

Министерство образования Иркутской области
ГБПОУ ИО «Бодайбинский горный техникум»

Утверждаю:
Зам. директора по УР
Шпак М.Е.
« 01 » сентября 2016 г



МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению лабораторных, практических работ
ОП 02. Электротехника и электроника

Специальности: 13.02.11 Техническая
эксплуатация и обслуживание
электрического и
электромеханического
оборудования (по отраслям)

Форма обучения: Очная, заочная

Рекомендовано методическим советом
ГБПОУ ИО «Бодайбинский горный техникум»
Заключение методического совета,
протокол № 9 от 01.09.2016 г.
председатель методсовета



Бодайбо, 2016 г.

Учебно-практическое пособие предназначено для выполнения лабораторно-практических работ и разработано на основе ФГОС СПО, утвержденного приказом Минобрнауки России от 28.07.2014 №831 «Об утверждении федерального государственного стандарта среднего профессионального образования по ППСЗ (программе подготовке специалистов среднего звена) 13.02.11 Техническая эксплуатация электрического и электромеханического оборудования (по отраслям), укрупненная 13.00.00 Электро- и теплоэнергетика.

Разработчик:

Грязнов А.В., преподаватель специальных дисциплин

Рассмотрено на заседании П(Ц)К по Электромеханическим дисциплинам

Протокол № 1 от «31» 08 2016 года



Учебно-практическое пособие предназначено для студентов специальности 13.02.11 Техническая эксплуатация электрического и электромеханического оборудования (по отраслям) и соответствует программе учебной дисциплины ОП 02. Электротехника и электроника.

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	Выполнять наладку, регулировку и проверку электрического и электромеханического оборудования
ПК 1.2	Организовывать и выполнять техническое обслуживание и ремонт электрического и электромеханического оборудования
ПК 1.3	Осуществлять диагностику и технический контроль при эксплуатации электрического и электромеханического оборудования
ПК 1.4	Составлять отчетную документацию по техническому обслуживанию и ремонту электрического и электромеханического оборудования
ОК 1.	Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес
ОК 2.	Организовывать собственную деятельность, выбирать типовые методы и способы выполнения профессиональных задач, оценивать их эффективность и качество
ОК 3.	Принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях и нести за них ответственность
ОК 4.	Осуществлять поиск и использование информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач, профессионального и личностного развития
ОК 5.	Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности
ОК 6.	Работать в коллективе и в команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, потребителями
ОК 7.	Брать на себя ответственность за работу членов команды (подчиненных), за результат выполнения заданий
ОК 8.	Самостоятельно определять задачи профессионального и личностного развития, заниматься самообразованием, осознанно планировать повышение квалификации
ОК 9.	Ориентироваться в условиях частой смены технологий в профессиональной деятельности
ОК 10.	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

Лабораторно-графические, лабораторные и практические работы	Объем, м, часов
<i>Практическая работа №1. «Расчёт электрической цепи»</i>	2
<i>Практическая работа №2. «Расчёт сложных электрических цепей»</i>	2
<i>Лабораторная работа №1. «Последовательное соединение проводников»</i>	2
<i>Лабораторная работа №2. «Параллельное соединение резисторов»</i>	2
<i>Лабораторная работа №3. «Исследование режимов работы и методов расчета линейных цепей постоянного тока с двумя источниками питания»</i>	2
<i>Практическая работа № 3. «Расчёт магнитной цепи»</i>	2
<i>Практическая работа №4. «Расчет цепи переменного тока»</i>	2
<i>Практическая работа №5. «Резонанс токов и напряжений»</i>	2
<i>Практическая работа №6. «Получение трехфазного тока»</i>	2
<i>Лабораторная работа №4. «Последовательное соединение проводников»</i>	2
<i>Лабораторная работа №5. «Соединение «звезда» в трёхфазной системе переменного тока»</i>	2
<i>Лабораторная работа №6. «Параллельное соединение катушки индуктивности и конденсатора»</i>	2
<i>Лабораторная работа №7. «Соединение «звезда» в трёхфазной системе переменного тока»</i>	2
<i>Практическая работа №7. «Электроизмерительные приборы»</i>	2
<i>Практическая работа №8. «Изучение однофазных трансформаторов»</i>	2
<i>Практическая работа №9. «Изучение асинхронного э/двигателя»</i>	2
<i>Практическая работа №10. «Изучение э/двигателей пост. тока»</i>	2
<i>Практическая работа №11. «Основы электропривода»</i>	2
<i>Практическая работа №12 «Микропроцессоры»</i>	2
<i>Лабораторная работа №8 «Изучение силовых диодов»</i>	2
<i>Лабораторная работа №9 «Изучение тиристорov»</i>	2
<i>Лабораторная работа №10 «Изучение биполярных транзисторов»</i>	2
<i>Лабораторная работа №11 «Изучение выпрямительных устройств»</i>	2
<i>Лабораторная работа №12 «Изучение управляемых выпрямительных устройств»</i>	2
<i>Лабораторная работа №13 «Изучение усилительных устройств»</i>	2
Всего	50

Практическое занятие №1

Тема: Расчёт электрической цепи

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

Электрическую цепь и исходные числовые значения ЭДС и сопротивлений студенты выбирают в соответствии с номером варианта.

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.

Пример оформления титульного листа работы приведен в приложении 1. 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.

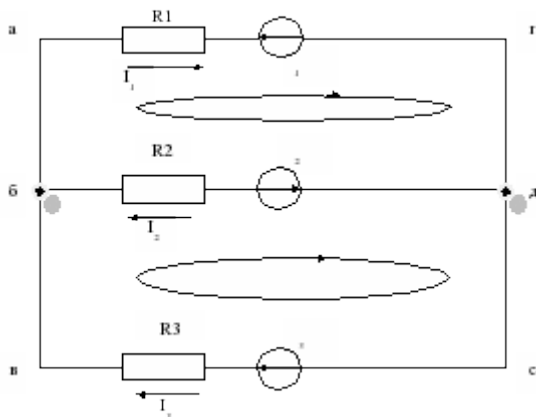
Пример выполненного задания

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; $\varepsilon_1 = 5,7$ В, $\varepsilon_2 = 4,5$ В, $\varepsilon_3 = 2,7$ 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:

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

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

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

Решая систему, получили токи в ветвях:

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

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

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

Знак «-» в значении тока I 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:

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

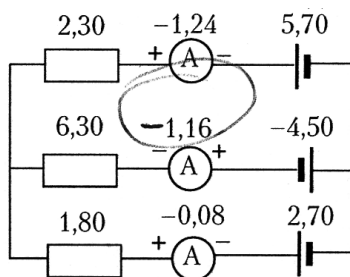
$$P_2 = 5,7 * 1,24 + 4,5 * 1,16 - 0,08 * 2,7 = 12,072 \text{ Вт.}$$

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:



$$I_1 = -1,24 \text{ А;}$$

$$I_2 = -1,16 \text{ А;}$$

$$I_3 = -0,08 \text{ А.}$$

Задание для самостоятельного решения

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

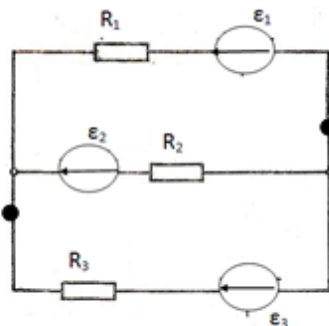


рис. 1

$$R_1, 2 \text{ Ом}$$

$$R_2, 3 \text{ Ом}$$

$$R_3, 4 \text{ Ом}$$

$$\varepsilon_1, 40 \text{ В}$$

$$\varepsilon_2, 20 \text{ В}$$

$$\varepsilon_3, 15 \text{ В}$$

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:

$$R_1 = 30 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 20 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 30 \text{ Ом}$$

$$R_4 = 50 \text{ Ом}$$

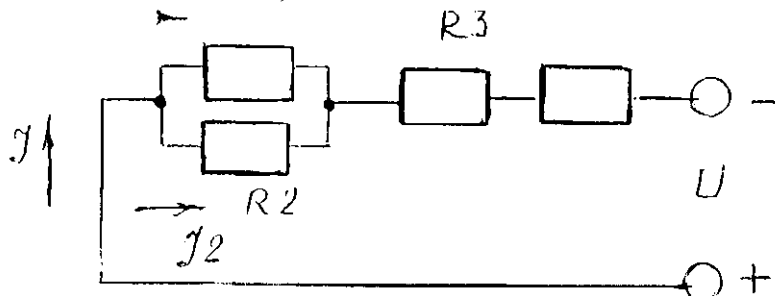
$$P = 320 \text{ Вт}$$

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: $P = I^2 R$, $I = \frac{\sqrt{P}}{\sqrt{R}}$

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

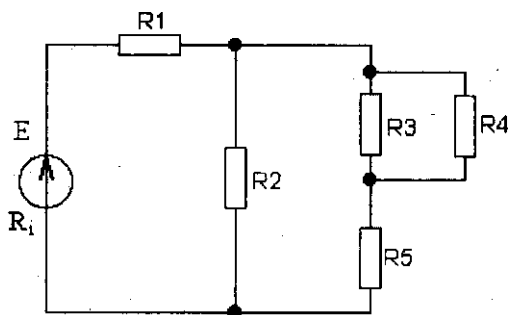


Рисунок 2.1

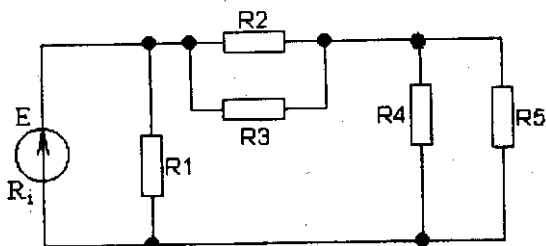


Рисунок 2.2

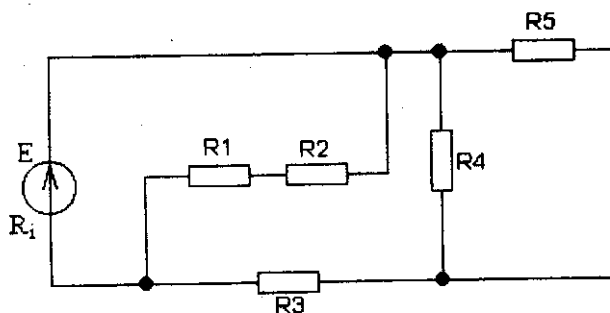


Рисунок 2.3

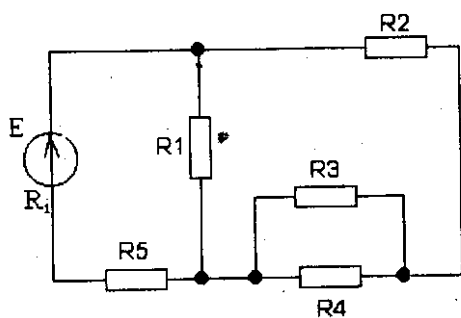


Рисунок 2.4

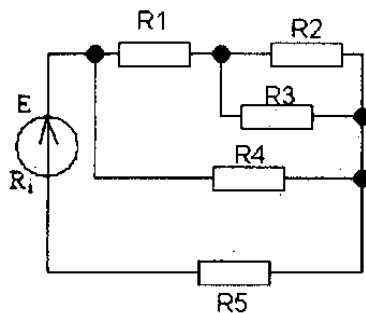


Рисунок 2.5

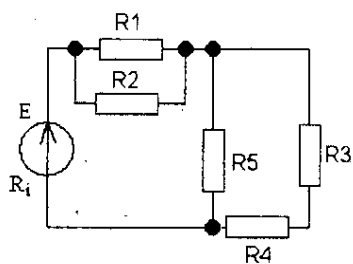


Рисунок 2.6

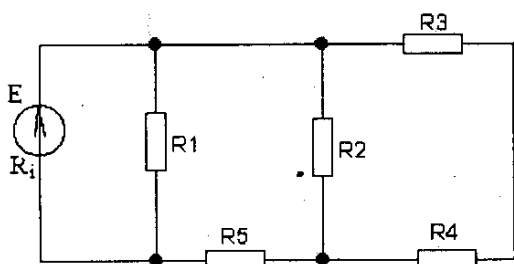


Рисунок 2.7

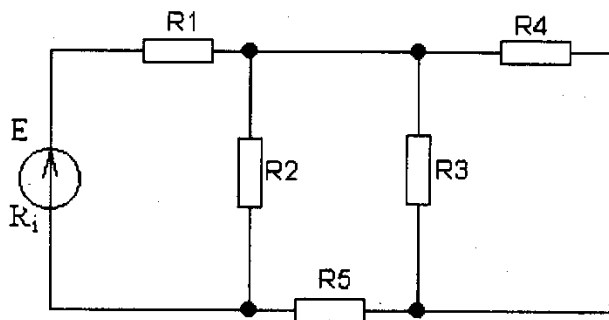


Рисунок 2.8

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.

Лабораторное занятие №1,2

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 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

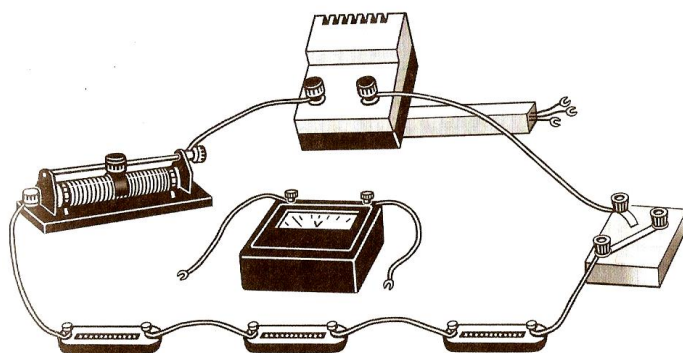


рис. 1

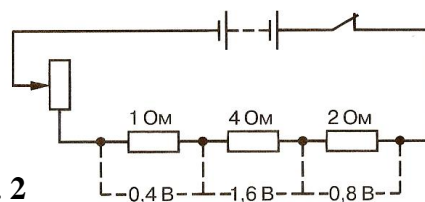


рис. 2

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

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.

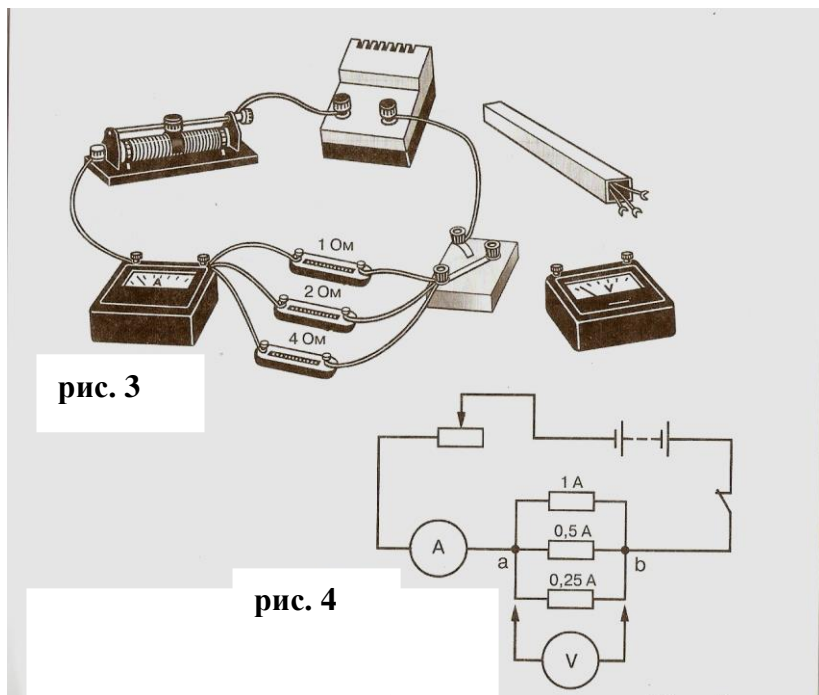


рис. 3

рис. 4

Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу

Сопротивление резистора				Сила электрического тока в цепи				Напряжение U на резисторе
R_1	R_2	R_3	$R_{общ}$	I_1	I_2	I_3	$I_{общ}$	

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:

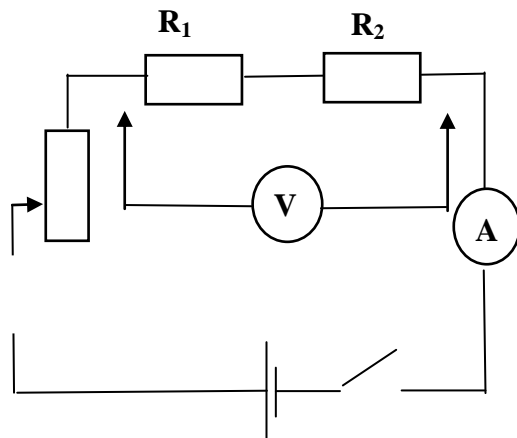


рис. 5

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.

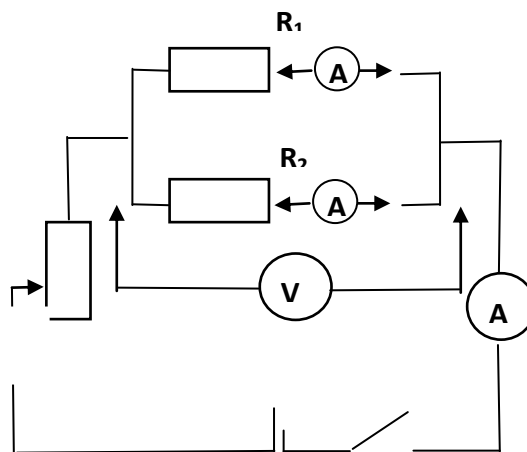


рис. 6

Результаты измерений и вычислений запишите в таблицу:

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

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.

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.

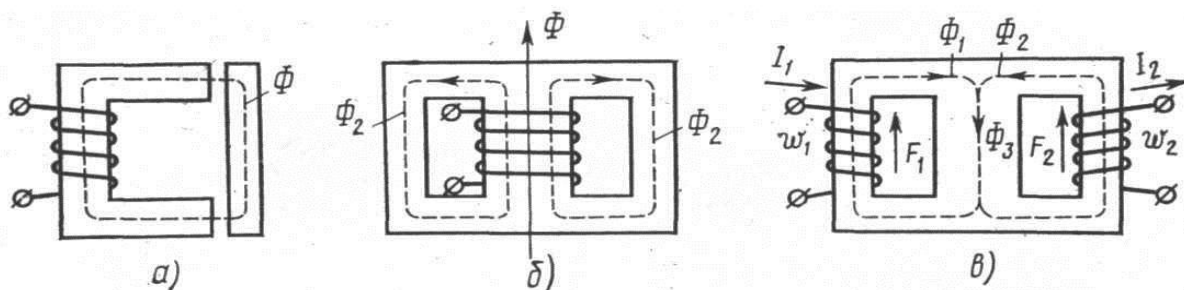


Рисунок 3.1.

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, обратно 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 В по заданной намагничивающей силе Н при известных конструктивных параметрах магнитопровода и ферромагнитного материала является обратной задачей – определение магнитного потока Φ по заданным намагничивающим силам Н.

Порядок выполнения расчета:

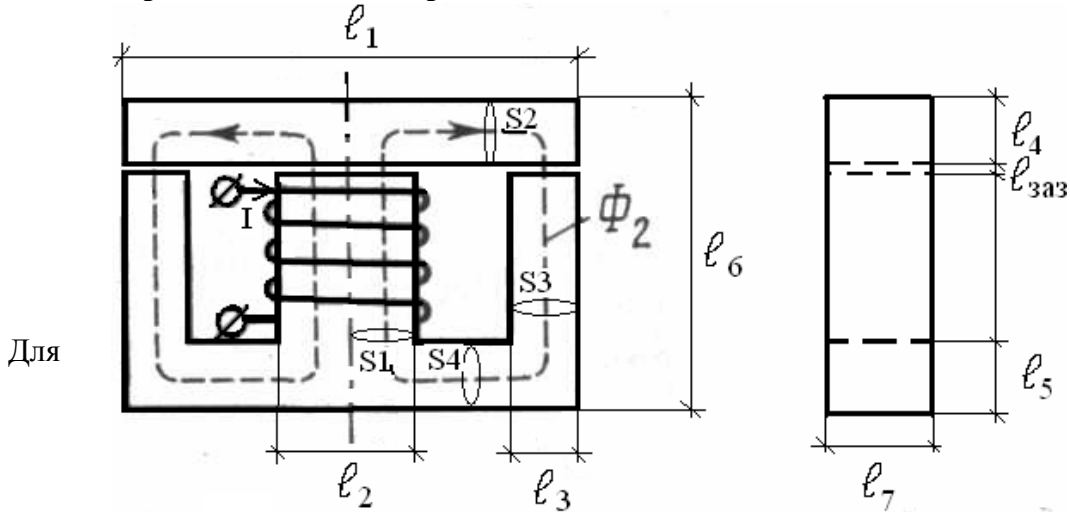


Рисунок 3.2
1.

определения участков однородной магнитной цепи, находим площадь поперечного сечения S1, S2, S3, S4 из рис. 3.2 по формулам:

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

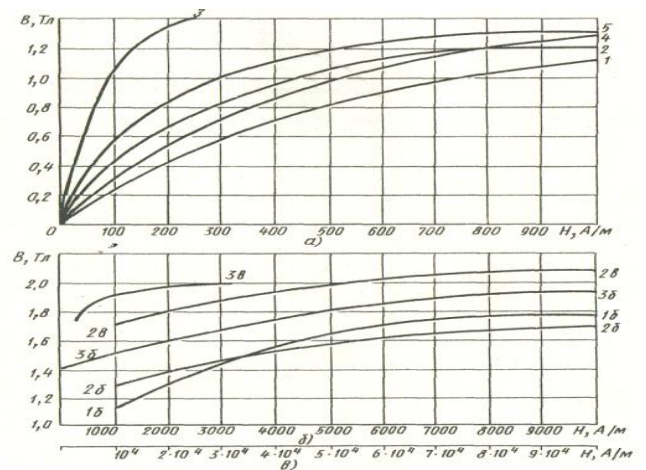
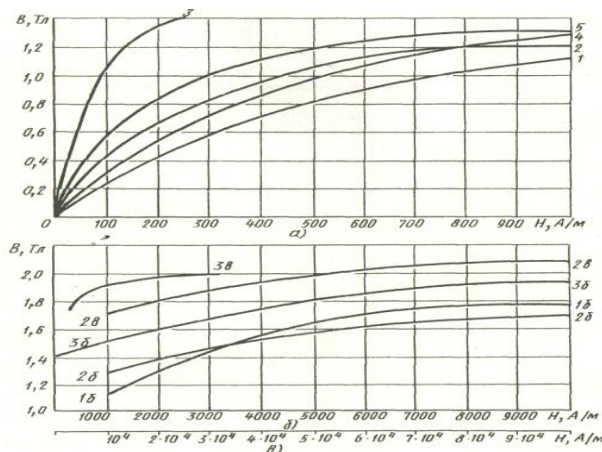
где S1, S2, S3, S4 - площади поперечного сечения магнитной цепи, мм²; l₁, l₂, l₃, l₄, l_{заз}, l₅, l₆, l₇ - параметры магнитной цепи, мм.

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

$$L1 = l_1 \cdot l_3 \cdot l_4 \cdot l_{заз}; L2 = \frac{l_1 \cdot l_2}{2} \cdot \frac{l_3 \cdot l_4}{2} \cdot l_1; L3 = L1; L4 = \frac{l_1 \cdot l_2}{2} \cdot \frac{l_3 \cdot l_4}{2} \cdot l_2.$$

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

$$B2 = \frac{B_1 \cdot S_1}{S_2}; B3 = \frac{B_1 \cdot S_1}{S_3}; B4 = \frac{B_1 \cdot S_1}{S_4}.$$



4. По кривым намагничивания (см. рис. 3.3) определяем напряженности полей на однородных участках Н1, Н2, Н3, Н4.

Рисунок 3.3. 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

$$\omega = \frac{H_c \cdot L_c}{I}$$

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 $\ell_1 = 500$ мм, $\ell_2 = 120$ мм, $\ell_3 = 70$ мм, $\ell_4 = 70$ мм, $\ell_5 = 60$ мм, $\ell_6 = 400$ мм, $\ell_7 = 60$ мм, $\ell_{\text{заз}} = 1$ 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).

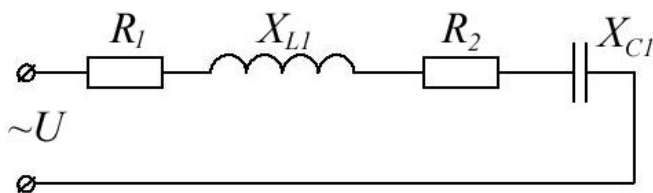


Рисунок 4.1

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 цепи

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

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

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

5. Определяем реактивную мощность цепи:

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

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

6. Определяем полную мощность цепи:

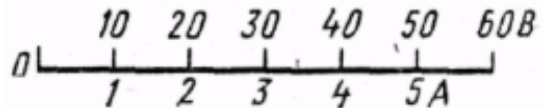
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{200^2 + 150^2} = 250 \text{ ВА} \text{ или } S = U \cdot I = 50 \cdot 5 = 250 \text{ ВА}$$

7. Определяем падения напряжения на сопротивлениях цепи:

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

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

Построение векторной диаграммы начинаем с выбора масштаба для тока и напряжения. Задаем масштаб по току: $m_I = 1$ А/см (в 1 см — 1,0 А) и масштаб 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:

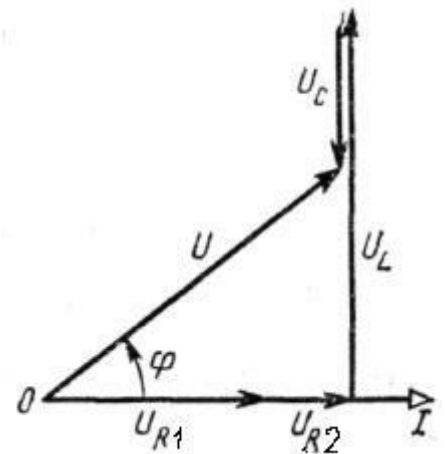
$$|\vec{U}_L| = \frac{U_L}{m_U} = \frac{50}{10} = 5 \text{ см}$$

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 $\vec{U}_{R2}, \vec{U}_L, \vec{U}_C$ 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

Номер варианта	Номер рисунка	$R_1, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$	$X_{L1}, \text{Ом}$	$X_{L2}, \text{Ом}$	$X_{C1}, \text{Ом}$	$X_{C2}, \text{Ом}$	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	—	$Q_{C1} = -160 \text{ вар}$
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=500ВА
26	2	8	4	20	—	4	—	Q _{L1} = 500 вар
27	3	12	—	—	—	10	6	P = 48 Вт
28	4	6	2	4	2	—	—	I = 4 А

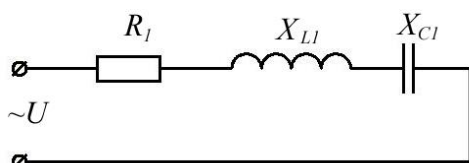


Рисунок 4.1

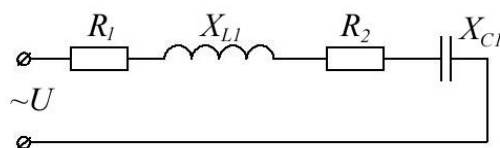


Рисунок 4.2

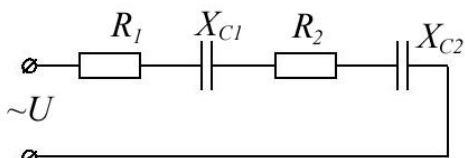


Рисунок 4.3

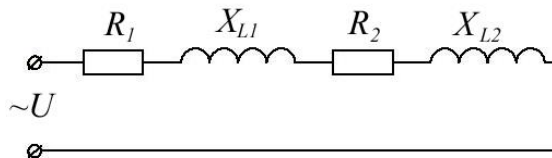


Рисунок 4.4

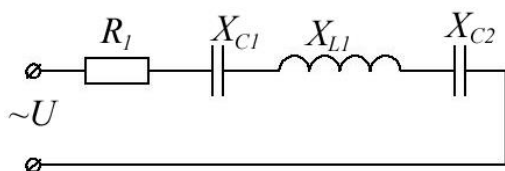


Рисунок 4.5

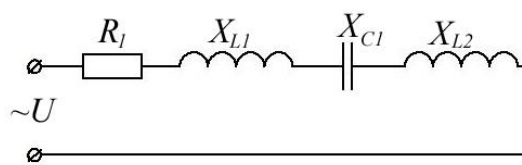


Рисунок 4.6

Лабораторная работа №4

Тема: Изучение последовательного соединения проводников

Цель работы: Проверка известных правил для последовательного соединения проводников.

Оборудование: источник тока ВУ-4М, амперметр, вольтметр, соединительные провода, элементы планшета №1: выключатель, постоянные резисторы R1 и R2

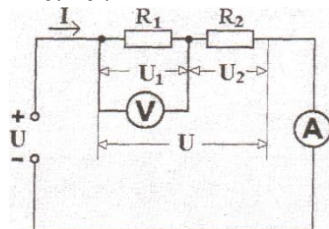
Задание. Соберите электрические цепи согласно принципиальным схемам, измерьте ток и напряжение на участках цепей, проверьте, как согласуются полученные результаты с известными соотношениями для последовательного и параллельного соединения проводников.

Содержание работы. Известны следующие правила:

1. Для участка цепи с последовательным соединением проводников, имеющих сопротивления R1 и R2 показанного на рис. 19, имеют место следующие соотношения, где R- сопротивление участка цепи.

$$U = U_1 + U_2; \quad R = R_1 + R_2; \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2},$$

Рис. 19.

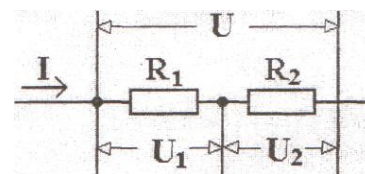


Порядок выполнения работы.

Определите номиналы используемых резисторов (R1 = 8.2 Ом, R2 = 15 Ом).

Соберите электрическую цепь для изучения последовательного

соединения проводников, согласно рис. Измерьте ток I и напряжение U1 и U2 на указанных участках цепи.



Внимание: резисторы нагреваются. Результаты запишите в таблицу.

3. Выполните вычисления правил последовательного соединения. (R1 = 8.2 Ом. R2 = 15 Ом). И проверьте выполнение известных правил для последовательного соединения.

Вычисления

R1/R2

Лабораторная работа №5

Тема: «Соединение «звезда» в трёхфазной системе переменного тока»

Цель работы: — приобретение навыков включения обмоток электродвигателя звездой и опытная проверка основных соотношений, относящихся к трехфазной системе при соединении приемников звездой как при равномерной, так и при неравномерной нагрузке фаз.

Подготовка к работе

1. Повторить раздел курса ТОЭ «Трёхфазные цепи».
2. Рассчитать сопротивление каждой фазы при симметричной нагрузке, если линейное напряжение $U_L=220$ В, а линейный ток $I_L=0,5$ А.
3. Построить векторную диаграмму напряжений при симметричной нагрузке по данным пункта 2 и сравнить ее с диаграммой, построенной по данным опыта.

Порядок выполнения работы

Определение «начала» и «конца» обмоток электродвигателя и соединение их звездой

1. Собрать цепь по схеме рис. 1 и получить разрешение на ее включение. Определить принадлежность выводов к отдельным обмоткам с помощью лампы или вольтметра на 150 В. Лампа горит, если два вывода принадлежат к одной фазе двигателя.

2. Собрать цепь по схеме рис.2 и получить разрешение на ее включение. Определить «начало» и «конец» всех трех обмоток. Вольтметр на 15 В показывает напряжение, если у двух обмоток соединены «начало» с «концом» или «конец» с «началом». Произвести два опыта при условии, если:

- а) первая обмотка соединена последовательно со второй, а к третьей подключен вольтметр;
- б) вторая обмотка соединена последовательно с третьей, а к первой подключен вольтметр.

Вычертить схему щитка с выводами и обозначить «начало» и «конец» каждой фазы.

3. Соединить обмотки электродвигателя и произвести пуск. Изменить направление вращения двигателя на обратное.

Соединение в звезду осветительной нагрузки

1. Собрать цепь по схеме рис.3 и получить разрешение на ее включение.

2. Записать в таблицу 1 показания приборов для четырех случаев:

- а) нагрузка фаз симметрична;
- б) нагрузка фаз несимметрична (число ламп в каждой в каждой фазе различно);
- в) обрыв первого линейного провода (первой фазы) при симметричной нагрузке и отсутствии нулевого провода;
- г) обрыв нулевого провода при несимметричной нагрузке.

Линейные и фазные напряжения измерять на нагрузке во всех случаях.

3. По данным опыта построить в выбранном масштабе векторные диаграммы для всех случаев.

4. Для последнего случая разложить фазные напряжения на симметричные составляющие.

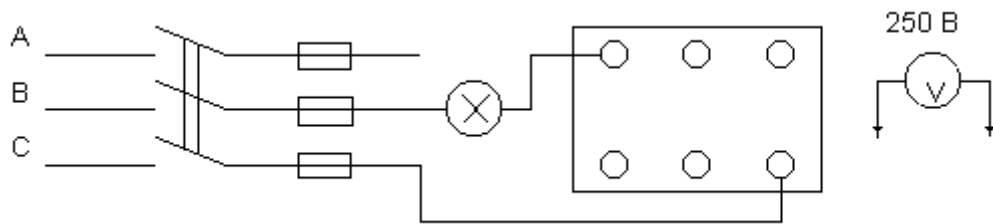


Рис.1.

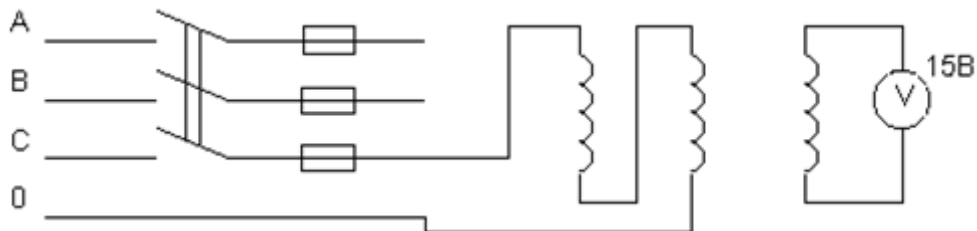


Рис.2.

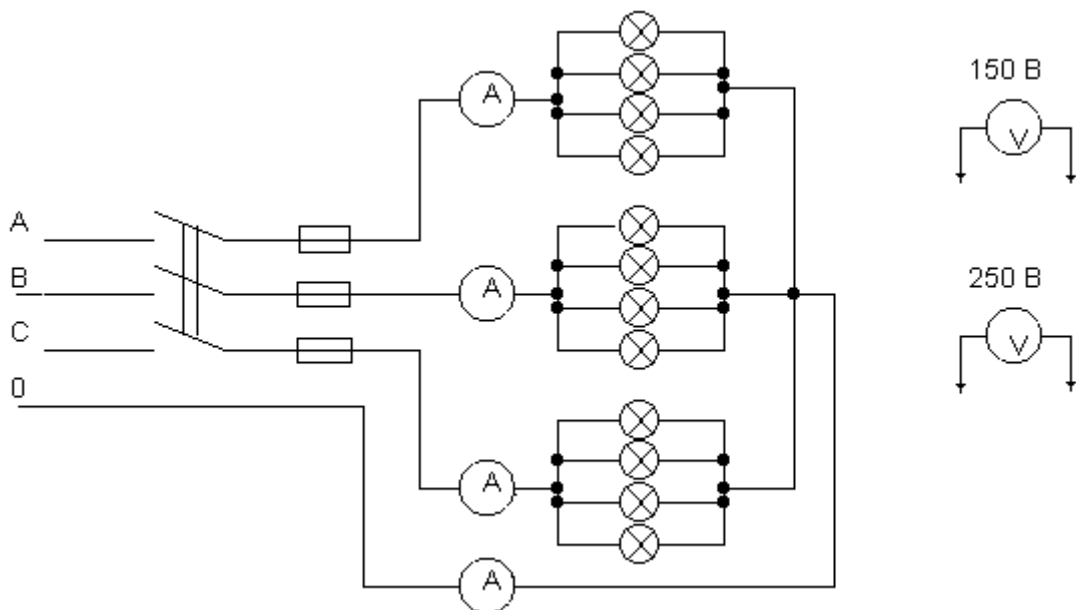


Рис.3.

Таблица 1

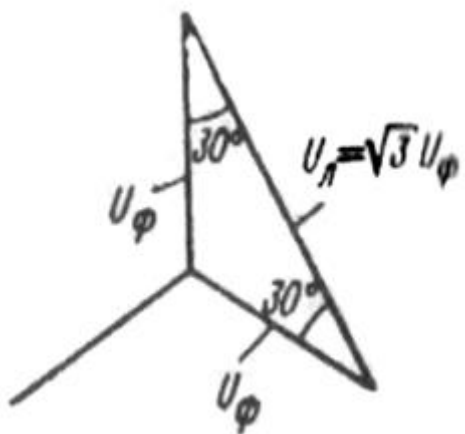
№ П/п	Характер нагрузки	U_{AB}, B	U_{BC}, B	U_{CA}, B	U_{AO}, B	U_{BO}, B	U_{CO}, B	U_0, B	I_A, A	I_B, A	I_C, A	I_0, A
1	Симметричная нагрузка	240	240	240	140	140	140	0	0,45	0,45	0,45	0
2	Несимметричная нагрузка	236	240	238	138	140	136		0,025	0,4625	0,2	0,3
3	Обрыв первой фазы и нулевого провода при симметричной нагрузке	238	238	238	0	120	120		0	0,475	0,475	0
4	Несимметричная нагрузка и обрыв нулевого провода	238	238	238	116	184	128	44	0,325	0,15	0,3125	0

Здесь U_{AB}, U_{BC}, U_{CA} — действующие значения линейных напряжений на нагрузке, U_{AO}, U_{BO}, U_{CO} — действующие значения фазных напряжений на нагрузке, U_0 — действующее значение напряжения смещения нейтрали, I_A, I_B, I_C — действующие

значения линейных (фазных) токов нагрузки, I_0 — действующее значение тока нулевого провода.

Подготовка к работе.

Соотношение линейных и фазовых токов выглядит следующим образом:



$$U_E = U_0 * 2 \cos 30 = \sqrt{3} * U_0$$

Отсюда находим фазовое напряжение:

$$U_0 = \frac{U_E}{\sqrt{3}} = \frac{220}{\sqrt{3}} = 127 \text{ В}$$

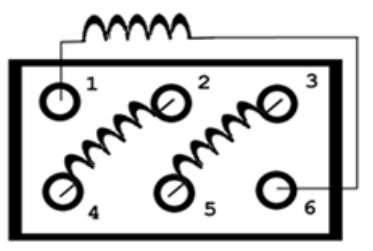
Найдём сопротивление каждой фазы по формулам:

$$Z_A = \frac{E_A}{I_A} \quad Z_B = \frac{E_B}{I_B} \quad Z_N = \frac{E_N}{I_N}$$

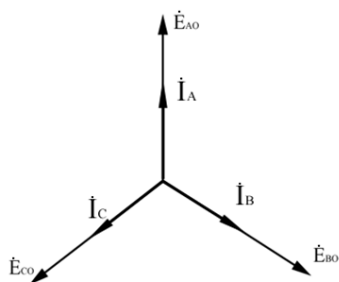
$$Z_A = Z_B = Z_C = 127 / 0.5 = 254 \text{ ом}$$

Ход работы.

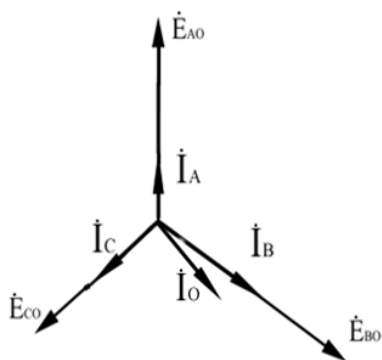
1. Щиток электродвигателя.



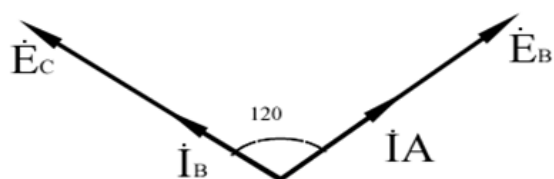
Симметричная нагрузка.



Несимметричная нагрузка.



Обрыв первой фазы и нулевого провода при симметричной нагрузке.



Несимметричная нагрузка и обрыв нулевого провода.

Лабораторная работа №6

Тема: Параллельное соединение катушки индуктивности и конденсатора. Повышение коэффициента мощности

Цель: подтвердить, что мощность переменного тока на участке с активным сопротивлением показывает, сколько энергии за единицу времени передаётся электрическим током данному участку цепи

Оборудование.

1. Катушка индуктивности L с железным сердечником (допустимая сила тока 1 А).
2. Батарея конденсаторов С (магазин ёмкостей).
3. Ваттметр.
4. Вольтметр.
5. Амперметр.
6. Реостат.
7. Шнур с вилкой и соединительные провода

Порядок проведения занятия:

Для выполнения практической работы учебная группа распределяется по двум вариантам.

Теоретическое обоснование

В цепи переменного тока различают полную и активную мощность. Полная мощность S вычисляется по измеренным эффективным значениям тока и напряжения U: $S = UI$

Мощность переменного тока на участке с активным сопротивлением называется активной мощностью P. Эта мощность показывает, сколько энергии за единицу времени передаётся электрическим током данному участку цепи. Активная мощность зависит от силы тока, напряжения и сдвига фаз между ними: чем меньше угол сдвига фаз в цепи, тем больше активная мощность тока в ней:

$$P = UI \cos \varphi$$

$$= P / S - \text{коэффициент мощности } \cos \varphi$$

Вопросы для закрепления теоретического материала к практическому занятию:

1. В чём заключается невыгодность низкого $\cos \varphi$?
2. Каковы причины низкого $\cos \varphi$?
3. Каков коэф. осветительной сети $\cos \varphi$?
4. Какова физическая сущность индуктивного и ёмкостного сопротивлений?
5. Определить активное, индуктивное и полное сопротивления обмотки двигателя. На паспорте однофазного двигателя написано $U = 120 \text{ В}$, $I = 5 \text{ А}$, $\cos \varphi = 0.8$
6. Как определить полный ток в цепи при параллельном соединении индуктивности и ёмкости?

Содержание и Последовательность выполнения практической работы:

Порядок выполнения работы

1. Собрать цепь по схеме, рисунок 1, поставить переключатель батареи конденсаторов на 0 (выкл.)
2. 3 Замкнуть и отметить показания измерительных приборов (U, I, I₁, I₂, P). Цепь разомкнуть.

Таблица 6-1

№ п/п.	При соотношении	Участок цепи	U	I	P	r	z	x	U _a	U _p	tg φ	∠φ
			В	А	Вт	Ом	Ом	Ом	В	В	—	—
1	$x_L > x_C$	Реостат Катушка Конденсатор Вся цепь										
2	$x_L = x_C$	Реостат Катушка Конденсатор Вся цепь										
3	$x_L < x_C$	Реостат Катушка Конденсатор Вся цепь										

8. По полученным данным построить в масштабе векторную диаграмму напряжений и диаграмму сопротивлений.
 9. Повторить все измерения и вычисления при $x_L < x_C$. Результаты записать в табл. 6-1. Построить в масштабе векторную диаграмму напряжений и диаграмму сопротивлений.
 10. Дать заключение о проделанной работе.

6-14. Лабораторная работа. Параллельное соединение катушки и конденсатора

Перед выполнением работ ознакомиться с содержанием § 6-10 и 6-11.

План работы

1. Ознакомиться с приборами, необходимыми для проведения работы. Записать основные технические характеристики измерительных приборов и оборудования.
 2. Собрать схему (рис. 6-38) и показать ее руководителю.

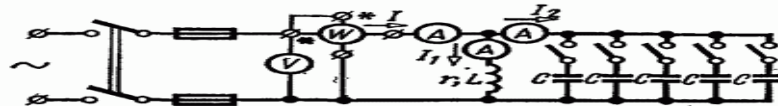


Рис. 6-38. Схема для выполнения лабораторной работы.

Рисунок 1

1. , сопротивления Z_{ϕ} Вычислить полную мощность S , коэффициент мощности $\cos \phi = U / I$, $X_C = U / I_2$ и токи I_a , $\phi = I \cos$
2. Замкнуть цепь. Перевести переключатель батареи конденсаторов в положение 1 (увеличить ёмкость C), вновь отметить показания измерительных приборов и произвести расчёт по пункту 3.
3. Опыт повторить три раза, увеличивая каждый раз ёмкость батареи конденсаторов.
4. Результаты занести в таблицу 1

Напряже ние U В	Токи			Мощно сть	Кэффиц иент Мощност и Cos φ	Сопротивлен ие	Токи			
	I ₁ А	I ₂ А	I ₃ А				Активн ая мощнос ть P Вт	Полная S В А	Катушки Z Ом	Конденса тора X _C Ом

5. По результатам измерений и вычислений сделать вывод

Лабораторное занятие №7

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 трехфазного потребителя. Выяснить роль нулевого провода.

несимметричная											
Нейтральный провод выключен, нагрузка несимметричная											

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

Практическая работа №5

Тема: Резонанс токов и напряжений

Цель: Изучить резонанс токов и напряжений.

Методические указания по выполнению расчётов.

Подключим к RLC -контур переменное синусоидальное напряжение

$U = U_m \cos \omega t$. В цепи переменного тока, с последовательно включенными L , C и R , полное сопротивление контура имеет минимальное значение $Z_{\min} = R$, если $\omega L = 1/\omega C$. В этом случае падения напряжения на индуктивности и конденсаторе равны, а их фазы противоположны, т.е. $(U_L)_{\text{рез}}$ опережает $(U_C)_{\text{рез}}$ по фазе на π , так что $(U_C)_{\text{рез}} + (U_L)_{\text{рез}} = 0$. Ток в цепи принимает максимальные значения (возможные при данном U_m), определяемые минимальным сопротивлением, что свидетельствует о наличии резонансной частоты $\omega_{\text{рез}}$ для тока, значение которой определяется из условия $\omega L = 1/\omega C$, откуда

$$\omega_{\text{рез}} = 1/\sqrt{LC} = \omega_0, \quad (2.27)$$

т.е. **резонансная частота** для силы тока равна циклической частоте собственных колебаний в контуре. Напряжение U_R на активном сопротивлении R в этом случае равно внешнему напряжению, приложенному к цепи ($U_R = U$). При этом сила тока и внешнее напряжение совпадают по фазе.

Явление резкого возрастания амплитуды силы тока в контуре с последовательно включенными L , C , R и U при $\omega_{\text{рез}} = 1/\sqrt{LC} = \omega_0$ называется **резонансом напряжений (последовательным резонансом)**.

Кривая зависимости амплитуды силы тока в контуре от частоты внешнего напряжения называется резонансной характеристикой контура (рис.2.7 а) или резонансной кривой колебательного контура.

Частота $\omega_{\text{рез}}$ не зависит от активного сопротивления контура R . $\Delta\omega = \omega_2 - \omega_1$ – полуширина резонансной кривой. Частоты ω_1 и ω_2 соответствуют амплитуде силы тока в контуре, которая в Q раз меньше максимально возможной амплитуды тока.

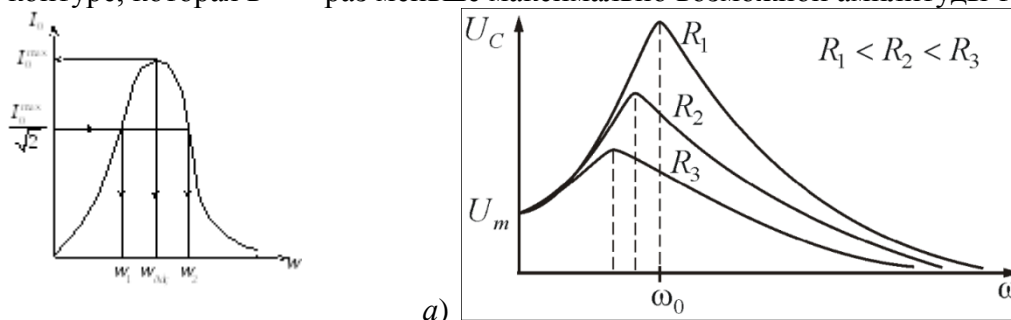


Рис.2.7

Поскольку в случае резонанса напряжений $(U_L)_{\text{рез}} = (U_C)_{\text{рез}}$, то подставив сюда значения резонансной частоты (2.27), амплитуды напряжений на катушке индуктивности и конденсаторе (2.25), (2.26), а также значение добротности контура (2.16) получим

$$(U_L)_{\text{рез}} = (U_C)_{\text{рез}} = I_m \sqrt{L/C} = (U_m/R) \sqrt{L/C} = QU_m, \quad (2.28)$$

где Q – добротность контура. Добротность контура определяет остроту резонансных кривых. Так как Q обычных колебательных контуров больше единицы, то $(U_L)_{\text{рез}} = (U_C)_{\text{рез}} > U$, т.е. добротность показывает, во сколько раз напряжение на

конденсаторе (или катушке) больше напряжения (э.д.с.), приложенного к цепи. Поэтому явление резонанса напряжений используется в технике для усиления колебания напряжения какой-либо определенной частоты, или выделения из многих сигналов одного колебания определенной частоты ν .

Можно показать, что относительная полуширина резонансной кривой связана с добротностью контура следующим соотношением

$$\Delta\omega/\omega_{\text{рез}} = R \sqrt{C/L} = 1/Q. \quad (2.29)$$

При резонансной частоте сдвиг фаз φ между током и напряжением обращается в нуль ($\varphi=0$), т.е. изменения тока и напряжения происходят синфазно колебаниям внешнего напряжения (внешней э.д.с.):

$$U = U_m \cos \omega_{\text{рез}} t, I_{\text{рез}} = (U_m/R) \cos \omega_{\text{рез}} t, I_0^{\text{max}} = U_m/R.$$

При $\omega \rightarrow 0$ резонансные кривые сходятся в одной точке с ординатой $U_{Cm} = U_m$ – напряжению, возникающему на конденсаторе при подключении его к источнику постоянного напряжения U_m . Максимум при резонансе получается тем выше и острее, чем меньше $\beta = R/2L$, т.е. чем меньше активное сопротивление и больше индуктивность контура.

Резонанс токов. Рассмотрим цепь переменного электрического тока, содержащую параллельно включенные L и C , рис.2.8. Пусть активное сопротивление $R = 0$.

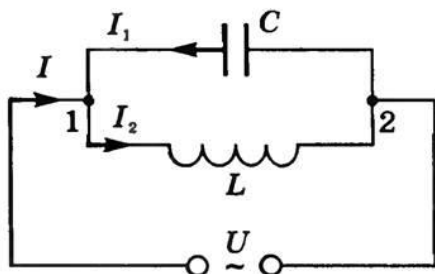


Рис.2.8.

Если $U = U_m \cos(\omega t)$, то сила тока, текущего через емкость C , равна

$$I_1 = I_{m1} \cos(\omega t - \varphi_1). \quad (2.30)$$

Начальная фаза φ_1 определяется условием $tg \varphi_1 = -\infty$, т.е. $\varphi_1 = (2n+3/2)\pi$, $n = 1, 2, 3, \dots$, а амплитуда тока (при условии $L = 0$ и $R = 0$) равна

$$I_{m1} = U_m / (1/\omega C).$$

Сила тока, текущего через индуктивность L ,

$$I_2 = I_{m2} \cos(\omega t - \varphi_2), \quad (2.31)$$

а начальная фаза φ_2 , определяемая из условия $tg \varphi_2 = +\infty$, равна $\varphi_2 = (2n+1/2)\pi$, $n=1, 2, 3, \dots$. Амплитуда тока (при $R = 0$ и $C = \infty$ – условие отсутствия емкости в цепи) равна

$$I_{m2} = U_m / (\omega L).$$

Сравнивая выражения (2.30) и (2.31) видим, что $\varphi_2 - \varphi_1 = \pi$, т.е. токи в параллельных ветвях электрической цепи противоположны по фазе. Амплитуда тока во внешней (неразветвленной) цепи согласно первому правилу Кирхгофа равна

$$I_m = |I_{m1} - I_{m2}| = U_m |\omega C - 1/(\omega L)|.$$

Если $\omega = \omega_{\text{рез}} = 1/\sqrt{LC}$, то $I_{m1} = I_{m2}$ и $I_m = 0$.

Явление резкого уменьшения амплитуды силы тока во внешней цепи, питающей параллельно включенные конденсатор C и катушку индуктивности L , при приближении частоты ω приложенного напряжения к резонансной частоте $\omega_{\text{рез}}$ называется резонансом токов (параллельным резонансом).

Амплитуда тока $I_m = 0$, так как считали, что активное сопротивление контура $R = 0$. При $R \neq 0$ разность фаз $\varphi_2 - \varphi_1 \neq \pi$, поэтому $I_m \neq 0$ и сила тока I в подводящих проводах примет наименьшее возможное значение, обусловленное только током через резистор. При резонансе токов силы токов I_1 и I_2 могут значительно превышать силу тока I во внешней цепи (рис. 2.9).

Амплитуда тока максимальна при $\omega_{рез}=\omega_0$. Чем больше коэффициент затухания $\beta = R/2L$, тем ниже максимум резонансной кривой.

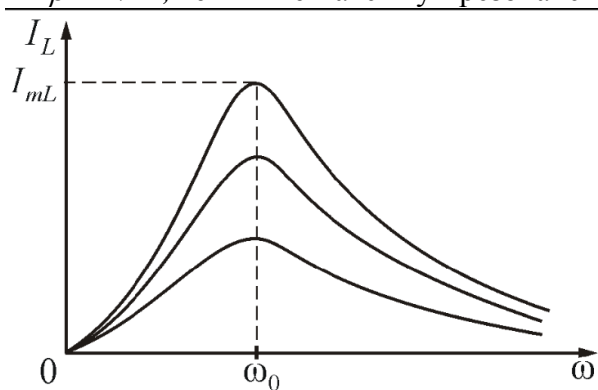


Рис.2.9

Рассмотренный параллельный контур оказывает большое сопротивление переменному току с частотой, близкой к резонансной. Поэтому его свойства используются в резонансных усилителях, позволяющих выделить одно колебание определенной частоты из сигнала сложной формы.

Резонансные усилители применяются для усиления сигналов, как на высоких, так и на низких частотах. Они используются в селективных вольтметрах, анализаторах спектра, синтезаторах частоты, измерителях нелинейных искажений и многих других радиоизмерительных и телекоммуникационных приборах. Кроме того, такие усилители являются одним из важнейших каскадов радиопередающих и радиоприёмных устройств.

В резонансных усилителях узкая полоса пропускания обеспечивается использованием в качестве нагрузки выходной цепи транзистора параллельного LC-контура, обладающего частотно-избирательными свойствами.

Резонансные усилители подразделяются на одноконтурные, двухконтурные, многоконтурные, усилители с пьезоэлектрическими и электромеханическими фильтрами, усилители с резонансными линиями и объёмными резонаторами. На рисунке 2.10 представлена схема двухконтурного резонансного усилителя, а) и его амплитудно-частотная характеристика

б) (АЧХ). Вида АЧХ для этого усилителя близок к прямоугольному.

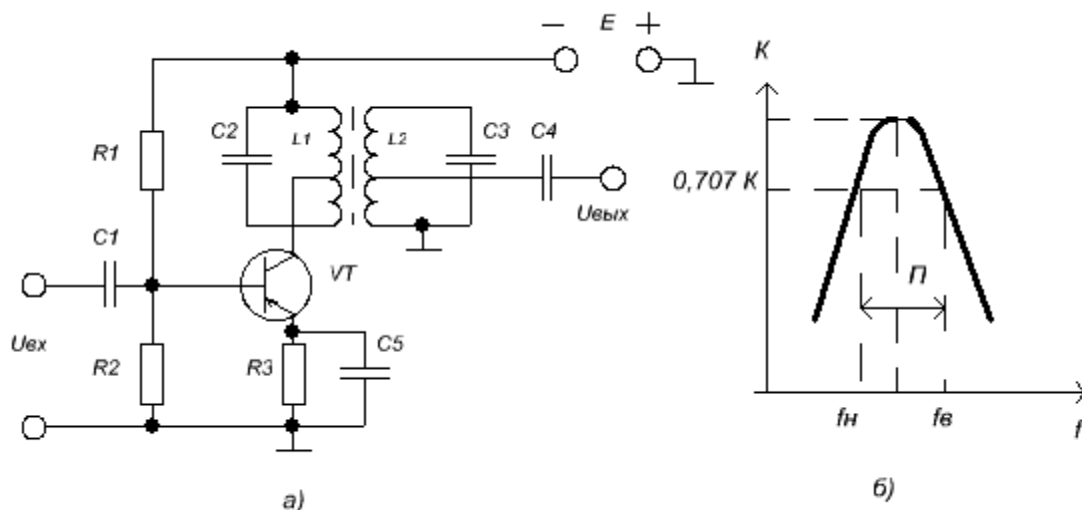


Рис. 2.10

$R1, R2, R3$ – резисторы, $C1, C2, C3, C4, C5$ – конденсаторы, $L1, L2$ – катушки индуктивности, VT – транзистор, $U_{вх}$ – входное напряжение, $U_{вых}$ – выходное напряжение,

E – электродвижущая сила источника, K – коэффициент усиления, f – частота, f_n – нижняя частота, f_v – верхняя частота, f_p – резонансная частота,

Контрольные вопросы:

1. Что такое гармонические колебания? свободные колебания? вынужденные колебания?
2. Какие процессы происходят при свободных гармонических колебаниях в колебательном контуре? Чем определяется их период?
3. Запишите и проанализируйте дифференциальное уравнение свободных гармонических колебаний в контуре.
4. Запишите дифференциальное уравнение затухающих колебаний и его решение. Проанализируйте их для механических и электромагнитных колебаний.
5. По какому закону изменяется амплитуда затухающих колебаний? Являются ли затухающие колебания периодическими?
6. Почему частота затухающих колебаний должна быть меньше частоты собственных колебаний системы?

Практическая работа №6

Тема: Получение трехфазного тока

Цель: Научиться получать трехфазный ток.

Методические указания по выполнению расчетов

Цель 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.

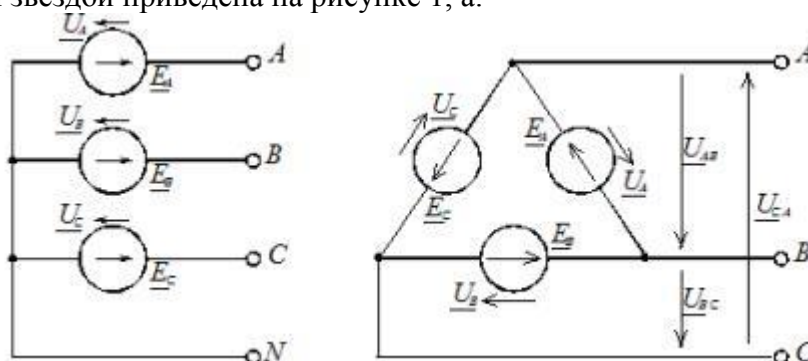


Рисунок. 5.1. Схемы соединения фаз источника питания: а – звездой; б – треугольником

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:

$$\underline{U}_{AB} = \underline{U}_A - \underline{U}_B = U_\phi e^{j30^\circ} \text{ В}, \quad \underline{U}_{BC} = \underline{U}_B - \underline{U}_C = U_\phi e^{j150^\circ} \text{ В},$$

$$\underline{U}_{CA} = \underline{U}_C - \underline{U}_A = U_\phi e^{j90^\circ} \text{ В}.$$

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

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

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.

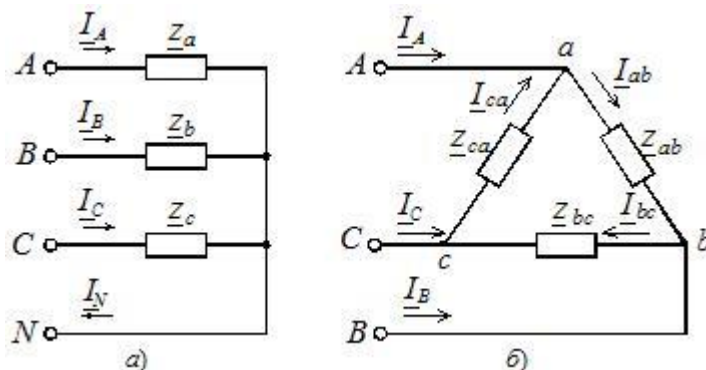


Рисунок 5.2. Схемы соединения фаз нагрузки

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:

$$\underline{U}_a = \underline{U}_a - \underline{U}_s = \underline{U}_{as}, \quad \underline{U}_b = \underline{U}_b - \underline{U}_s = 0, \quad \underline{U}_c = \underline{U}_c - \underline{U}_s = \underline{U}_{cs} = -\underline{U}_{sc}$$

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 $U_L=380$ 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 $U_L=220$ 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 $U_L=120$ 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 $U_L=220$ 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 №7

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;

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

B – 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;

B3 – при температуре от –40 °C до +50 °C и влажности до 98 % при 40 °C.

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

	Наименование прибора (Амперметр ,Вольтметр)	
	Тип прибора	
	Система измерительного механизма	
	Предел измерения (номинальное значение)	
	Цена деления	
	Минимальное значение измеряемой величины	
	Класс точности	
	Допустимая погрешность	максимальная абсолютная
	Род тока	
	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 №8

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:

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

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

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

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

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

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

$1 \div 6\%$); $\beta = \frac{I}{I_n} = \frac{S}{S_n}$ – коэффициент нагрузки; U_a и U_p – активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания, выраженные в процентах ($U_a = \left(\frac{P_{кл}}{S_n} \right) 100\% = \left(\frac{53,5}{6667} \right) 100\% = 0,8\%$; $U_p = \sqrt{U_k^2 - U_a^2} = \sqrt{8^2 - 0,8^2} = 7,95\%$).

Следовательно,

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

К.п.д. трансформатора

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

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

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 $R_1 = 1,875$ Ом.

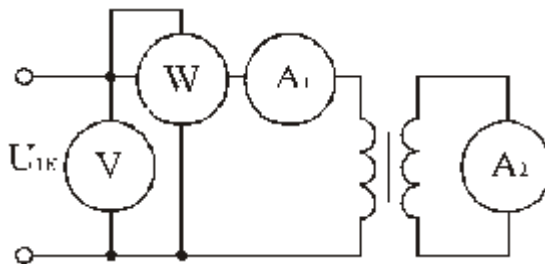


Рисунок 7.1.

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

Практическая работа №9

Тема: Изучение асинхронного э/двигателя

Цель работы: получить практические навыки по эксплуатации, опытному и расчетному методам определения рабочих и механических характеристик асинхронного двигателя с фазным ротором, а также по оценке его эксплуатационных свойств.

Методические указания для выполнения работы:

1. Изучить устройство и элементы конструкции двигателя.
2. Определить экспериментально механические (естественную и искусственную с введенным в цепь ротора добавочным сопротивлением) характеристики двигателя.
3. Выполнить опыт холостого хода.
4. Выполнить опыт короткого замыкания.
5. Определить рабочую и механическую характеристики расчетным путем по круговой диаграмме.

Паспортные данные испытуемого двигателя

Номинальная потребляемая активная мощность $P_{1N} = 98$ Вт

Номинальная полезная механическая мощность $P_{2N} = 35$ Вт

Номинальное напряжение $U_{1N} = 220$ В

Номинальный ток обмотки статора $I_{1N} = 0,35$ А

Номинальный коэффициент мощности $\cos \varphi_N = 0,73$

Номинальный коэффициент полезного действия $\eta = 0,36$

Число пар полюсов $P = 2$

Механические потери $P_{мех} = 20$ Вт

Магнитные потери $P_{мг} = 33$ Вт

Активное сопротивление фазы обмотки статора $R_1 = 22,2$ Ом

2.1. Определение естественной при $U_1 = U_{1N}$, $f_1 = f_{1N}$ и искусственной при $R_{доб} \neq 0$, $U_1 = U_{1N}$, $f_1 = f_{1N}$ механических характеристик трехфазного асинхронного двигателя с фазным ротором

2.1.1. Электрические схемы соединений

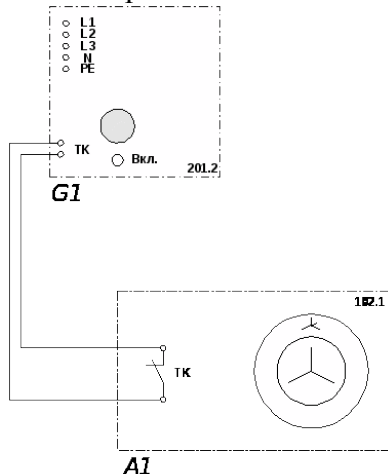


Рис. 2.1.1. Электрическая схема соединений тепловой защиты машины переменного тока

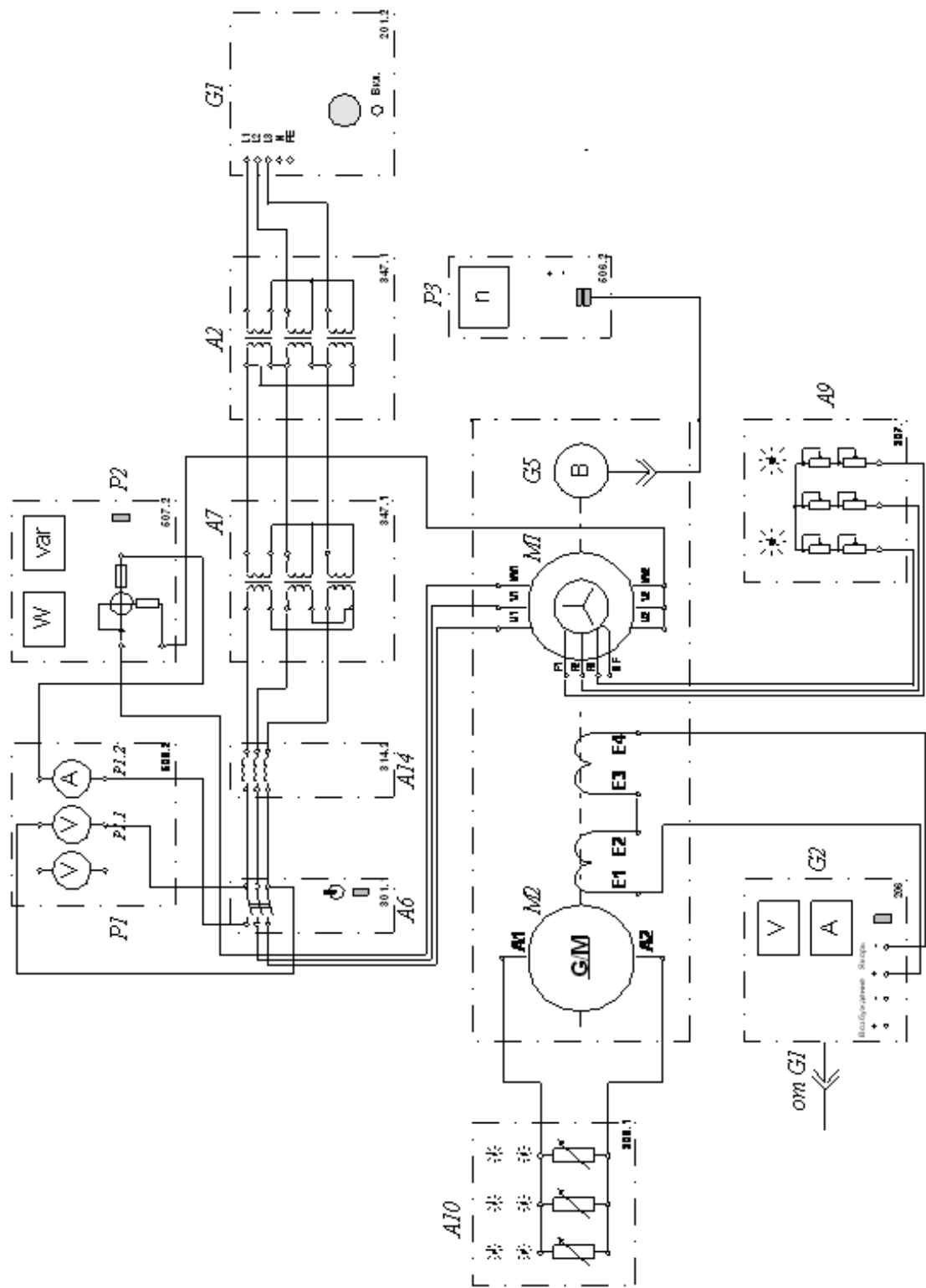


Рис. 2.1.2. Электрическая схема соединений для определения

Контрольные вопросы:

1. Основные элементы конструкции АД и их назначение.
2. Назначение и принцип действия АД.
3. Как маркируют клеммы концов фаз обмотки статора АД?
4. Что такое короткое замыкание АД?
5. Как определяется по КД величина полезного момента АД?

Практическая работа №10

Тема: Изучение э/двигателей пост. тока

Цель: Научиться изучать э/двигатель постоянного тока.

Двигатели постоянного тока используются в прецизионных приводах, требующих плавного регулирования частоты вращения в широком диапазоне.

Свойства двигателя постоянного тока, так же, как и генераторов, определяются способом возбуждения и схемой включения обмоток возбуждения. По способу возбуждения можно разделить двигатели постоянного тока на двигатели с электромагнитным и магнитоэлектрическим возбуждением.

Двигатели с электромагнитным возбуждением подразделяются на двигатели с параллельным, последовательным, смешанным и независимым возбуждением.

Электрические машины постоянного тока обратимы, то есть, возможна их работа в качестве двигателей или генераторов.

Например, если в системе управления с использованием генератора в обратной связи отсоединить генератор от первичного двигателя и подвести напряжение к обмоткам якоря и возбуждения, то якорь начнет вращаться, и машина будет работать как двигатель постоянного тока, преобразуя электрическую энергию в механическую. Двигатели независимого возбуждения наиболее полно удовлетворяют основным требованиям к исполнительным двигателям: самоторможение двигателя при снятии сигнала управления, широкий диапазон регулирования частоты вращения, линейность механических и регулировочных характеристик, устойчивость работы во всем диапазоне вращения, малая мощность управления, высокое быстродействие, малые габариты и масса.

Однако двигатели постоянного тока имеют существенные недостатки, накладывающие ограничение на область их применения: малый срок службы щеточного устройства из-за наличия скользящего контакта между щетками и коллектором, скользящий контакт является источником радиопомех.

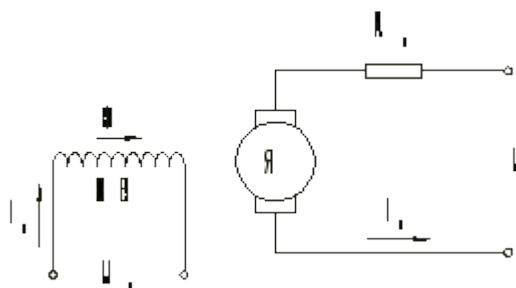


Рис. 1.1. Структурная схема двигателя независимого возбуждения

Подставим в уравнение второго закона Кирхгофа для якорной цепи I_a и E_a получим

$$U = E_a + I_a R_a,$$

$$R = R_a + R_{\text{д}},$$

где R_a - якорное сопротивление, $R_{\text{д}}$ - добавочное сопротивление.

Электродвижущая сила (ЭДС) якоря - E_a пропорциональна угловой скорости - ω , связь между ЭДС и угловой скоростью, а так же между вращающим моментом M и I_a в системе единиц СИ определяется единым электромагнитным коэффициентом

$$k_{EM} = \frac{pN}{2\pi a} \Phi$$

где p - число пар полюсов двигателя, N - число проводников обмотки якоря, a - число пар параллельных ветвей обмотки якоря, Φ - магнитный поток.

Причем

$$E = \alpha \Phi \omega$$

где α - конструктивный коэффициент.

$$\alpha = \frac{pN}{2\pi a}$$

$$\alpha = \frac{k_{EM}}{\Phi}$$

тогда ЭДС якоря

$$E = k_{EM} \omega$$

а момент

$$M = k_{EM} I_a$$

и напряжение, подаваемое на двигатель

$$U = E_a + I_a R = k_{EM} \omega + \frac{M}{k_{EM}} R$$

откуда

$$k_{EM} \omega = U - \frac{M}{k_{EM}} R$$

механическая характеристика двигателя постоянного тока записывается в виде

$$\omega = \frac{U}{k_{EM}} - \frac{M}{k_{EM}^2} R$$

Следовательно, механическая характеристика при $\Phi = \text{const}$ представляет собой прямую линию. Угловую скорость, соответствующую при $M = 0$ и номинальном напряжении - $U_{ном}$ запишем в виде

$$\omega_0 = \frac{U_{ном}}{k_{EM}}$$

Эту скорость называют угловой скоростью идеального холостого хода.

$$R = R_r + R_a$$

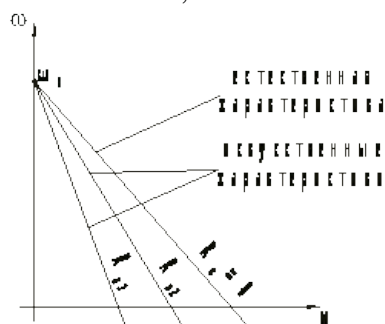


Рис. 1.2. Механические характеристики в двигательном режиме

Рассмотрим установившиеся режимы работы двигателя постоянного тока для случая, соответствующего постоянному моменту сопротивления.

Такая схема нагружения двигателя постоянного тока соответствует подъему или спуску постоянного груза.

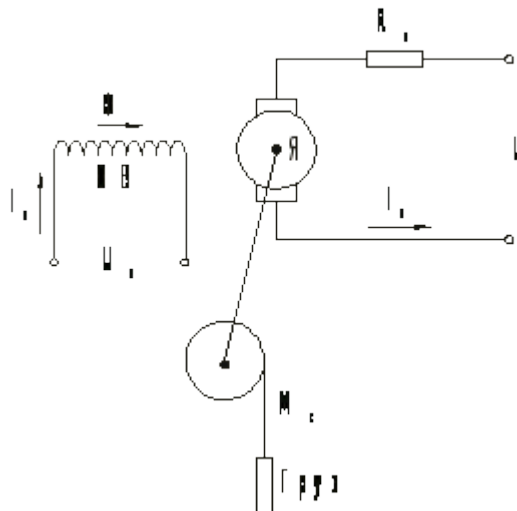


Рис. 1.3. Структурная схема нагружения двигателя постоянного тока для постоянного момента нагружения

В первом квадранте двигатель постоянного тока находится в двигательном режиме и потребляет энергию из сети. При вращении якоря со скоростью $\omega > \omega_0$ двигатель постоянного тока переходит из двигательного режима с моментом $M > 0$ (первый квадрант) в генераторный режим (второй квадрант) с отрицательным вращающим моментом (якорь вращается перпендикулярно, например, под действием инерции исполнительного механизма). При этом момент $M < 0$ и $I_a < 0$, т.е. двигатель постоянного тока отдает энергию в сеть.

Положив в выражение для механической характеристики $\omega = 0$ и $R = R_a$, $U = U_{ном}$, получим пусковой момент

$$M_n = \frac{k_{эм} U_{ном}}{R_a}$$

Так как пусковой ток

$$I_n = \frac{U_{ном}}{R_a},$$

то

$$M_n = k_{эм} I_n.$$

При включении двигателя без добавочного резистора (естественная характеристика - 1) груз поднимается со скоростью двигателя ω_1 . При включении добавочного резистора (искусственная характеристика - 2) груз не подвижен ($\omega_2 = 0$). При работе двигателя в режиме, определяемом характеристикой 3, груз опускается со скоростью ω_1 , искусственная характеристика 4 соответствует режиму динамического торможения, заключающемуся в отсоединении якорной цепи от источника и замыкании ее на добавочный резистор, характеристика 5 аналогична характеристике 2, но напряжение $U = U_{ном}$, характеристика 6 параллельна характеристике 1 и соответствует во втором квадранте противовключению при подаче напряжения $U = U_{ном}$.

Контрольные вопросы:

1. В чём состоит принцип обратимости электрических машин постоянного тока.
2. Опишите устройство и объясните принцип действия генератора постоянного тока независимого возбуждения.

3. Сравните характеристики генераторов постоянного тока в зависимости от типа возбуждения.
4. Поясните явление реакции якоря генератора.
5. Поясните явление коммутации в генераторе постоянного тока и приведите меры улучшения коммутации.
6. Объясните природу возникновения электромагнитного момента генератора постоянного тока.
7. Укажите вид основных характеристик генератора постоянного тока.

Практическая работа №11

Тема: Основы электропривода

Цель: Изучить основы электропривода

Производственные агрегаты состоят из большого, отдельных машин аппаратов и деталей, выполняющих различные функции. Все части агрегатов в совокупности совершают работу, которая обеспечивает какой-либо производственный процесс. Любой производственный агрегат или машинное устройство состоит из трёх основных частей: двигателя (служит для получения механической энергии), передаточного механизма (служит для передачи механической энергии от двигателя) и исполнительного механизма, выполняющего производственный процесс (крыльчатка вентилятора, барабан лебёдки, брашпиль и т.д.) [1]. Исполнительный механизм так же называют рабочим органом.

Первые два элемента сложного производственного агрегата служат для приведения в движение исполнительного механизма, поэтому их объединяют под общим названием привод.

Примером первого, простейшего привода является *ручной привод* (человек рукой приводил в движение устройство для совершения полезной работы), затем появился *конный привод* (усилие человека заменено тяговой силой животного). На смену им пришёл *механический привод*, в котором механическая энергия передавалась от ветряного, водяного колеса, паровой турбины, двигателя внутреннего сгорания.

В настоящее время для приведения в движение большинства рабочих машин применяется электрический двигатель и основным типом привода является электрический привод или *электропривод*.

Тема лекции 1 Основные понятия электропривода план лекции

1. **Структурная схема электропривода**
2. **Общая классификация электроприводов**
3. **Классификация судовых электроприводов**

1.1. Структурная схема электропривода

Электрический привод представляет собой электромеханическую систему, предназначенную для приведения в движение исполнительных органов рабочей машины и управления этим движением.

В общем случае электропривод состоит из 4-х устройств (рис.1.1):

1. преобразовательное;
2. электродвигательное;
3. передаточное;

управляющее.

Преобразовательное устройство предназначено для преобразования рода тока, напряжения и частоты тока питающей сети и передачи преобразованных параметров сети в электрическую часть электропривода. Поэтому оно включается между питающей сетью и электрической частью электропривода.

В качестве преобразовательных устройств используются:

1. для преобразования рода тока – **выпрямители**, преобразующие переменный ток в постоянный;

2. для преобразования напряжения – **трансформаторы**, преобразующие переменное напряжение одного значения в переменное напряжение другого значения той же частоты;

3. для преобразования частоты тока – **преобразователи частоты**, преобразующие переменный ток одной частоты в переменный ток другой, регулируемой частоты.

4. для преобразования напряжения – **инверторы**, преобразующие постоянное напряжение в переменное регулируемой амплитуды и частоты

Рассмотрим поочередно преобразовательные устройства.

Выпрямители

На судах выпрямители применяют в электроприводах, использующих в качестве источника механической энергии двигатель постоянного тока. К таким электроприводам относятся (в основном на судах старой постройки):

1. якорно – швартовные механизмы – брашпили;
2. грузоподъемные – грузовые лебёдки и краны;
3. гребные электрические установки, предназначенные для движения судна.

Мощность этих электродвигателей составляет десятки и сотни кВт.

Трансформаторы

Трансформаторы в судовых электроприводах, как правило, не применяются. Однако они нашли применение на берегу. Здесь от высоковольтных линий электропередач с напряжениями в сотни киловольт питаются предприятия с электроприводами напряжением 380В и 660В.

Преобразователи частоты

На судах статические тиристорные преобразователи частоты применяются в электроприводах переменного тока. К таким электроприводам относятся, в основном, грузоподъемные тяжеловесные устройства и гребные электрические установки.

Электродвигательное устройство предназначено для преобразования электрической энергии в механическую или, в некоторых системах судовых электроприводов (система генератор – двигатель), механической энергии в электрическую.

К электродвигательным устройствам относят электродвигатели постоянного и переменного тока, а также универсальные (переменно-постоянного тока). Последние нашли на судах ограниченное применение, в основном, в электроприводах вентиляторов мощностью до 250...300 Вт.

Передающее устройство предназначено для передачи механической энергии от электродвигателя к исполнительному органу механизма.

К передаточным устройствам относят механические, гидравлические и другие передачи. Передаточные устройства применяют в грузоподъемных, якорно-швартовных и рулевых механизмах. Например, в электроприводе грузовой лебёдки передаточным устройством является редуктор, расположенный между электродвигателем и грузовым барабаном лебёдки.

Простейшие по устройству электроприводы, например, вентиляторы и центробежные насосы, не имеют передаточного устройства, т.к. у них крылатка насажена непосредственно на вал электродвигателя.

Управляющее устройство предназначено для управления преобразовательным электродвигательным и передаточным устройствами. При помощи управляющего устройства задают необходимый режим работы всего электропривода, например, пуск, остановку, реверс, изменение скорости и др., например, в электроприводе грузовой лебёдки управляющее устройство состоит из командоконтроллера (с рукояткой управления) и

станции управления, внутри корпуса, которой находятся коммутационные и защитные электрические аппараты – контакторы, реле, предохранители и др.

В сложных современных судовых электроприводах составной частью управляющего устройства являются бортовые компьютеры, которые получают информацию от задатчиков и датчиков обратной связи и вырабатывают сигналы управления в соответствии с заданными алгоритмами (программами).

При этом, в качестве задатчиков используются рукоятки управления тремя механизмами крана (подъём, поворот, стрела), связанные с потенциометрами, в качестве датчиков – большое количество чувствительных элементов, измеряющих вес груза, давление в системе гидравлики величину тока, определяющих положение рабочих органов перечисленных механизмов и многое другое.

Контрольные вопросы:

1. Дайте определение электропривода и перечислите его основные функции.
2. Приведите примеры использования электропривода в промышленности, в быту, на транспорте.
3. Какие устройства образуют силовой канал электропривода, а какие — информационный?
4. По каким критериям можно классифицировать электроприводы?
5. Являются ли равнозначными, по Вашему мнению, термины «система управления электропривода» и «система управления электроприводом»?