи;
- исходные данные к расчету в соответствии с вариантом;
- результаты расчетов с краткими комментариями.

Проверенное преподавателем задание должно быть защищено студентом.

Методические указания по выполнению расчетов

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

Порядок выполнения расчёта:

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).

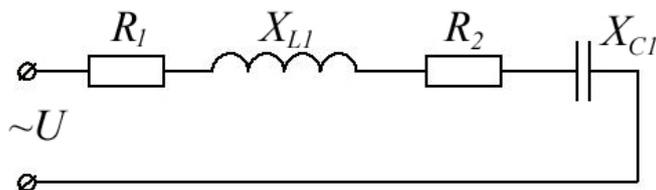


Рисунок 4.1

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 це

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

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

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

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:

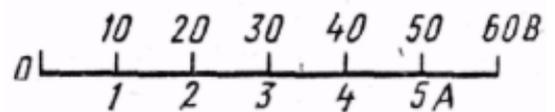
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{200^2 + 150^2} = 250 \text{ ВА или } S = U \cdot I = 50 \cdot 5 = 250 \text{ ВА}$$

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: $m_I = 1$ А/см (в 1 см — 1,0 А) и масштабом по напряжению: $m_U = 10$ 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:

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

Из конца вектора напряжения на активном сопротивлении R_2 - \vec{U}_{R2} , откладываем в сторону опережения вектора тока на 90° 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° 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 $\vec{U}_{R1}, \vec{U}_{R2}, \vec{U}_L, \vec{U}_C$ равна полному напряжению \vec{U} , приложенному к цепи.

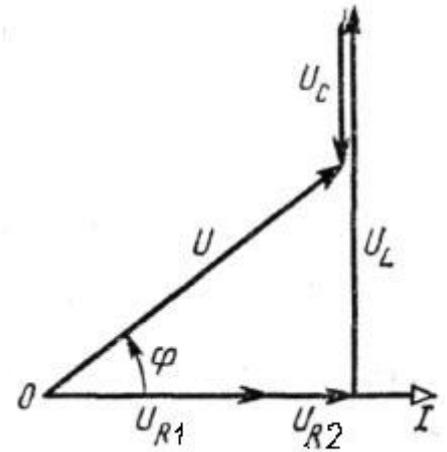


Рисунок 4.2

Задание для самостоятельной 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 φ (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 4.1

Н омер	Н омер	R 1, Ом	R 2, Ом	X L1, Ом	X L2, Ом	X C1, Ом	X C2, Ом	Дополните льный параметр
1	1	4	–	6	–	3	–	$Q_{L1}=150$
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	—	—	$S = 360$
5	5	8	—	1	—	4	2	$P = 200$
6	6	1	—	1	8	6	—	$U = 80 \text{ В}$
7	1	3	—	2	—	6	—	$U = 50 \text{ В}$
8	2	4	4	4	—	1	—	$I = 4 \text{ А}$
9	3	6	—	—	—	5	3	$S = 160$
1	4	6	1	8	4	—	—	$P = 400$
1	5	1	—	4	—	1	8	$I = 4 \text{ А}$
1	6	6	—	8	4	4	—	$P = 54$
1	1	6	—	1	—	2	—	$I = 5 \text{ А}$
1	2	4	2	1	—	4	—	$P = 24$
1	3	8	—	—	—	4	2	$U = 40 \text{ В}$
1	4	4	8	1	6	—	—	$Q = 64$
1	5	6	—	1	—	2	2	$U_{L1} = 60$
1	6	4	—	8	4	9	—	$Q = 75$
1	1	8	—	4	—	1	—	$P = 800$
2	2	3	3	2	—	1	—	$Q_{C1} = -$
2	3	1	—	—	—	4	8	$Q = -300$
2	4	2	4	2	6	—	—	$U = 60 \text{ В}$
2	5	4	—	1	—	4	3	$U_{C2} = 15$
2	6	1	—	1	1	8	—	$U_{R1} = 60$
2	1	1	—	1	—	2	—	$S = 500 \text{ В}$
2	2	8	4	2	—	4	—	$Q_{L1} =$
2	3	1	—	—	—	1	6	$P = 48$
2	4	6	2	4	2	—	—	$I = 4 \text{ А}$

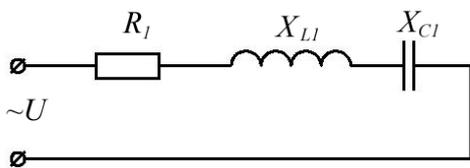


Рисунок 4.1

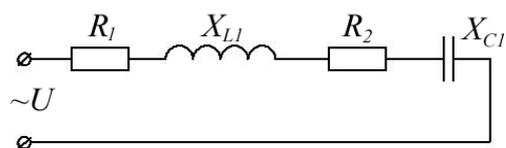


Рисунок 4.2

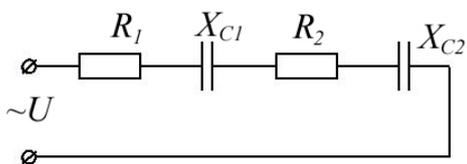


Рисунок 4.3

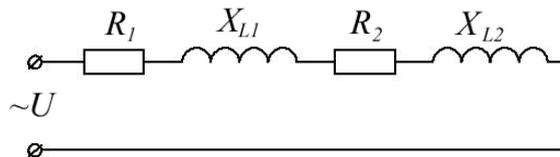


Рисунок 4.4

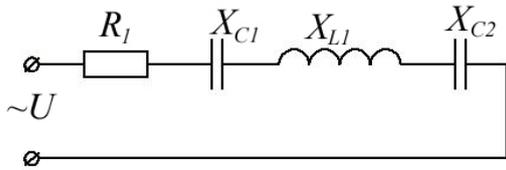


Рисунок 4.5

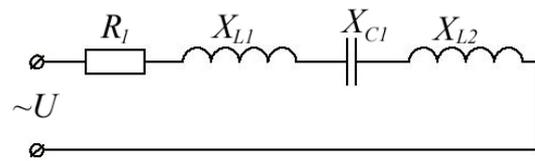


Рисунок 4.6

Практическое занятие №5

Тема: Расчёт трёхфазных цепей

Цель: Приобрести навыки расчёта трёхфазных цепей

Работа оформляется на листах формата А4 (210x297 мм) в соответствии с требованиями государственных стандартов (в печатном виде или написанном от руки).

В работе приводится:

- номер и название работы;
- задание к работе;
- схема электрической цепи;
- исходные данные к расчету в соответствии с вариантом;
- результаты расчетов с краткими комментариями.

Проверенное преподавателем задание должно быть защищено студентом.

Методические указания по выполнению расчетов

Цепь трехфазного переменного тока состоит из трехфазного источника питания, трехфазного потребителя и проводников линии связи между ними.

Симметричный трехфазный источник питания можно представить в виде трех однофазных источников, работающих на одной частоте с одинаковым напряжением и имеющих временной угол сдвига фаз 120° . Эти источники могут соединяться звездой или треугольником.

При соединении звездой условные начала фаз используют для подключения трех линейных проводников А, В, С, а концы фаз объединяют в одну точку, называемую нейтральной точкой источника питания (трехфазного генератора или трансформатора). К этой точке может подключаться нейтральный провод N. Схема соединения фаз источника питания звездой приведена на рисунке 1, а.

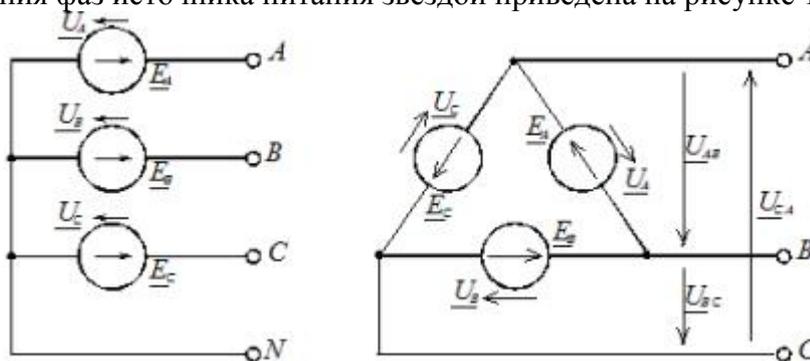


Рисунок. 5.1. Схемы соединения фаз источника питания: а – звездой; б – треугольником

Напряжение между линейным и нейтральным проводами называется фазным, а между линейными проводами – линейным.

В комплексной форме записи выражения для фазных напряжений имеют вид:

$$\underline{U}_A = U_\phi \text{ В}, \quad \underline{U}_B = U_\phi e^{-j120^\circ} \text{ В}, \quad \underline{U}_C = U_\phi e^{j120^\circ} \text{ В}.$$

Соответствующие им линейные напряжения при соединении звездой:

$$\underline{U}_{AB} = \underline{U}_A - \underline{U}_B = U_\phi e^{j30^\circ} \text{ В}, \quad \underline{U}_{BC} = \underline{U}_B - \underline{U}_C = U_\phi e^{-j30^\circ} \text{ В},$$

$$\underline{U}_{CA} = \underline{U}_C - \underline{U}_A = U_\phi e^{j30^\circ} \text{ В}.$$

Здесь U_ϕ – модуль фазного напряжения источника питания, а U_Δ – модуль линейного напряжения. В симметричной трёхфазной системе, при соединении фаз источника звездой, между этими напряжениями есть взаимосвязь:

$$U_\Delta = \sqrt{3} U_\phi$$

При включении фаз треугольником фазные источники питания соединяют последовательно в замкнутый контур (рисунок 1, б).

Из точек объединения источников между собой выводятся три линейных провода А, В, С, идущие к нагрузке. Из рисунка 1, б видно, что выводы фазных источников подключены к линейным проводникам, а следовательно, при соединении фаз источника треугольником фазные напряжения равны линейным. Нейтральный провод в этом случае отсутствует.

К трёхфазному источнику может подключаться нагрузка. По величине и характеру трёхфазная нагрузка бывает симметричной и несимметричной.

В случае симметричной нагрузки комплексные сопротивления всех трёх фаз одинаковы, а если эти сопротивления различны, то нагрузка несимметричная. Фазы нагрузки могут соединяться между собой звездой или треугольником (рисунок 2), независимо от схемы соединения источника.

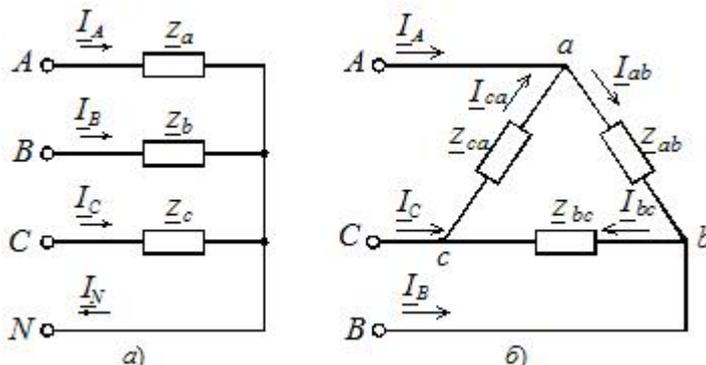


Рисунок 5.2. Схемы соединения фаз нагрузки

Соединение звездой может быть с нейтральным проводом (см. рисунок 2, а) и без него. Отсутствие нейтрального провода устраняет жёсткую привязку напряжения на нагрузке к напряжению источника питания, и в случае несимметричной нагрузки по фазам эти напряжения не равны между собой. Чтобы их отличить, условились в индексах буквенных обозначений напряжений и токов источника питания применять прописные буквы, а в параметрах, присущих нагрузке, – строчные.

Алгоритм анализа трёхфазной цепи зависит от схемы соединения нагрузки, исходных параметров и цели расчёта.

Для определения фазных напряжений при несимметричной нагрузке, соединённой звездой без нейтрального провода, используют метод двух узлов. В соответствии с этим методом расчёт начинают с определения напряжения U_N между нейтральными точками источника питания и нагрузки, называемого напряжением смещения нейтрали:

$$\underline{U}_N = \frac{\underline{U}_A y_a + \underline{U}_B y_b + \underline{U}_C y_c}{y_a + y_b + y_c}$$

где y_a , y_b , y_c – полные проводимости соответствующих фаз нагрузки в комплексной форме

$$\underline{y}_a = 1/\underline{z}_a, \quad \underline{y}_b = 1/\underline{z}_b, \quad \underline{y}_c = 1/\underline{z}_c$$

Напряжения на фазах несимметричной нагрузки находят из выражений:

$$\underline{U}_a = \underline{U}_A - \underline{U}_N, \quad \underline{U}_b = \underline{U}_B - \underline{U}_N, \quad \underline{U}_c = \underline{U}_C - \underline{U}_N$$

В частном случае несимметрии нагрузки, когда при отсутствии нейтрального провода происходит короткое замыкание одной из фаз нагрузки, напряжение смещения нейтрали равно фазному напряжению источника питания той фазы, в которой произошло короткое замыкание.

Напряжение на замкнутой фазе нагрузки равно нулю, а на двух других оно численно равно линейному напряжению. Например, пусть произошло короткое замыкание в фазе В. Напряжение смещения нейтрали для этого случая $U_N = U_B$. Тогда фазные напряжения на нагрузке:

$$\underline{U}_a = \underline{U}_a - \underline{U}_N = \underline{U}_a, \quad \underline{U}_b = \underline{U}_b - \underline{U}_N = 0, \quad \underline{U}_c = \underline{U}_c - \underline{U}_N = \underline{U}_c = -\underline{U}_{ca}$$

Фазные токи в нагрузке, они же и токи линейных проводов при любом характере нагрузки:

$$\underline{I}_a = \underline{I}_a = \underline{U}_a y_a = \underline{U}_a / z_a, \quad \underline{I}_b = \underline{I}_b = \underline{U}_b y_b = \underline{U}_b / z_b \\ \underline{I}_c = \underline{I}_c = \underline{U}_c y_c = \underline{U}_c / z_c.$$

В задачах при проведении расчётов трёхфазных цепей рассматривают три варианта соединения трёхфазных потребителей звездой: соединение с нейтральным проводом при наличии потребителей в трёх фазах, соединение с нейтральным проводом при отсутствии потребителей в одной из фаз и соединение без нейтрального провода с коротким замыканием в одной из фаз нагрузки.

В первом и втором вариантах на фазах нагрузки находят соответствующие фазные напряжения источника питания и фазные токи в нагрузке определяются по приведенным выше формулам.

В третьем варианте напряжение на фазах нагрузки не равно фазному напряжению источника питания и определяется с помощью зависимостей

$$\underline{U}_a = \underline{U}_A - \underline{U}_N, \quad \underline{U}_b = \underline{U}_B - \underline{U}_N, \quad \underline{U}_c = \underline{U}_C - \underline{U}_N$$

Токи, в двух незакороченных фазах, определяют по закону Ома, как частное от деления фазного напряжения на полное сопротивление соответствующей фазы. Ток в закороченной фазе определяют с помощью уравнения на основании первого закона Кирхгофа, составленного для нейтральной точки нагрузки.

Для рассмотренного выше примера с коротким замыканием фазы В:

$$\underline{I}_a = \underline{U}_a / z_a, \quad \underline{I}_c = \underline{U}_c / z_c, \quad \underline{I}_b = -\underline{I}_a - \underline{I}_c$$

При любом характере нагрузки трёхфазная активная и реактивная мощности равны соответственно сумме активных и реактивных мощностей отдельных фаз. Для определения этих мощностей фаз можно воспользоваться выражением

$$\underline{S}_\phi = \underline{U}_\phi \dot{\underline{I}}_\phi = P_\phi + jQ_\phi$$

где $\underline{U}_\phi, \dot{\underline{I}}_\phi$ – комплекс напряжения и сопряжённый комплекс тока на фазе нагрузки; P_ϕ, Q_ϕ – активная и реактивная мощности в фазе нагрузки.

Трёхфазная активная мощность: $P = P_a + P_b + P_c$

Трёхфазная реактивная мощность: $Q = Q_a + Q_b + Q_c$

Трёхфазная полная мощность:

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

При подключении потребителей треугольником схема приобретает вид, изображённый на рисунке 2, б. В этом режиме схема соединения фаз симметричного источника питания не играет роли.

На фазах нагрузки находят линейные напряжения источника питания. Фазные токи в нагрузке определяют с помощью закона Ома для участка цепи $\dot{\underline{I}}_\phi = \underline{U}_\phi / z_\phi$, где \underline{U}_ϕ – фазное напряжение на нагрузке (соответствующее линейное напряжение источника питания); z_ϕ – полное сопротивление соответствующей фазы нагрузки.

Токи в линейных проводах определяют через фазные на основании первого закона Кирхгофа для каждого узла (точки a, b, c) схемы, изображённой на рисунке 2, б:

$$\underline{I}_A = \underline{I}_{ab} - \underline{I}_{ca}, \quad \underline{I}_B = \underline{I}_{bc} - \underline{I}_{ab}, \quad \underline{I}_C = \underline{I}_{ca} - \underline{I}_{bc}$$

Задания для самостоятельного решения:

Задание 1.

В трехфазную сеть с действующим значением линейного напряжения $U_{л}=380$ В включена активная нагрузка, соединенная по схеме «звезда». Сопротивление резисторов в фазах А, В, С соответственно равны 15, 15 и 35 Ом. Определить действующие значения напряжений в фазах, если в фазе А произошел разрыв цепи. Построить векторную диаграмму токов и напряжений.

Задание 2.

В трехфазную четырехпроводную сеть с действующим значением линейного напряжения $U_{л}=220$ В включены лампы накаливания. В каждую фазу включены параллельно по 5 ламп мощностью 60 Вт каждая. Определить линейный ток, токи в фазах, ток в нейтральном проводе, сопротивление каждой фазы, напряжение каждой фазы. Построить векторную диаграмму токов и напряжений.

Задание 3.

В трехфазную четырехпроводную сеть с действующим значением линейного напряжения $U_{л}=120$ В включены лампы накаливания. В фазы А и С включено параллельно по 10 ламп мощностью 40 Вт каждая, а в фазу В 16 ламп по 60 Вт каждая. Определить токи через каждую лампу, сопротивление каждой лампы, ток в нейтральном проводе и полную потребляемую мощность. Как изменится ток в нейтральном проводе, если в фазе В отключить половину всех ламп.

Задание 4.

Приемник электрической энергии, соединенный по схеме «треугольник» подключен к трехфазной сети с действующим значением линейного напряжения $U_{л}=220$ В при частоте $f=50$ Гц. В фазе АВ включен конденсатор емкостью $C=116$ мкФ, в фазу ВС резистор с сопротивлением 27,5 Ом и в фазу СА – катушка с индуктивностью $L=87,5$ мГн. Определить действующее значение фазных и линейных токов, полную и реактивную мощность нагрузки. Построить векторную диаграмму токов и напряжений.

Практическое занятие №6

Тема: Электроизмерительные приборы

Цель: Изучение электроизмерительных приборов, используемых в лабораторных работах. Получение представлений о пределе измерения и цене деления, абсолютной и относительной погрешности, условиях эксплуатации и других характеристиках стрелочных электроизмерительных приборов, получение навыков работы с цифровыми измерительными приборами.

Работа оформляется на листах формата А4 (210x297 мм) в соответствии с требованиями государственных стандартов (в печатном виде или написанном от руки).

В работе приводится:

- номер и название работы;
- задание к работе;
- схема электрической цепи;
- исходные данные к расчету в соответствии с вариантом;
- результаты расчетов с краткими комментариями.

Проверенное преподавателем задание должно быть защищено студентом.

Методические указания по выполнению расчетов

Контроль работы электрооборудования осуществляется с помощью разнообразных электроизмерительных приборов. Наиболее распространенными электроизмерительными приборами являются приборы непосредственного отсчета. По виду отсчетного устройства различают аналоговые (стрелочные) и цифровые измерительные приборы.

На лицевой стороне стрелочных приборов изображены условные обозначения, определяющие классификационную группу прибора. Они позволяют правильно выбрать приборы и дают некоторые указания по их эксплуатации.

В цепях постоянного тока для измерений токов и напряжений применяются в основном приборы магнитоэлектрической системы. Принцип действия таких приборов основан на взаимодействии магнитного поля постоянного магнита и измеряемого тока, протекающего по катушке. Угол поворота стрелки α прямо пропорционален измеряемому току I : $\alpha = KI$. Шкалы магнитоэлектрических приборов равномерные.

В измерительных механизмах электромагнитной системы, применяемых для измерений в цепях переменного и постоянного тока, вращающий момент обусловлен действием магнитного поля измеряемого тока в неподвижной катушке прибора на подвижный ферромагнитный якорь. Угол поворота стрелки α здесь пропорционален квадрату тока: $\alpha = KI^2$. Поэтому шкала электромагнитных приборов обычно неравномерная, что является недостатком этих приборов. Начальная часть шкалы не используется для измерений.

Для практического использования измерительного прибора необходимо знать его предел измерений (номинальное значение) и цену деления (постоянную) прибора. Предел измерений – это наибольшее значение электрической величины, которое может быть измерено данным прибором. Это значение обычно указано на лицевой стороне прибора в конце шкалы. Приборы с одним пределом измерения имеют на лицевой панели знак, обозначающий назначение прибора (A, V, mA, μ A, mV, μ V). Один и тот же прибор может иметь несколько пределов измерений.

Ценой деления прибора называется значение измеряемой величины, соответствующее одному делению шкалы прибора. Цена деления прибора легко определяется как отношение предела измерений к числу делений шкалы N :

- Наименование измеряемой величины (ампер, вольт, ватт, ом, герц, коэффициент мощности, фарада, генри)

- Магнитоэлектрический измерительный механизм

- Электромагнитный измерительный механизм

- Магнитоэлектрический измерительный механизм с выпрямителем 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,5; 2,5; 4,0

- Класс точности прибора 60

Рабочее положение шкалы прибора:

горизонтальное; вертикальное; под углом, например 60°

Прибор предназначен для работы в цепи постоянного тока; переменного тока; постоянного и переменного; в трехфазной цепи переменного тока

A (или отсутствие буквы) – прибор для сухих отапливаемых помещений с температурой от +10 °C до +35 °C и влажности до 80 % при 30 °C;

Б – прибор для закрытых не отапливаемых помещений с температурой от –30 °C до +40 °C и влажности до 90 % при 30 °C;

В – приборы для полевых и морских условий:

B1 – при температуре от –40 °C до +50 °C и B2 – при температуре от –50 °C до +60 °C и влажности до 95 % при 35 °C;

ВЗ – при температуре от –40 °С до +50 °С и влажности до 98 % при 40 °С.

нием, например, 2 кВ

30–200 Hz Рабочий частотный диапазон прибора

На лицевой стороне стрелочных приборов указывается класс точности, который определяет приведенную относительную погрешность прибора $\gamma_{\text{ПР}}$. Приведенная относительная погрешность прибора – это выраженное в процентах отношение максимальной для данного прибора абсолютной погрешности ΔA к номинальному значению прибора (пределу измерений) АНОМ:

$$\gamma_{\text{ПР}} = 100 \Delta A / \text{АНОМ} \%$$

Промышленность в соответствии с ГОСТ выпускает приборы с различными 12 классами точности (0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,5; 2,5; 4,0).

Задание для самостоятельной работы:

Изучите паспортные характеристики стрелочных электроизмерительных приборов.

Для этого внимательно рассмотрите лицевые панели стрелочных амперметров, обратив внимание на построение измерительной шкалы, условные знаки и заполните таблицу 5.1.

Таблица 5.1 - Характеристика стрелочного электроизмерительного прибора

1	Наименование прибора (Амперметр ,Вольтметр)	
2	Тип прибора	
3	Система измерительного механизма	
4	Предел измерения (номинальное значение)	
5	Цена деления	
6	Минимальное значение измеряемой величины	
7	Класс точности	
8	Допустимая погрешность	максимальная абсолютная
9	Род тока	
10	Нормальное положение шкалы	

Ответьте на вопросы:

1. Какова конструкция и принцип действия приборов магнитоэлектрической и электромагнитной систем?
2. Каковы основные достоинства и недостатки приборов магнитоэлектрической и электромагнитной систем?
3. Что такое предел измерения?
4. Как определяется цена деления прибора?
5. Что такое абсолютная и относительная погрешности измерения? стрелочного прибора?
7. Как рассчитать относительную погрешность измерения стрелочного прибора в любой точке шкалы прибора?
8. В какой части шкалы прибора измерения точнее и почему?
9. Что характеризует класс точности прибора?
10. Каковы основные достоинства цифровых измерительных приборов?
11. Как определяется погрешность измерений цифрового прибора?

Практическое занятие №7

Тема: Изучение однофазных трансформаторов

Цель: Изучить расчёт основных параметров однофазного трансформатора

Работа оформляется на листах формата А4 (210x297 мм) в соответствии с требованиями государственных стандартов (в печатном виде или написанном от руки).

В работе приводится:

- номер и название работы;
- задание к работе;
- схема электрической цепи;
- исходные данные к расчету в соответствии с вариантом;
- результаты расчетов с краткими комментариями.

Проверенное преподавателем задание должно быть защищено студентом.

Методические указания по выполнению расчетов

Следует напомнить, что трансформатором называется статическое (т. е. без движущихся частей) электромагнитное устройство, предназначенное чаще всего для преобразования одного переменного напряжения в другое (или в другие) напряжение той же частоты, но другой величины. Трансформаторы бывают повышающие и понижающие. Трансформатор имеет не менее двух обмоток с общим магнитопроводом, которые электрически изолированы друг от друга (за исключением автотрансформаторов).

Для усиления индуктивной связи и снижения влияния вихревых токов первичные и вторичные обмотки трансформаторов размещаются на магнитопроводе, собранном из листовой электротехнической стали. Магнитопровод отсутствует только в воздушных трансформаторах, которые применяются, когда частота свыше 20 кГц, при которой магнитопровод практически не намагничивается из-за значительного увеличения вихревых токов.

На электрических станциях (в месте производства электрической энергии) выгодно повышать напряжение до десятков, сотен тысяч вольт и выше (35, 110, 220, 330, 500, 750 кВ и выше), так как чем выше напряжение, тем меньше ток при той же передаваемой мощности, следовательно, требуется меньшее сечение проводов линии передачи. Далее электрическую энергию передают по проводам к расположенным в районах потребления понижающим подстанциям, где напряжение понижается до 6, 10 кВ. Эти напряжения используются для питания мощных электродвигателей и приемников, а также трансформаторов, понижающих напряжение до 380, 220 В.

Порядок выполнения расчета:

Задача

Однофазный трансформатор ОМ-6667/35 работает как понижающий. Пользуясь его техническими данными приведенными в таблице 7.1, рассчитать: коэффициент трансформации; номинальные токи первичной вторичной обмоток; напряжение на вторичной обмотке U_2 при активно-индуктивной нагрузке, составляющей 50% ($\beta=0,5$) от номинальной и $\cos\varphi_2=0,8$; к.п.д. при $\cos\varphi_2=0,9$ и нагрузке, составляющей 75% ($\beta=0,75$) от номинальной.

Таблица 7.1

Тип транс- форматора	S_n , кВА	U_{1n} , кВ	U_{2n} , кВ	P_0 , кВт	P_k , кВт	U_k , %	I_0 , %
ОМ-6667/35	6667	35	10	17	53,5	8	3
ТС-180/10	180	10	0,525	1,6	3	5,5	4

Решение. Коэффициентом трансформации называется отношение высшего напряжения к низшему в режиме холостого хода независимо от того, является ли трансформатор повышающим или понижающим:

$$n = \frac{U_{1н}}{U_{2н}} = \frac{35}{10} = 3,5$$

Номинальные токи первичной и вторичной обмоток определим из формулы номинальной мощности трансформатора:

$$S_{н} = U_{2н} I_{2н} \approx U_{1н} I_{1н};$$

$$I_{1н} = \frac{S_{н}}{U_{1н}} = \frac{6667}{35} = 190,5 \text{ A};$$

$$I_{2н} = \frac{S_{н}}{U_{2н}} = \frac{6667}{10} = 666,7 \text{ A}$$

Активно-индуктивная нагрузка трансформатора приводит к снижению напряжения на его вторичной обмотке U_2 , которое можно найти из формулы процентного изменения напряжения

$$\Delta U = \left[\frac{U_{2н} - U_2}{U_{2н}} \right] 100 \approx \beta (U_a \cos \varphi_2 + U_p \sin \varphi_2) = 2,7\%$$

где: ΔU – процентное изменение напряжения (в трансформаторах ΔU не

$$\beta = \frac{I}{I_{н}} = \frac{S}{S_{н}}$$

превышает 1÷6%); $I_{н}$ – коэффициент нагрузки; U_a и U_p – активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания, выраженные в

$$U_a = \left(\frac{P_{к1}}{S_{н}} \right) 100\% = \left(\frac{53,5}{6667} \right) 100\% = 0,8\%$$

процентах

$$; U_p = \sqrt{U_k^2 - U_a^2} = \sqrt{8^2 - 0,8^2} = 7,95\%$$

Следовательно,

$$U_2 = U_{2н} \left[1 - \frac{\Delta U}{100} \right] = 10000 [1 - 0,027] = 6793 \text{ В}$$

К.п.д. трансформатора

$$\eta = \frac{P_в}{P_1} 100\% = \frac{P_1 (P_0 + \beta^2 P_k)}{P_1} = 1 - \frac{P_0 + \beta^2 P_k}{P_1} = \frac{\beta S_{н} \cos \varphi_2}{\beta S_{н} \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_k} 100\% =$$

$$= \left(1 - \frac{P_0 + \beta^2 P_k}{\beta S_{н} \cos \varphi_2 + P_0 + \beta^2 P_k} \right) 100\% = \left(1 - \frac{17 + 0,75^2 \times 53,5}{0,75 \times 6667 \times 0,9 + 17 + 0,75^2 \times 53,5} \right) 100\% = 99\%$$

где: P_0 – мощность потерь при холостом ходе, равная сумме потерь в стали на гистерезис и вихревые токи; P_k – мощность потерь в обмотках при коротком замыкании (при нагрузке, отличной от номинальной, мощность потерь в обмотках $P\beta = \beta^2 P_k$).

В современных трансформаторах, особенно мощных, при номинальной нагрузке η равно 98 – 99%.

Задание для самостоятельного решения:

Решите задачу

Однофазный трансформатор номинальной мощностью 400 В·А имеет активное сопротивление первичной обмотки $R_1=1,875 \text{ Ом}$.

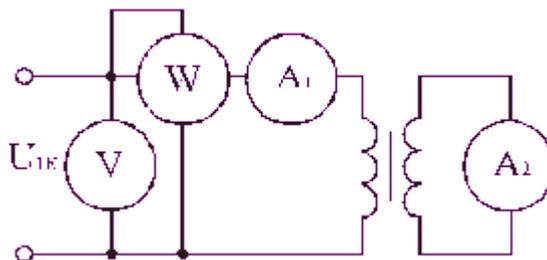


Рисунок 7.1.

В опыте короткого замыкания (рис. 7.1), трансформатора замерено напряжение на входе $U_{1к}=10 \text{ В}$, при котором токи в первичной и вторичной обмотках равны номинальным: $I_1=2 \text{ А}$, $I_2=10 \text{ А}$. Ваттметр показал $P_k=15 \text{ Вт}$. Определить, какую долю от номинального значения составляет напряжение короткого замыкания, активное сопротивление вторичной обмотки.

Лабораторное занятие №1

Тема: Изучение последовательного и параллельного соединения проводников

Цель: проверить справедливость законов электрического тока для последовательного и параллельного соединения проводников.

Оборудование: источник тока, два проволочных резистора, амперметр, вольтметр, реостат

Работа оформляется на листах формата А4 (210x297 мм) в соответствии с требованиями государственных стандартов (в печатном виде или написанном от руки).

В работе приводится:

- номер и название работы;
- задание к работе;
- схема электрической цепи;
- исходные данные к расчету в соответствии с вариантом;
- результаты расчетов с краткими комментариями.

Проверенное преподавателем задание должно быть защищено студентом.

Задание для самостоятельной работы

Порядок выполнения работы:

1. Для изучения распределения сил токов и напряжений при последовательном соединении проводников экспериментатор собрал электрическую цепь, показанную на рисунке 1, и получил распределение

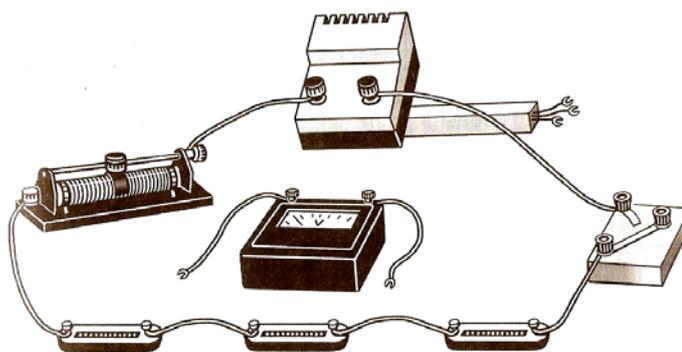


рис. 1

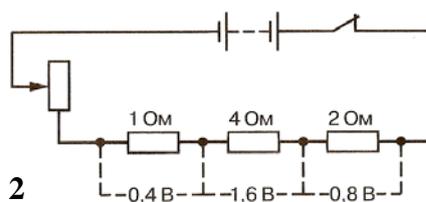


рис. 2

напряжений, показанное на рисунке 2.

Пользуясь законами электрического тока для последовательного соединения проводников, определите общее сопротивление и напряжение цепи, а также силу электрического тока в цепи.

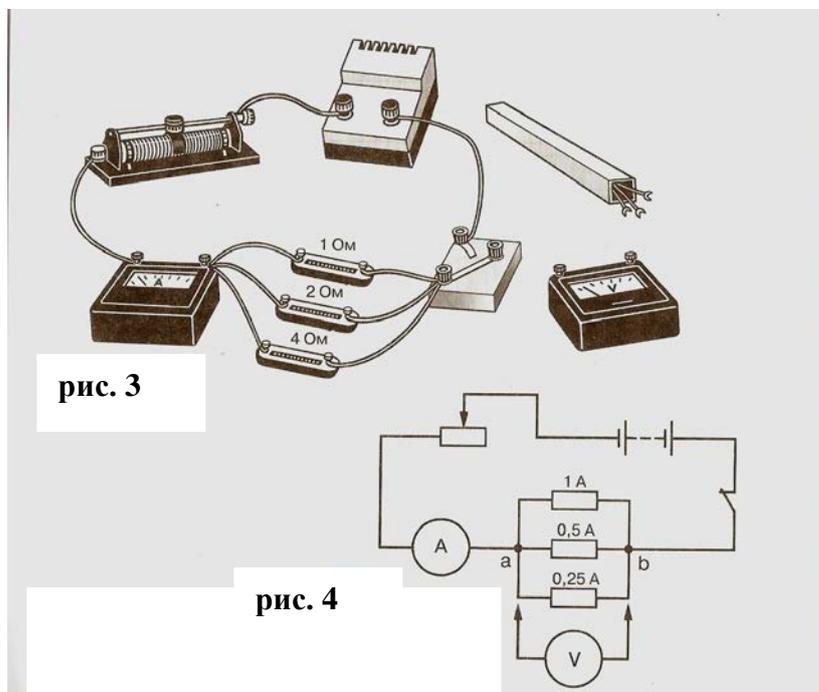
Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу

Сопротивление резистора				Напряжение на резисторе				Сила тока I в цепи
R_1	R_2	R_3	$R_{\text{общ}}$	U_1	U_2	U_3	$U_{\text{общ}}$	

2. Для изучения распределения токов и напряжений при параллельном соединении проводников экспериментатор собрал электрическую цепь, показанную на рисунке 3, и получил распределение токов, приведенное на рисунке 4.

Пользуясь законами электрического тока для параллельного соединения проводников, определите общее сопротивление и силу электрического тока, а также напряжение на резисторах.

Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу



Сопротивление резистора	Сила электрического тока в цепи	Напряжение

R_1	R_2	R_3	$R_{общ}$	I_1	I_2	I_3	$I_{общ}$	U на резисторе

Проведение эксперимента и обработка результатов:

1. Соберите электрическую цепь (рис. 5) и с помощью реостата установите стрелку амперметра на определенное деление.
2. Измерьте вольтметром напряжение в общей цепи и на отдельных потребителях.

Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу:

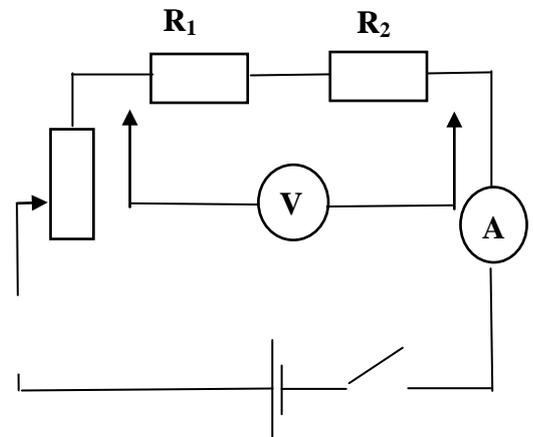


рис. 5

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

3. Соберите электрическую цепь (рис. 6) и с помощью реостата установите стрелку вольтметра на определенное деление шкалы.
4. Измерьте поочередно амперметром силу электрического тока в общей цепи и в цепях отдельных потребителей.

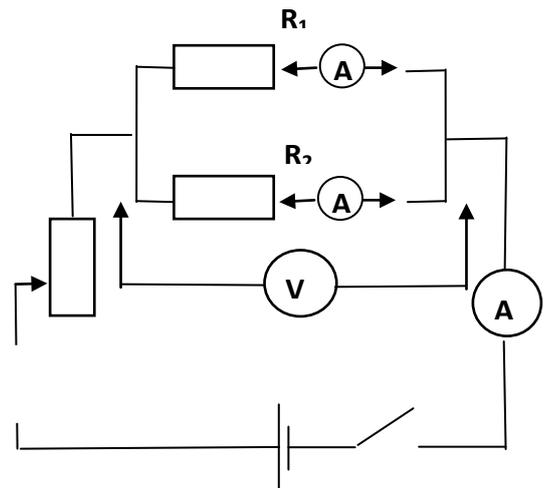


рис. 6

Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу:

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

5. Проведите расчеты по результатам эксперимента.
6. На основании проведенных опытов, сделайте вывод о том, выполняются ли законы электрического тока для последовательного и параллельного соединений проводников.

Лабораторное занятие №2

Тема: Исследование резонанса токов

Цель: исследование резонансных явлений в электрической цепи переменного тока.

Работа оформляется на листах формата А4 (210x297 мм) в соответствии с требованиями государственных стандартов (в печатном виде или написанном от руки).

В работе приводится:

- номер и название работы;
- задание к работе;
- схема электрической цепи;
- исходные данные к расчету в соответствии с вариантом;
- результаты расчетов с краткими комментариями.

Проверенное преподавателем задание должно быть защищено студентом.

Методические указания по выполнению работы:

Резонансом называется явление, при котором в колебательном контуре частота свободных колебаний совпадает с частотой вынужденных колебаний. В электричестве аналогом колебательного контура служит цепь, состоящая из сопротивления, ёмкости и индуктивности. В зависимости от того как они соединены различают резонанс напряжений и резонанс токов.

Резонанс токов возникает в цепи с параллельно соединёнными катушкой резистором и конденсатором (Рисунок 1)

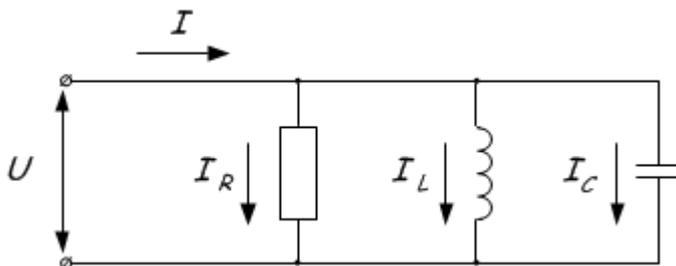


Рисунок 1 – Схема параллельного соединения RLC элементов

Условием возникновения резонанса токов является равенство частоты источника резонансной частоте $\omega = \omega_p$, следовательно, проводимости $B_L = B_C$. То есть при резонансе токов, ёмкостная и индуктивная проводимости равны.

Для наглядности графика, на время отвлечёмся от проводимости и перейдём к сопротивлению. При увеличении частоты полное сопротивление цепи растёт, а ток уменьшается. В момент, когда частота равна резонансной, сопротивление Z максимально, следовательно, ток в цепи принимает наименьшее значение и равен активной составляющей.

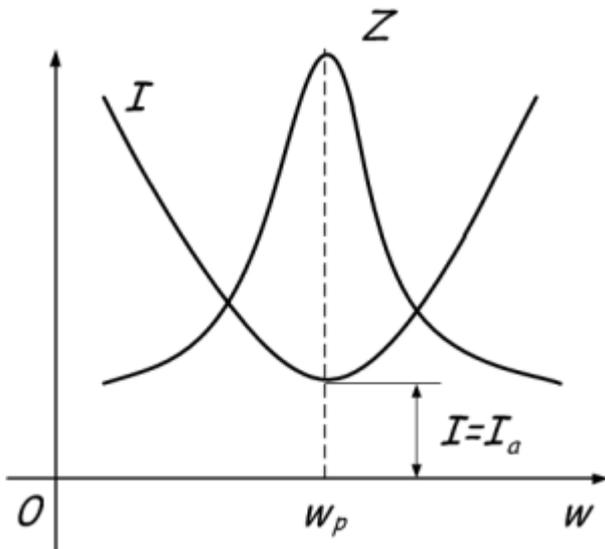


Рисунок 2 – Резонансные кривые

Выразим резонансную частоту

$$G = \frac{1}{R}; \quad B_L = \frac{1}{\omega L}; \quad B_C = \omega C$$

$$\frac{1}{\omega L} = \omega C$$

$$\omega_p = \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

Явление резонанса может носить как положительный, так и отрицательный характер. Например, любой радиоприемник имеет в своей основе колебательный контур, который с помощью изменения индуктивности или емкости настраивают на нужную радиоволну. С другой стороны, явление резонанса может привести к скачкам напряжения или тока в цепи, что в свою очередь приводит к аварии.

Задание для самостоятельной работы

Схема электрической цепи

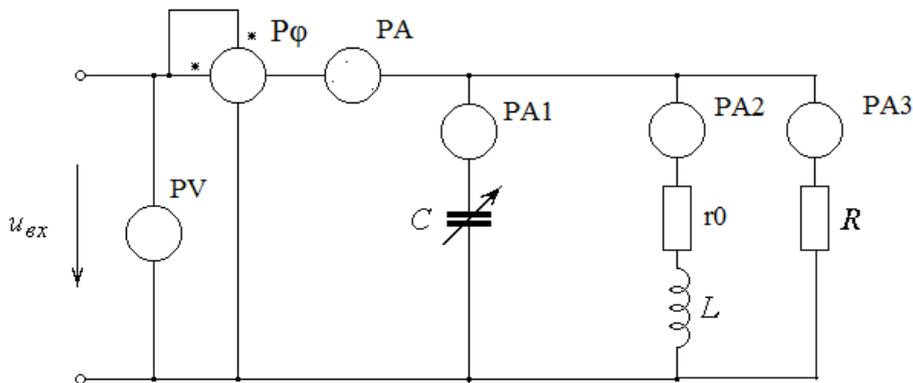


Рисунок 3 – Схема электрическая

Векторная диаграмма резонанса токов в цепи (рисунок 3) имеет вид:

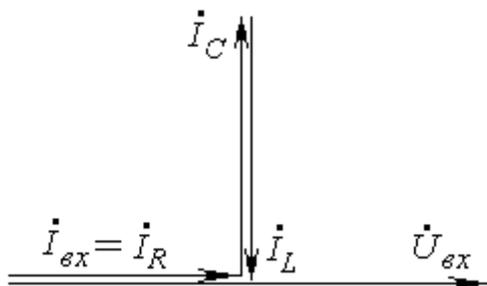


Рисунок 4 - Векторная диаграмма резонанса токов.

Таблица 1 – данные исследования

Измеренные данные							Расчетные данные				
Вид явления	U, В	I ₁ , А	I ₂ , А	I ₃ , А	I, А	Cos φ	φ	Z, Ом	X _L , Ом	X _C , Ом	R, Ом
Дорезонансное явление											
Резонансное явление											
Послерезонансное явление											

План работы:

1. Собрать электрическую схему, указанную на рисунке 3.
2. Показать цепь преподавателю для проверки.
3. Подать питание на схему, установить необходимое напряжение (200В)
4. Снять показания в первую строку таблицы 1 (дорезонансное явление)
5. Изменяя емкость конденсатора, добиться резонанса токов, записать показания приборов в таблицу 1 (резонансное явление)
6. Увеличивать емкость конденсаторов до максимального его значения, записать показания приборов в таблицу 1 (послерезонансное явление)
7. По расчетным формулам найти сопротивления элементов.
8. Сделать вывод (в выводе сравнить дорезонансные, резонансные и послерезонансные явления)

Расчетные формулы

$$Z = U/I$$

$$X_L = \omega \cdot L = 2\pi \cdot f \cdot L,$$

$$X_C = U/I, \text{ Ом}, \quad C = 1/2\pi f \cdot X_C, \text{ Ф.}$$

Лабораторное занятие №3

Тема: Соединение «звезда» в трёхфазной системе переменного тока

Цель: Ознакомиться с трёхфазными системами, измерением фазных и линейных токов и напряжений. Проверить основные соотношения между токами и напряжениями симметричного и несимметричного трёхфазного потребителя. Выяснить роль нулевого провода.

Работа оформляется на листах формата А4 (210x297 мм) в соответствии с требованиями государственных стандартов (в печатном виде или написанном от руки).

В работе приводится:

- номер и название работы;
- задание к работе;
- схема электрической цепи;
- исходные данные к расчету в соответствии с вариантом;
- результаты расчетов с краткими комментариями.

Проверенное преподавателем задание должно быть защищено студентом.

Задание для самостоятельной работы:

1) Установить на мультиметре режим измерения переменного напряжения. Измерить линейные и фазные напряжения трёхфазного источника питания на холостом ходу. Вычислить средние значения линейных U_l и фазных U_ϕ напряжений и отношение U_l / U_ϕ . Результаты занести в таблицу 1:

Измерено на клеммах источника питания						Вычислено		
Линейные напряжения			Фазные напряжения			U _л , В	U _ф , В	U _л / U _ф
U _{АВ} , В	U _{ВС} , В	U _{АС} , В	U _А , В	U _В , В	U _С , В			

2) Собрать симметричную трёхфазную цепь. Измерить токи, фазные и линейные напряжения для указанных случаев. Собрать несимметричную трёхфазную цепь. Измерить токи, фазные и линейные напряжения для указанных случаев. Результаты занести в таблицу 2.

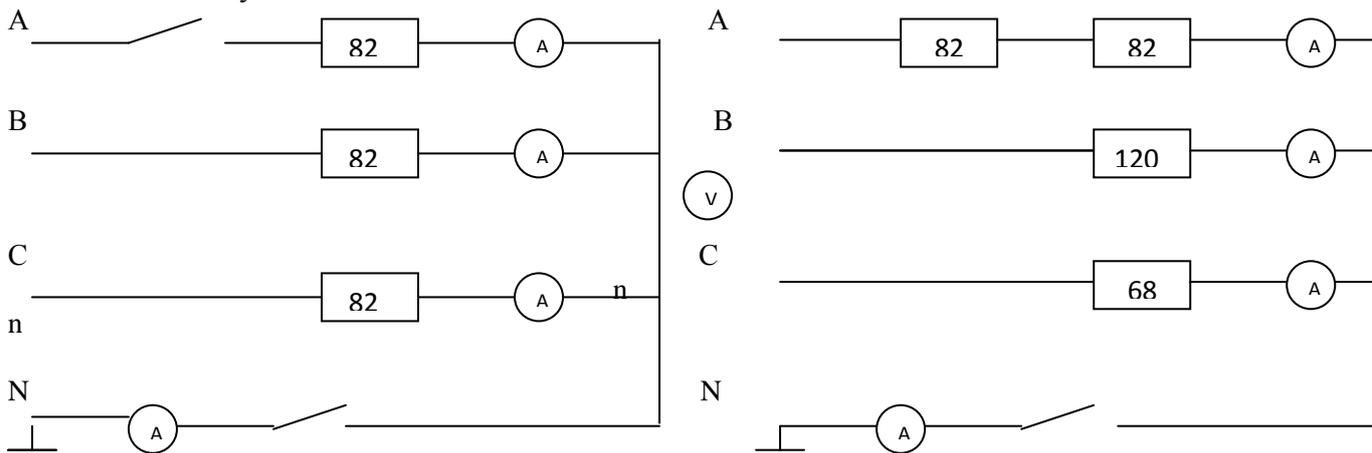


Таблица 2:

Режим нагрузки	Токи, мА				Напряжения, В							
	I _A	I _B	I _C	I ₀	Фазные			Линейные			U _{nN}	
					U _{An}	U _{Bn}	U _{Cn}	U _{AB}	U _{BC}	U _{CA}		
Нейтральный провод включен, нагрузка симметричная												

Нейтральный провод выключен, нагрузка симметричная											
Нейтральный провод включен, обрыв линейного провода											
Нейтральный провод включен, нагрузка несимметричная											
Нейтральный провод выключен, нагрузка несимметричная											

3) Сделать вывод о роли нейтрального провода в трёхфазной цепи при соединении потребителей по схеме «звезда».

Лабораторное занятие №4

Тема: Исследование работы асинхронного двигателя

Цель: Изучить конструкцию трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, усвоить приемы опытной проверки обозначений выводов обмотки статора и экспериментального исследования асинхронного двигателя методом непосредственной нагрузки.

Работа оформляется на листах формата А4 (210x297 мм) в соответствии с требованиями государственных стандартов (в печатном виде или написанном от руки).

В работе приводится:

- номер и название работы;
- задание к работе;
- схема электрической цепи;
- исходные данные к расчету в соответствии с вариантом;
- результаты расчетов с краткими комментариями.

Проверенное преподавателем задание должно быть защищено студентом.

Методические указания по выполнению расчетов

Ознакомиться с конструкцией двигателя и устройством для его нагрузки; записать паспортные данные двигателя и данные измерительных приборов и регулировочных устройств.

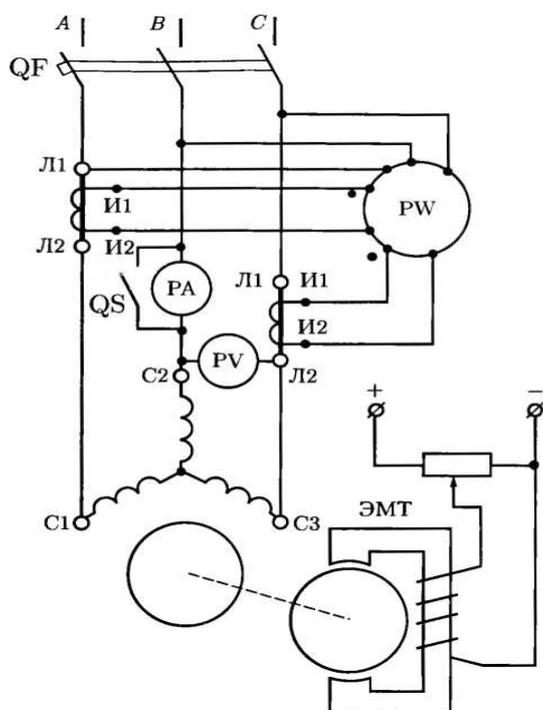


Рисунок. 1.1. Схема включения трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Экспериментально проверить обозначение выводов обмотки статора.

Собрать схему по рис. 1.1 и после проверки ее преподавателем произвести пробный пуск и реверсирование двигателя.

Снять данные и построить рабочие характеристики двигателя.

Составить отчет и сделать заключение о проделанной работе.

Подготовка к работе.

Повторить теоретический материал: принцип действия и устройство трехфазного асинхронного двигателя; понятие о скольжении; электромагнитный момент асинхронного двигателя; зависимость момента от скольжения; перегрузочная способность асинхронного двигателя; рабочие характеристики трехфазного асинхронного двигателя.

Порядок выполнения работы

Проверка выводов обмотки статора. Для правильного соединения обмотки статора в «звезду» или «треугольник» необходимо точно знать маркировку выводов обмотки статора. Это делают следующим образом. Сначала определяют выводы каждой фазной обмотки статора с помощью «сигнальной» лампы, включенной, как это показано на рис. 5.2, а. Прикоснувшись концом одного из проводов этой лампы какого-либо вывода обмотки статора, концом другого провода, подключенного к сети, касаются поочередно других выводов обмотки. При прикосновении к одному из выводов лампа загорается. Это свидетельствует о том, что пара выводов, которых касаются в данный момент концы проводов, принадлежит одной фазной обмотке. Эту пару выводов отмечают и переходят к отысканию выводов второй, а потом и третьей фазных обмоток.

Затем определяют начала и концы каждой фазной обмотки. Для этого, обозначив произвольно начала и концы всех трехфазных обмоток, соединяют последовательно какие-либо две из них (например, фазные обмотки *A* и *B*), как это показано на схеме рис. 1.2, б, и подключают их к источнику переменного тока. Последовательно в цепь включают резистор r такого сопротивления, чтобы ток в цепи этих обмоток не превысил номинального значения. К оставшейся третьей фазной обмотке подключают вольтметр (можно воспользоваться «сигнальной» лампой.)

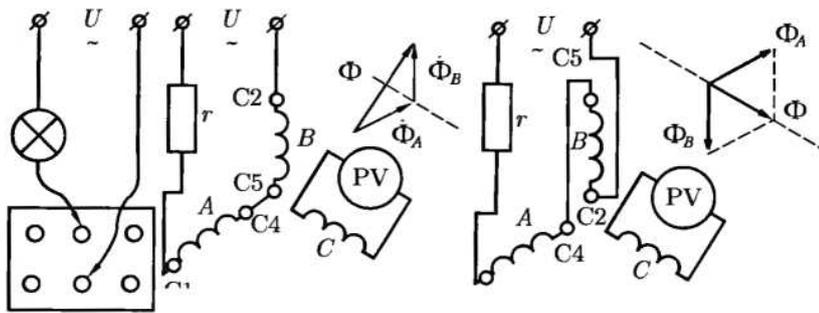


Рисунок 1.2. Схемы для определения и маркировки выводов фазных обмоток статора.

Если предварительная маркировка выводов обмоток A и B была *правильной*, то вольтметр, подключенный к выводам фазы C , не покажет напряжения (лампа не загорится). Объясняется это тем, что ось результирующего потока фазных обмоток A и B $\Phi = \Phi_A + \Phi_B$ направлена под углом 90° к оси фазной обмотки C и поэтому не наводит в ней ЭДС.

Если же предварительная маркировка выводов одной из обмоток, например обмотки B , оказалась *неправильной* и схема имела вид, представленный на рис. 5.2, *в*, то ось результирующего потока обмоток A и B совпадает с осью фазной обмотки C и наводит в этой обмотке некоторую ЭДС, при этом вольтметр на выводах обмотки C покажет напряжение (лампа загорится).

Схема включения и пробный пуск двигателя. Схема включения двигателя (см. рис. 1.1) содержит двухэлементный ваттметр PW , предназначенный для измерения активной мощности, потребляемой двигателем из сет-и. Токовые катушки этого ваттметра включены в сеть через измерительные трансформаторы тока.

После проверки схемы преподавателем осуществляют пробный пуск двигателя включением автомата QF . Предварительно следует замкнуть ключ QS , шунтирующий амперметр PA с целью предохранения его от чрезмерно большого пускового тока двигателя. Затем двигатель отключают от сети и меняют местами любую пару проводов, соединяющих обмотку статора с сетью. В этом случае вращающееся поле статора при включении обмотки статора в сеть будет вращаться в направлении, противоположном тому, какое было до переключения проводов. Другими словами, произойдет *реверсирование* двигателя, т.е. его ротор будет вращаться в другую сторону.

Снятие данных и построение рабочих характеристик. Посредством автомата QF (при замкнутом ключе QS) включают двигатель в сеть (см. рис. 1.1). Затем размыкают ключ QS с помощью электромагнитного тормоза (ЭМТ) либо другого нагрузочного устройства создают на валу двигателя нагрузочный момент M_2 и увеличивают его до тех пор, пока ток в цепи статора не достигнет значения $I_s = 1,2 I_{ном}$. При этом через приблизительно одинаковые интервалы тока I_s снимают показания приборов и заносят их в табл. 1.1. Первый отсчет по приборам делают в режиме холостого хода ($M_2 = 0$). Необходимо снять не менее пяти показаний, одно из них должно соответствовать номинальному режиму ($D = I_{ном}$). Затем выполняют расчеты.

Задание для самостоятельной работы:

Выполнить расчёты:

подводимая к двигателю мощность (Вт)

$$P_s = P / k_T C_w; \quad (5.1)$$

где k , — коэффициент трансформации трансформатора тока; C_w — цена деления ваттметра, Вт/дел.;

Таблица 1.1

Номер	Измерения	Вычисления
-------	-----------	------------

измерен	$u, В$	$i, А$	$P, Вт$	$\cos \varphi$	$M_2, Н \cdot м$	$n_2, об/мин$	s	η	τ

полезная мощность двигателя — мощность на валу (Вт)

$$P_2 = 0,105 M_2 n_2, \quad (5.2)$$

где n_2 — частота вращения ротора, об/мин; M_2 — нагрузочный момент, Н · м; если M_2 измерен в устаревших единицах кгс · м, то

$$P_2 = 0,105 \cdot (\quad 5 \quad \cdot \quad 3 \quad)$$

КПД двигателя

$$\eta = (P_2/P_1)100; \quad (5.4)$$

коэффициент мощности

$$\cos \varphi = P_x / (L U_3 C / j / j); \quad (5.5)$$

скольжение

$$s = (u_0 - u) / u_0. \quad (5.6)$$

По данным табл. 1.1 строят рабочие характеристики двигателя (на одной координатной сетке): i ; n_2 ; M_2 ; η и $\cos \varphi$, $\tau = P_2 / P_1$, примерный вид которых показан на рис. 5.3.

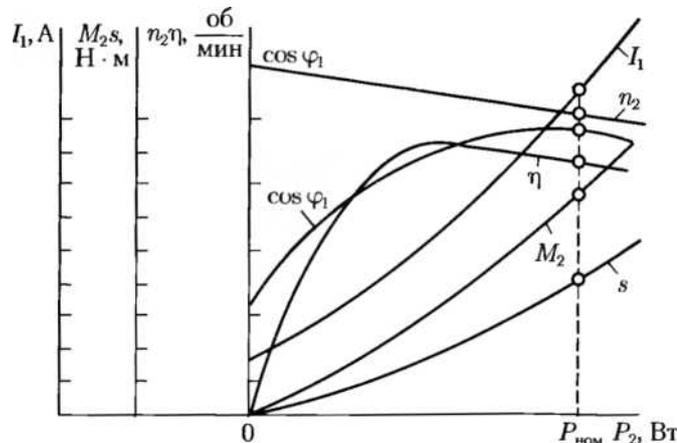


Рис. 1.3. Рабочие характеристики трехфазного асинхронного двигателя

При анализе результатов лабораторной работы в первую очередь следует сделать заключение о соответствии данных номинального режима исследуемого двигателя, полученных экспериментально, его паспортным данным. Затем, анализируя рабочие характеристики, нужно объяснить вид полученных графиков. Например, график тока $i_1 = f(P_2)$ не выходит из начала координат, так как в режиме холостого хода двигатель потребляет из сети ток холостого хода i_{10} , обусловленный потерями холостого хода.

Характеристика частоты вращения $n_2 = f(P_2)$ имеет падающий вид, т. е. с ростом нагрузки частота вращения ротора уменьшается. При этом чем больше активное сопротивление обмотки ротора r_2 , тем больше наклон этой характеристики к оси абсцисс, так как увеличение этого сопротивления вызывает возрастание электрических потерь в цепи ротора, а, следовательно, и скольжения, значение которого пропорционально электрическим потерям в роторе.

Небольшое значение коэффициента мощности в зоне малых нагрузок двигателя объясняется тем, что в режиме холостого хода и при небольшой нагрузке двигателя ток статора меньше номинального и в значительной части является намагничивающим током, имеющим фазовый сдвиг относительно напряжения сети, близкий к 90° . Значительная величина намагничивающего тока в асинхронных двигателях обусловлена наличием воздушного зазора между статором и ротором. С повышением нагрузки двигателя ток, потребляемый двигателем из сети, увеличивается в основном за счет активной составляющей, что и способствует росту коэффициента мощности.

Лабораторное занятие №5

Тема: Исследование работы электродвигателя постоянного тока

Цель: Ознакомиться с основными деталями электрического двигателя постоянного тока на модели этого двигателя.

Работа оформляется на листах формата А4 (210x297 мм) в соответствии с требованиями государственных стандартов (в печатном виде или написанном от руки).

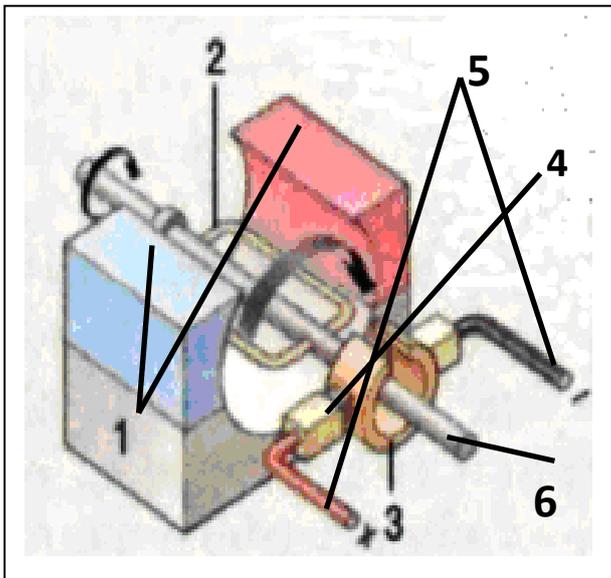
В работе приводится:

- номер и название работы;
- задание к работе;
- схема электрической цепи;
- исходные данные к расчету в соответствии с вариантом;
- результаты расчетов с краткими комментариями.

Проверенное преподавателем задание должно быть защищено студентом.

Задание для самостоятельной работы:

1. Рассмотрите модель электродвигателя. Напишите название его основных частей. (по рисунку)



2. Подключите к модели электродвигателя источник питания и приведите двигатель во вращение. Если двигатель не работает, найдите причины и устраните их. Заметьте направление вращения электродвигателя.
3. Измените направление тока в цепи. Наблюдайте за вращением подвижной части электродвигателя. Почему оно не изменилось? Предложите способ, как можно изменить направление вращения, добейтесь этого.
4. Напишите, что такое:

Якорь - _____

Индуктор (или статор) - _____

Выводы:

Ответьте на вопросы

1. Как будут взаимодействовать проводники с током, если
 - ток протекает в одном направлении, то проводники будут _____
 - ток протекает в разных направлениях, то проводники будут _____
2. От чего зависит направление движения проводника с током помещенного между полюсами магнита? _____
3. На каком явлении основан принцип действия электрического двигателя?

4. В каких приборах и в каких машинах на транспорте используют электрический двигатель? _____
5. Каковы преимущества электрических двигателей по сравнению с тепловыми?

