

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ ЗАОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО РГАУ)

Факультет энергетики и охраны водных ресурсов
Кафедра электрооборудования и автоматики

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ И ВЫПОЛНЕНИЮ
КУРСОВОЙ РАБОТЫ

студентам 2* и 3 курсов направления подготовки бакалавров
35.03.06 Агроинженерия по профилю
«Электрооборудование и электротехнологии»

Составители: д.т.н., профессор Копылов С.И., к.т.н., доцент Переверзев А.А.,
к.т.н., доцент Попова М.В.

УДК 621.3 (075.5)

Теоретические основы электротехники: методические указания по изучению
дисциплины и выполнению курсовой работы / Рос. гос. аграр. заоч. ун-т; Сост.
Копылов С.И., Переверзев А.А., Попова М.В. М., 2016 г.

Предназначены для студентов 2* и 3 курсов.

Утверждены методической комиссией факультета энергетики и охраны водных
ресурсов протокол № 3 от 18 ноября 2016 г.

Рецензенты:

д.т.н., проф. Шичков Л.П., к.т.н., доцент Лычкин В.Н. (ФГБОУ ВО РГАЗУ)

Раздел 1. ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина «Теоретические основы электротехники» относится к дисциплинам вариативной части блока 1 «Дисциплины (модули)» ООП. Методические указания по данной дисциплине составлены в соответствии с требованиями Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия (уровень бакалавриата), утвержденного приказом Министерства образования и науки Российской Федерации № 1172 от 20 октября 2015 г.; рабочей учебной программы и учебного плана, утвержденными учёным советом ФГБОУ ВО РГАЗУ.

1.1. Цели и задачи дисциплины

Цель - изучение основных понятий и законов электротехники; методы анализа линейных и нелинейных электрических и магнитных цепей; овладение методами расчета электромагнитных полей; овладение методами расчета и синтеза электрических и магнитных цепей.

Задачами изучения дисциплины являются:

- усвоение основных законов линейных и нелинейных электрических цепей;
- овладение методами расчета электромагнитных полей, электрических и магнитных цепей;
- изучение организации сетевого питания;
- изучение симметричных режимов работы трёхфазных цепей;
- изучение несимметричных и аварийных режимов работы трёхфазных цепей;
- усвоение методов расчёта цепей несинусоидального тока;
- изучение динамических режимов работы цепей постоянного и синусоидального токов;
- формирование понятия о работе цепей с распределёнными параметрами.

Бакалавр по направлению подготовки 35.03.06 Агроинженерия должен решать следующие профессиональные задачи в соответствии с видами профессиональной деятельности – **научно-исследовательская деятельность (основная):**

- участие в проведении научных исследований по утвержденным методикам;
- участие в экспериментальных исследованиях, составления их описания и выводов.

В результате изучения дисциплины студент должен:

обладать общепрофессиональными компетенциями:

– способностью решать инженерные задачи с использованием основных законов механики, электротехники, гидравлики, термодинамики и теплообмена (ОПК-4);

– способностью проводить и оценивать результаты измерений (ОПК-6);

обладать профессиональными компетенциями, соответствующими виду профессиональной деятельности, на который ориентирована программа бакалавриата – **научно-исследовательская деятельность (основная):**

– готовностью к обработке результатов экспериментальных исследований (ПК-3).

знать: фундаментальные законы теории электромагнитного поля и теории цепей, современные методы расчета электрических цепей и электромагнитных полей, принципы действия и области применения основных электротехнических устройств; основные законы электротехники, методы расчета электрических цепей; способы расчёта несинусоидальных цепей; способы упрощённого расчёта нелинейных цепей;

уметь: применять теоретические знания к расчету, анализу и синтезу электрических цепей, а также составлять и решать уравнения конкретных цепей; исследовать электрические и магнитные цепи в статическом и динамическом режимах работы; подключать и использовать электротехнические и измерительные устройства; пользоваться осциллографом и другой измерительной аппаратурой;

владеть: методами построения и чтения электрических, функциональных и блок-схем основных электротехнических устройств, методами формирования и решения уравнений электрических цепей в установившихся и динамических режимах.

1.2. Библиографический список

Основной

1. Бессонов, Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учеб. для бакалавров/ Л.А. Бессонов. – 11-е изд., перераб. и доп. – М.: Юрайт, 2012. – 701 с.
2. Касаткин, А.С. Электротехника: учеб. для вузов/А.С. Касаткин, М.В. Немцов. –9-е изд., стер. – М.: Академия, 2008. – 544 с.
3. Теоретические основы электротехники. Нелинейные электрические цепи. Электромагнитные цепи: учеб. пособие/ под ред. Г.И. Атабекова.-6-е изд., стер.-СПб.: Лань, 2010. – 432 с.

Дополнительный

4. Атабеков, Г.И. Основы теории цепей: учебник/ Г.И.Атабеков.- 2-е изд., испр.-СПб.: Лань, 2006. - 424с.
5. Потапов, Л.А. Теоретические основы электротехники: учеб. пособие/ Л.А. Потапов. –СПб.: Лань, 2016. – 384 с.
6. 5. Аполлонский, С.М. Теоретические основы электротехники/ С.М. Аполлонский, А.Л. Виноградов. – М.: Кнорус, 2016. – 250 с.
7. Пономаренко, В.К. Электротехника: учеб. пособие [Электронный ресурс] / В.К. Пономаренко. – СПб.: ГОУ ВПО СПбГТУРП, 2010. – 105 с. // Федеральный портал "Российское образование". – Режим доступа: <http://window.edu.ru/resource/331/76331/files/ponomorenko.pdf>
8. Калинин, В.Ф. Теоретическая электротехника в электрооборудовании [Электронный ресурс] / В.Ф. Калинин, В.М. Иванов. – Тамбов: ТГТУ, 2010. – 316 с. // ФГБОУ ВО РГАЗУ. – Режим доступа: <http://window.edu.ru/resource/112/73112/files/kalin-a.pdf>
9. Ткаченко, Н.И. Электротехника и электроника [Электронный ресурс] / Н.И. Ткаченко, С.Е. Башняк. – Ростов н/Д.: Донской ГАУ, 2015. – 61 с. // ФГБОУ ВО РГАЗУ. – Режим доступа: <http://ebs.rgazu.ru/?q=node/4342>

1.3. Распределение учебного времени по модулям (разделам) и темам дисциплины

| № п/п | Наименование модуля (раздела) дисциплины | Всего, час. | В том числе: | | | | Рекомен- дуемая литерату- ра |
|---------------|--|----------------------|-------------------|-------------------|------------------|----------------------|---------------------------------------|
| | | | лек- ции | лаб. зан. | прак- . зан. | СРС | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1. | Модуль 1. Основные понятия и законы электромагнитного поля | 36 (36) | 2 (1) | - | - | 34 (35) | 1, 2, 5 |
| | Тема 1.1. Место дисциплины в общей системе электротехнического образования | 18 (18) | 1 (0,5) | - | - | 17 (17,5) | 1, 2 |
| | Тема 1.2. Теория электромагнитного поля | 18 (18) | 1 (0,5) | - | - | 17 | 1, 5 |
| 2. | Модуль 2. Электрические цепи постоянного тока | 36 (36) | 2 (2) | - | 2 (2) | 32 (32) | 1, 2, 5 |
| | Тема 2.1. Основные законы цепей постоянного тока | 18 (18) | 1 (1) | - | 1 (1) | 16 (16) | 1, 2, 5 |
| | Тема 2.2. Методы расчета цепей постоянного тока | 18 (18) | 1 (1) | - | 1 (1) | 16 (16) | 1, 2, 5 |
| 3 | Модуль 3. Электрические цепи однофазного синусоидального тока | 36 (36) | 2 (2) | 4 (-) | 2 (2) | 28 (32) | 1, 2 |
| | Тема 3.1. Синусоидальные напряжения и ЭДС | 18 (18) | 1 (1) | 4 (-) | 1 (1) | 12 (16) | 1, 2 |
| | Тема 3.2. Методы расчета цепей синусоидального тока | 18 (18) | 1 (1) | - | 1 (1) | 16 (16) | 1 |
| 4. | Модуль 4. Электрические цепи трехфазного синусоидального тока | 36 (36) | 2 (1) | 4 (4) | 2 | 28 (31) | 2, 5 |
| | Тема 4.1. Понятия о трехфазных цепях | 18 (18) | 1 (0,5) | 2 (2) | - | 15 (15,5) | 2, 5 |
| | Тема 4.2. Расчеты трехфазных цепей | 18 (18) | 1 (0,5) | 2 (2) | 2 | 23 (15,5) | 2 |
| 5. | Модуль 5. Нелинейные цепи постоянного и синусоидального токов | - (36) | - (1) | - | - | - (35) | 3, 4 |
| | Тема 5.1. Нелинейные цепи постоянного тока | - (18) | - (0,5) | - | - | - (17,5) | 3, 4 |
| | Тема 5.2. Нелинейные цепи синусоидального тока | - (18) | - (0,5) | - | - | - (17,5) | 3, 4 |
| 6. | Модуль 6. Магнитные цепи и цепи с распределенными параметрами | - (36) | - (1) | - (4) | - | - (33) | 3, 4, 6 |
| | Тема 6.1. Магнитные цепи при постоянных магнитных потоках | - (18) | - (0,5) | - (2) | - | - (15,5) | 3, 6 |
| | Тема 6.2. Электрические цепи с распределенными параметрами | - (18) | - (0,5) | - (2) | - | - (15,5) | 3, 4, 6 |
| 7. | Модуль 7. Электрические цепи несинусоидального периодического тока | - (36) | - (1) | - (2) | - | - (33) | 2, 4, 5, 7 |
| | Тема 7.1. Методы разложения несинусоидальных функций в ряд Фурье | - (18) | - (0,5) | - (1) | - | - (16,5) | 2, 5 |
| | Тема 7.2. Методы расчета цепей несинусоидального тока | - (18) | - (0,5) | - (1) | - | - (16,5) | 2, 4, 7 |
| 8. | Модуль 8. Работа электрических цепей в динамическом режиме | - (36) | - (1) | - | - (2) | - (33) | 4, 5 |
| | Тема 8.1. Понятие о переходных процессах в электрических цепях | - (18) | - (0,5) | - | - (1) | - (16,5) | 4,5 |
| | Тема 8.2. Методы расчета переходных процессов | - (18) | - (0,5) | - | - (1) | - (16,5) | 4,5 |
| Всего: | | 144 (288) | 8 (10) | 8 (10) | 6 (6) | 122 (262) | |

В скобках представлены часы для сокращенного срока обучения.

Раздел 2. СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНЫХ МОДУЛЕЙ ДИСЦИПЛИНЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ИХ ИЗУЧЕНИЮ

2.1. Модуль 1. Основные понятия и законы электромагнитного поля

2.1.1. Содержание модуля

Тема 1.1. *Место дисциплины в общей системе электротехнического образования.* Место дисциплины в общей системе электротехнического образования: основные этапы развития электротехники, место дисциплины в общей системе электротехнического образования.

Тема 1.2. *Теория электромагнитного поля.* Теория электромагнитного поля, общая физическая основа задач электромагнитного поля и теории электрических и магнитных цепей.

2.1.2. Методические указания по изучению модуля

Изучите материал модуля в межсессионный период, используя рекомендуемую литературу. Кратко законспектируйте его основное содержание, чтобы быть готовым устно изложить его материал. Для самопроверки используйте ниже приведённые вопросы для самоконтроля.

2.1.3. Вопросы для самоконтроля

1. Явление электромагнитной индукции.
2. Явление самоиндукции и ЭДС самоиндукции. Индуктивность. Явление взаимной индукции. ЭДС взаимной индукции.
3. Чему равна магнитная сила, действующая на проводник с током?
4. Энергия магнитного поля уединенной катушки.
5. Плотность энергии магнитного поля.

2.1.4. Задания для самостоятельной работы

Используя вопросы для самоконтроля и рекомендуемую литературу, прежде всего, из основного списка проверьте свои знания. Кратко законспектируйте ответы. Дополнительно используйте для самоконтроля знаний тесты:

1. Единица измерения напряженности магнитного поля:
- V/m (вольт на метр); - A/m (ампер на метр); - $Tл$ (тесла).
2. Сила, действующая на точечный заряд q равна:
- $F = qE$; - $F = D/q$; - $F = \mu_0 Hq$.
3. Что такое ток проводимости?
- скорость прохождения подвижных зарядов электропроводящего тела через некоторую поверхность;
- скорость изменения потока вектора электрического смещения через некоторую поверхность;
- скорость перемещения в свободном пространстве электрически заряженных частиц.

2.2. Модуль 2. Электрические цепи постоянного тока

2.2.1. Содержание модуля

Тема 2.1. *Основные законы цепей постоянного тока.* Законы Ома и Кирхгофа, принцип составления уравнений по законам Кирхгофа.

Тема 2.2. *Методы расчета цепей постоянного тока.* Методы расчета

2.7.3. Вопросы для самоконтроля

1. Причины возникновения несинусоидальных напряжений и токов.
2. Условие разложения несинусоидальных величин в ряд Фурье.
3. Формулы разложения в ряд Фурье.
4. Разложение в ряд Фурье аналитически и графическим методом.
5. Четные и нечетные синусные и косинусные гармоники.

2.7.4. Задания для самостоятельной работы

Используя вопросы для самоконтроля и рекомендуемую литературу, прежде всего, из основного списка проверьте свои знания. Кратко законспектируйте ответы. Дополнительно используйте для самоконтроля знаний тесты:

1. Феррорезонанс токов возникает в цепях:
 - с последовательным соединением катушки с сердечником и конденсатора;
 - с последовательным соединением катушки с сердечником и резистора;
 - с параллельным соединением катушки с сердечником и конденсатора.
2. Для уменьшения потерь мощности на гистерезис выбирается материал:
 - с широкой петлёй гистерезиса;
 - с узкой петлёй гистерезиса;
 - ширина петли гистерезиса не имеет значения.
3. Феррорезонанс напряжений возникает в цепях:
 - с параллельным соединением резистора, катушки с сердечником и конденсатора;
 - с последовательным соединением резистора и катушки индуктивности;
 - с последовательным соединением катушки с сердечником и конденсатора.

2.8. Модуль 8. Работа электрических цепей в динамическом режиме

2.8.1. Содержание модуля

Тема 8.1. *Понятие о переходных процессах в электрических цепях.*

Причины возникновения и сущность переходных процессов.

Тема 8.2. *Методы расчета переходных процессов.*

Классический метод расчета переходных процессов, порядок расчета, расчет переходного процесса в цепи с одним накопителем и несколькими накопителями электрической энергии, операторный метод расчета, преобразование Лапласа

2.8.2. Методические указания по изучению модуля

Изучите материал модуля в межсессионный период, используя рекомендуемую литературу. Кратко законспектируйте его основное содержание, чтобы быть готовым устно изложить его материал. Для самопроверки используйте ниже приведённые вопросы для самоконтроля.

2.8.3. Вопросы для самоконтроля

1. Причины возникновения переходного процесса в электрических цепях.
2. Каким явлением в электрических цепях сопровождается переходный процесс?
3. Первый закон коммутации.
4. Второй закон коммутации.
5. Методы расчета переходных процессов. Классический и операторный метод.

2.8.4. Задания для самостоятельной работы

Используя вопросы для самоконтроля и рекомендуемую литературу, прежде всего, из основного списка проверьте свои знания. Кратко законспектируйте

ответы. Дополнительно используйте для самоконтроля знаний тесты:

1. Две последовательно соединенные индуктивно связанные катушки включены встречно, причем взаимная индуктивность равна половине собственной индуктивности первой катушки. Как изменится напряжение на первой катушке, если в условиях режима заданного тока уменьшить до нуля коэффициент связи? Активным сопротивлением катушек пренебречь.

- увеличится вдвое; - уменьшится вчетверо; - уменьшится вдвое.

2. Как изменится взаимная индуктивность двух катушек без ферромагнитного сердечника, если ток в одной из них увеличить в два раза?

- не изменится; - увеличится в 4 раза; - увеличится в 2 раза.

3. Как изменится взаимная индуктивность двух катушек без ферромагнитного сердечника, если числа витков обеих катушек уменьшить в два раза?

- не изменится; - уменьшится в 4 раза; - уменьшится в 2 раза.

Раздел 3. ЗАДАНИЯ ДЛЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ЕЁ ВЫПОЛНЕНИЮ

3.1. Методические указания по выполнению курсовой работы

3.1.1. Требования к оформлению курсовой работы

Курсовая работа должна содержать расчетно-пояснительную записку и графический материал (векторные диаграммы). Текстовая часть расчетно-пояснительной записки пишется на листах формата А4 (210x297мм) с отступами в 30 мм с левой стороны листа и по 20 мм с трех других сторон. Графический материал (векторные диаграммы) выполнять на отдельных листах такого же формата А4. Электрические схемы следует давать по тексту. Схемы и векторные диаграммы должны выполняться в соответствии с действующими требованиями Единой Системы Конструкторской Документации (ЕСКД). В начале расчетно-пояснительной записки следует привести содержание курсовой работы и таблицу исходных данных в соответствии с шифром зачетной книжки.

Изложение решения задачи должно сопровождаться краткими, но исчерпывающими пояснениями. Расчетные формулы первоначально приводят в общем виде. Каждой формуле присваивается номер, который записывается арабскими цифрами в круглых скобках на уровне формулы в крайнем правом положении. Нумерация формул разрешается как сквозной, так и по разделам (но не по подразделам или пунктам). Пояснения символов формулы с указанием их размерностей даются под формулой в той последовательности, в которой они приведены в формуле. Первая строка пояснения начинается с начала строки со слова «где» без двоеточия после него. Затем в формулы подставляют вместо символов соответствующие числовые значения и приводят конечный результат. Все листы расчетно-пояснительной записки должны быть пронумерованы и сброшюрованы.

В конце курсовой работы нужно привести список использованной литературы. Список литературы записывается в той последовательности, в которой дается ссылка на литературу в тексте. Ссылки в тексте на литературу задаются в косых скобках, например, /2/ или /2, с35/, если при этом указывается страница. В конце курсовой

работы нужно также поставить свою подпись. Курсовая работа в бумажном виде сдаётся в деканат, кроме того в электронном виде курсовая работа обязательно должна быть размещена на ресурсах электронной информационно-образовательной среды (ЭИОС) ФГБОУ ВО РГАЗУ в форме для сдачи курсовой работы.

3.1.2. Требования к выбору варианта задания

Исходные данные для индивидуального задания студент выбирает из таблицы 3.1 по двум последним цифрам шифра зачетной книжки и из таблицы 3.2 – по последней цифре шифра.

Таблица 3.1

Напряжение сети и параметры двигателя

| Последние две цифры шифра | Напряжение сети $U, В$ | Параметры двигателя: | | | |
|---------------------------|------------------------|----------------------------------|---------------------|------------------------------------|--------|
| | | напряжение двигателя $U_{дв}, В$ | мощность $P_N, кВт$ | коэффициент мощности $\cos\varphi$ | КПД, % |
| от 01 до 20 | 380 | 380/220 | 1,5 | 0,85 | 81,0 |
| от 21 до 40 | 380 | 380/220 | 4,0 | 0,88 | 87,0 |
| от 41 до 60 | 380 | 380/220 | 5,5 | 0,89 | 88,0 |
| от 61 до 80 | 220 | 380/220 | 7,5 | 0,88 | 87,5 |
| от 81 до 00 | 220 | 220/127 | 11,0 | 0,90 | 88,0 |

Таблица 3.2

Сопроотивления линии и печи

| Последняя цифра шифра студента | Сопроотивление линии в комплексной форме $\underline{Z}_l, Ом$ | Сопроотивление фазы печи $R, Ом$ |
|--------------------------------|--|----------------------------------|
| 1 | $1+j6$ | 21 |
| 2 | $3+j4$ | 15 |
| 3 | $2+j4$ | 24 |
| 4 | $2+j8$ | 18 |
| 5 | $3+j8$ | 12 |
| 6 | $1+j4$ | 27 |
| 7 | $2+j8$ | 30 |
| 8 | $1+j8$ | 15 |
| 9 | $3+j6$ | 21 |
| 0 | $2+j6$ | 18 |

3.2. Задание для курсовой работы

Тема курсовой работы: «Расчет трехфазной цепи синусоидального тока»

В начале трехфазной сети с линейным напряжением U подключен электродвигатель, а в конце линии – электрическая печь, фазы которой соединены треугольником.

Требуется:

1. Выбрать схему соединения обмоток электродвигателя и начертить схему заданной цепи.
2. Вычислить:
 - 2.1. Линейные токи электродвигателя;
 - 2.2. Линейные токи печи;

- 2.3. Входные токи цепи;
- 2.4. Фазные токи печи;
- 2.5. Падения напряжения в линии;
- 2.6. Фазные (линейные) напряжения на зажимах печи;
- 2.7. Потери активной мощности в линии.

3. Построить:

- 3.1. Векторную диаграмму фазных и линейных напряжений цепи;
- 3.2. Векторную диаграмму линейных токов двигателя;
- 3.3. Векторную диаграмму фазных и линейных токов печи.

4. В аварийном режиме при обрыве фазы **CA** печи:

- 4.1. Определить линейные токи несимметричной нагрузки и построить векторную диаграмму фазных напряжений и токов;
- 4.2. Определить входные токи цепи.

Перед выполнением работы необходимо освоить операции с комплексными числами.

Вычисление всех числовых значений следует выполнять с точностью до сотых (или до трех значащих цифр, если число меньше единицы). Вычисление значений углов (в градусах) выполнять с точностью до десятых.

Правильность вычисления линейных токов проверять по первому закону Кирхгофа.

3.3. Пример выполнения задания

Пусть по шифру зачетной книжки выбраны исходные данные:

| Напряжение сети $U, В$ | Двигатель | | | | Сопровиления | |
|------------------------|-------------|------------|----------------|--------|--------------|---------|
| | $U_{дв}, В$ | $P_H, кВт$ | $\cos \varphi$ | КПД, % | $Z_L, Ом$ | $R, Ом$ |
| 220 | 220/127 | 2,2 | 0,75 | 73,3 | $2+j7$ | 24 |

Решение

1. Выбираем схему соединения обмоток электродвигателя, исходя из соотношения между напряжением сети и линейным напряжением двигателя: так как линейное напряжение двигателя совпадает с напряжением сети, обмотки электродвигателя соединяем в звезду.

Схема заданной цепи представлена на рис. 3.1.

Расчет симметричной трехфазной цепи обычно выполняют только для какой-то одной фазы. Тогда токи других фаз будут по величине равны вычисленным токам, а по фазе сдвинуты относительно них соответственно на $\pm 120^\circ$.

Для перехода от заданной трехфазной цепи (рис. 3.1) к расчетной однофазной цепи предварительно преобразуем схему симметричного треугольника в эквивалентную звезду (рис. 3.2), вычислив сопротивление луча эквивалентной звезды по формуле $R' = R/3$:

$$R' = 24/3 = 8 Ом.$$

Затем мысленно соединяем нулевым проводом (пунктирные линии) нулевые точки эквивалентной звезды и звезды обмоток двигателя с нулевой точкой сети и выделяем фазу A из симметричной трехфазной цепи с нулевым проводом, получая расчетную однофазную цепь (рис. 3.3).

2. Вычисляем:

2.1. Линейные токи электродвигателя:

По схеме рис. 3.2 линейный ток фазы A электродвигателя

$$I'_A = \frac{P_H}{\sqrt{3}U \cos\varphi \cdot \eta}, \quad (1)$$

где P_H – мощность, потребляемая двигателем из сети, кВт;

U – линейное напряжение сети, В;

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности двигателя;

η – КПД двигателя.

$$I'_A = \frac{2,2 \cdot 10^3}{1,73 \cdot 220 \cdot 0,75 \cdot 0,733} = 10,51 \text{ A}.$$

Этот ток отстает от фазного напряжения \dot{U}_A на угол сдвига фаз

$$\varphi = \arccos 0,75 = 41,4^\circ.$$

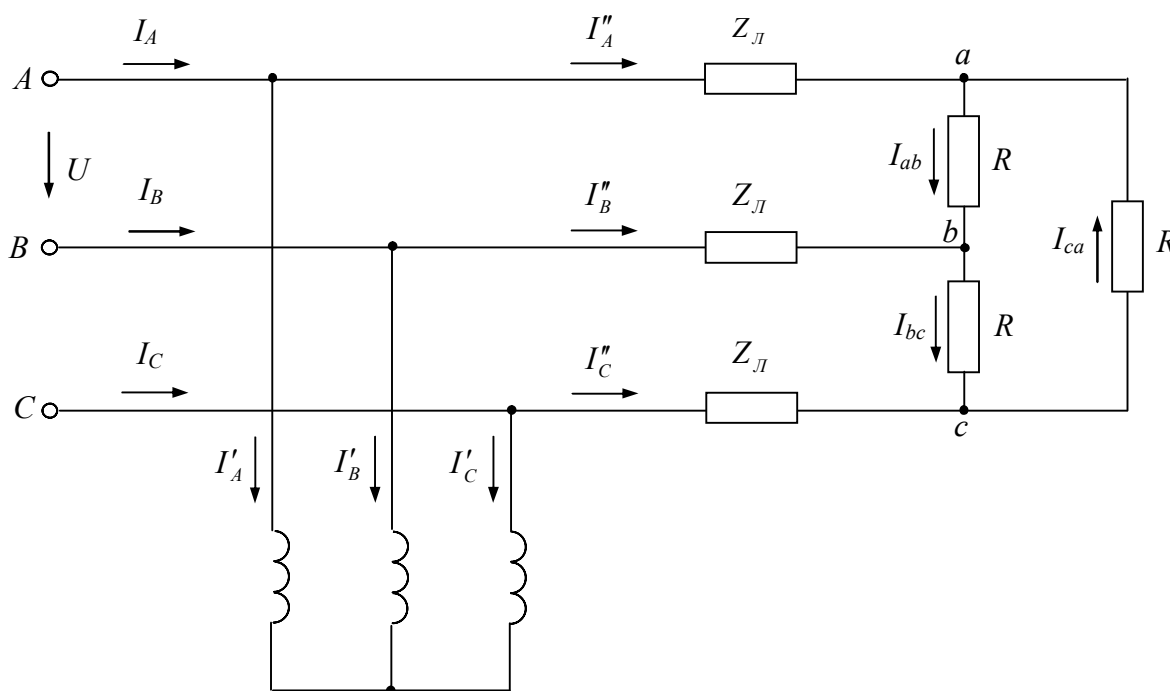


Рис. 3.1. Схема заданной трехфазной цепи.

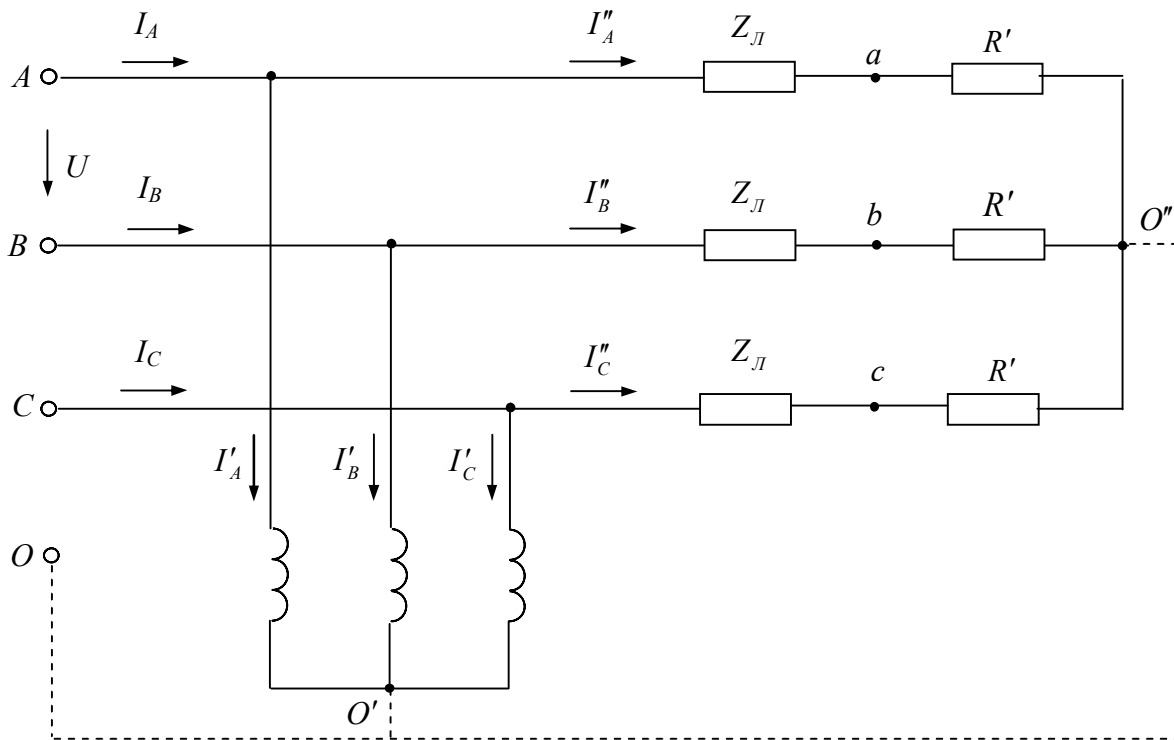


Рис. 3.2. Схема эквивалентной трехфазной цепи.

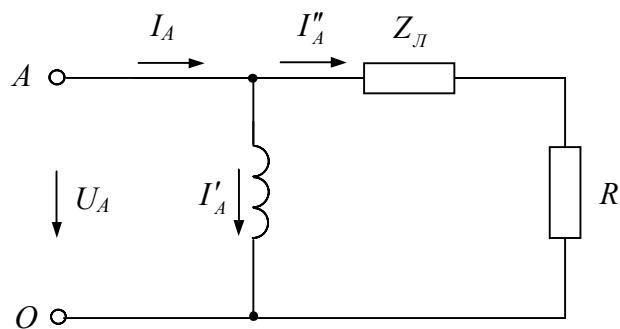


Рис. 3.3. Схема расчетной однофазной цепи.

Запишем в комплексной форме этот ток и токи других фаз (здесь и в дальнейшем все комплексные числа записываем в показательной и алгебраической формах):

$$\dot{I}'_A = I'_A e^{-j\varphi} = 10,51 e^{-j41,4^\circ} = 7,88 - j6,95 \text{ A};$$

ток фазы *B* отстает по фазе от тока фазы *A* на 120° , поэтому

$$\dot{I}'_B = \dot{I}'_A e^{-j120^\circ} = 10,51 e^{-j41,4^\circ} \cdot e^{-j120^\circ} = 10,51 e^{-j161,4^\circ} = -9,96 - j3,35 \text{ A};$$

ток фазы *C* опережает по фазе ток фазы *A* на 120° , поэтому

$$\dot{I}'_C = \dot{I}'_A e^{j120^\circ} = 10,51 e^{-j41,4^\circ} \cdot e^{j120^\circ} = 10,51 e^{j78,6^\circ} = 2,08 + j10,3 \text{ A}.$$

Проверяем по I закону Кирхгофа правильность вычислений:

$$\dot{I}'_A + \dot{I}'_B + \dot{I}'_C = 7,88 - j6,95 - 9,96 - j3,35 + 2,08 + j10,3 = 0 + j0 = 0 \quad \text{— верно.}$$

2.2. Линейные токи печи:

Предварительно найдем полное сопротивление луча эквивалентной звезды (рис. 3.2):

$$\underline{Z} = \underline{Z}_{\text{л}} + R' = 2 + j7 + 8 = 10 + j7 = 12,21e^{j35^0} \text{ Ом.}$$

Тогда по закону Ома

$$\dot{I}''_A = \frac{\dot{U}_A}{\underline{Z}} = \frac{127}{12,21e^{j35^0}} = 10,4e^{-j35^0} = 8,52 - j6 \text{ А,}$$

а токи других фаз сдвинуты по фазе относительно этого тока на $\pm 120^0$:

$$\dot{I}''_B = \dot{I}''_A \cdot e^{-j120^0} = 10,4e^{-j35^0} \cdot e^{-j120^0} = 10,4e^{-j155^0} = -9,43 - j4,4 \text{ А;}$$

$$\dot{I}''_C = \dot{I}''_A \cdot e^{j120^0} = 10,4e^{-j35^0} \cdot e^{j120^0} = 10,4e^{j85^0} = 0,91 + j10,36 \text{ А.}$$

Проверяем по I закону Кирхгофа:

$$\dot{I}''_A + \dot{I}''_B + \dot{I}''_C = 8,52 - j6 - 9,43 - j4,4 + 0,91 + j10,36 = 0 - j0,04 \approx 0 \quad \text{— верно.}$$

2.3. Входные токи цепи определяем через линейные токи двигателя и печи по первому закону Кирхгофа соответственно для узлов *a*, *b*, *c* (рис. 3.2):

$$\dot{I}_A = \dot{I}'_A + \dot{I}''_A = 7,88 - j6,95 + 8,52 - j6 = 16,4 - j12,95 = 20,9e^{-j38,3^0} \text{ А;}$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}'_B + \dot{I}''_B = -9,96 - j3,35 - 9,43 - j4,4 = -19,39 - j7,75 = 20,9e^{-j158,3^0} \text{ А;}$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}'_C + \dot{I}''_C = 2,08 + j10,3 + 0,91 + j10,36 = 2,99 + j20,66 = 20,9e^{-j81,7^0} \text{ А.}$$

2.4. Фазные токи печи вычисляем через линейные токи печи, помня, что для симметричного режима ток фазы *ab* опережает линейный ток фазы *A* на 30^0 и по величине в $\sqrt{3}$ меньше линейного тока:

$$\dot{I}_{ab} = \frac{\dot{I}''_A}{\sqrt{3}} \cdot e^{j30^0} = \frac{10,4e^{-j35^0}}{1,73} \cdot e^{j30^0} = 6,01e^{-j5^0} = 5,99 - j0,52 \text{ А.}$$

Фазные токи для фаз *bc* и *ca* печи

$$\dot{I}_{bc} = \dot{I}_{ab} \cdot e^{-j120^0} = 6,01e^{-j5^0} \cdot e^{-j120^0} = 6,01e^{-j125^0} = -3,45 - j4,92 \text{ А;}$$

$$\dot{I}_{ca} = \dot{I}_{ab} \cdot e^{j120^0} = 6,01e^{-j5^0} \cdot e^{j120^0} = 6,01e^{j115^0} = -2,54 + j5,45 \text{ А.}$$

2.5. Падения напряжения в фазе *A* линии вычисляем по закону Ома как произведение линейного тока на сопротивление линии, предварительно записав это сопротивление в показательной форме:

$$\underline{Z}_{\text{л}} = 2 + j7 = 7,28e^{j74,1^0} \text{ Ом;}$$

$$\Delta \dot{U}_A = \dot{I}_A'' \cdot \underline{Z}_{\text{л}} = 10,4e^{-j35^\circ} \cdot 7,28e^{j74,1^\circ} = 75,71e^{j39,1^\circ} = 58,75 + j47,75 \text{ В.}$$

Падения напряжения в других фазах линии:

$$\Delta \dot{U}_B = \Delta \dot{U}_A \cdot e^{-j120^\circ} = 75,71e^{-j80,9^\circ} = 11,97 - j74,76 \text{ В;}$$

$$\Delta \dot{U}_C = \Delta \dot{U}_A \cdot e^{j120^\circ} = 75,71e^{j159,1^\circ} = -70,73 + j27,01 \text{ В.}$$

2.6. Для определения линейных напряжений эквивалентной звезды предварительно найдем фазное напряжение \dot{U}_a эквивалентной звезды либо по закону Ома:

$$\dot{U}_a = \dot{I}_A'' \cdot R', \quad (2)$$

либо как разность фазного напряжения \dot{U}_A на входе линии и падения напряжения в фазе A линии:

$$\dot{U}_a = \dot{U}_A - \Delta \dot{U}_A. \quad (3)$$

Воспользуемся формулой (2):

$$\dot{U}_a = 10,4e^{-j35^\circ} \cdot 8 = 83,2e^{-j35^\circ} = 68,05 - j47,72 \text{ В.}$$

Фазные напряжения других фаз эквивалентной звезды:

$$\dot{U}_b = \dot{U}_a \cdot e^{-j120^\circ} = 83,2e^{-j35^\circ} \cdot e^{-j120^\circ} = 83,2e^{-j155^\circ} = -75,4 - j35,16 \text{ В;}$$

$$\dot{U}_c = \dot{U}_a \cdot e^{j120^\circ} = 83,2e^{-j35^\circ} \cdot e^{j120^\circ} = 83,2e^{j85^\circ} = 7,25 + j82,88 \text{ В.}$$

Так как эквивалентная звезда симметрична, линейное напряжение на ее зажимах a и b опережает фазное напряжение \dot{U}_a на 30° и по величине больше этого напряжения в $\sqrt{3}$:

$$\dot{U}_{ab} = \sqrt{3}\dot{U}_a e^{j30^\circ}. \quad (4)$$

Вычисляем по формуле (4) фазное (линейное) напряжение фазы ab печи: $\dot{U}_{ab} = 1,73 \cdot 83,2e^{-j35^\circ} \cdot e^{j30^\circ} = 143,94e^{-j5^\circ} = 143,39 - j12,55 \text{ В.}$

Находим фазные (линейные) напряжения других фаз печи:

$$\dot{U}_{bc} = \dot{U}_{ab} \cdot e^{-j120^\circ} = 143,94e^{-j5^\circ} \cdot e^{-j120^\circ} = 143,94e^{-j125^\circ} = -82,56 - j117,91 \text{ В;}$$

$$\dot{U}_{ca} = \dot{U}_{ab} \cdot e^{j120^\circ} = 143,94e^{-j5^\circ} \cdot e^{j120^\circ} = 143,94e^{j115^\circ} = -60,85 + j130,45 \text{ В.}$$

2.7. Потери активной мощности в линии:

$$\Delta P = 3 \cdot (I_A'')^2 \cdot R_{\text{л}}, \quad (5)$$

где $R_{\text{л}}$ - действительная часть комплекса сопротивления линии, Ом.

Вычисляем: $\Delta P = 3 \cdot 10,4^2 \cdot 2 = 648,96 \text{ Вт} \approx 0,65 \text{ кВт}.$

3. По результатам вычислений строим векторные диаграммы.

Для построения векторной диаграммы выбираем необходимый масштаб, например

для $U = 380V$

$m_U = 40V/cm$,

для $U = 220V$

$m_U = 25V/cm$.

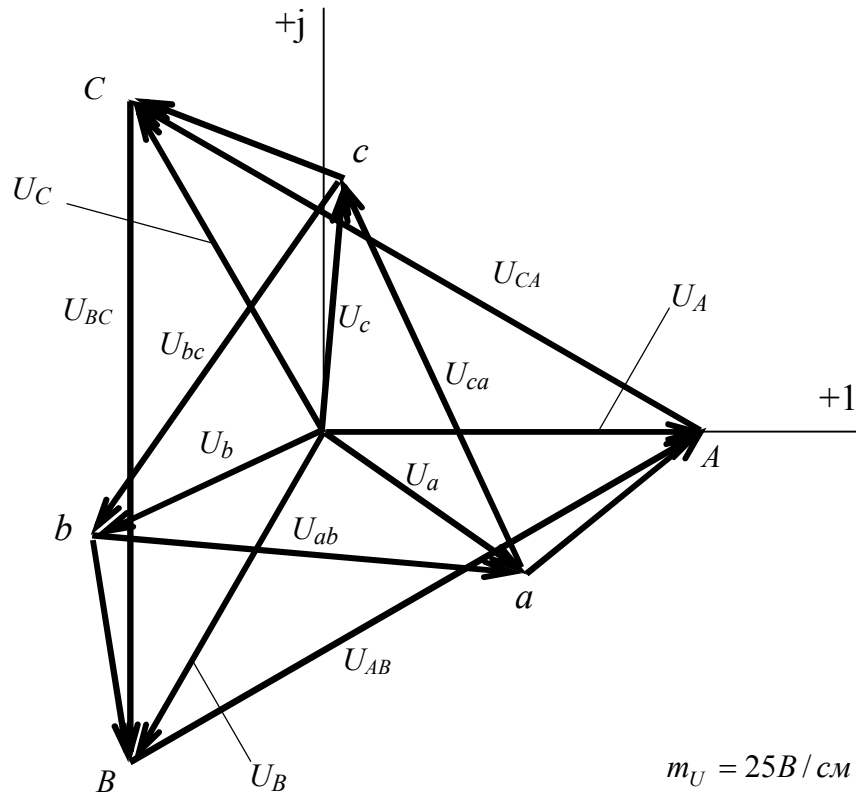


Рис. 3.4. Векторная диаграмм фазных и линейных напряжений сети.

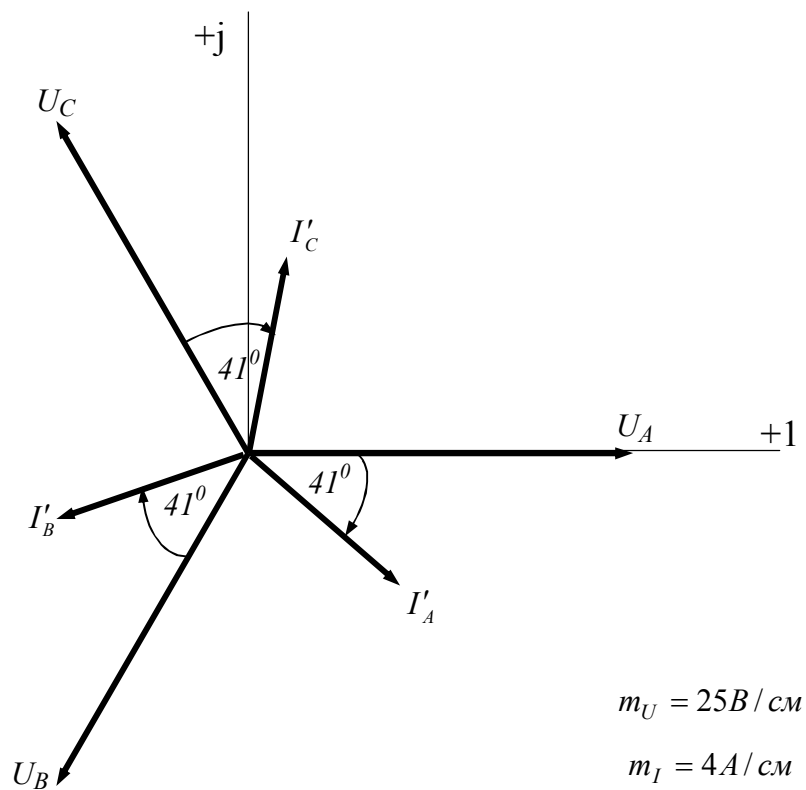


Рис. 3.5. Векторная диаграмма линейных токов двигателя.

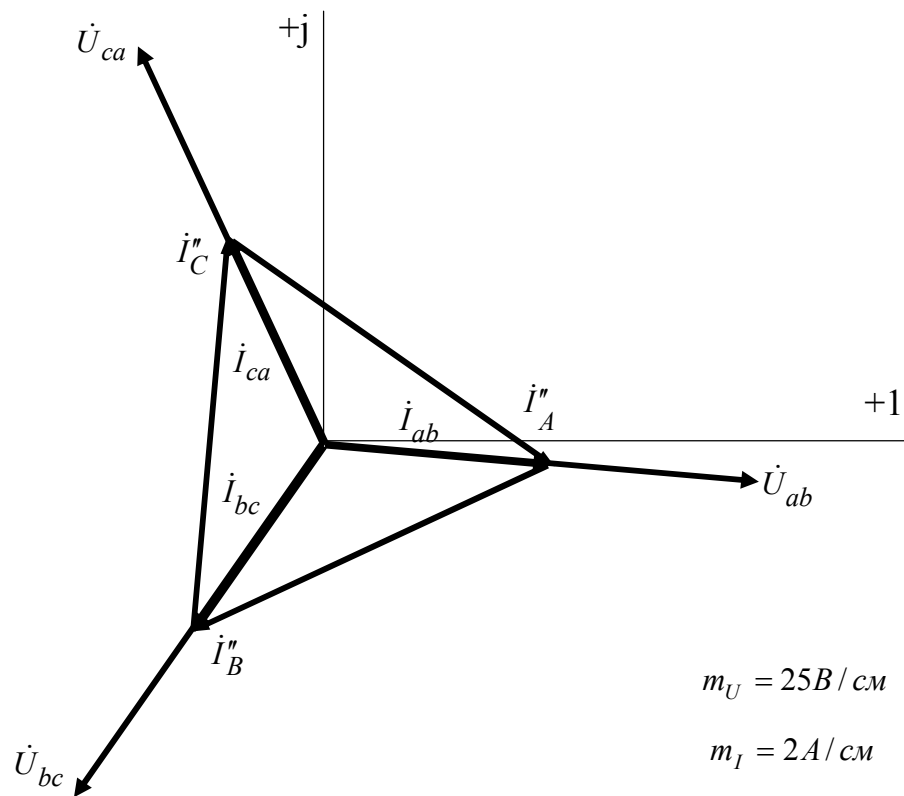


Рис. 3.6. Векторная диаграмма фазных и линейных токов печи.

4. В аварийном режиме при обрыве фазы *CA* печи:

- линейные токи двигателя остались без изменения, так как не изменились напряжение и параметры двигателя.

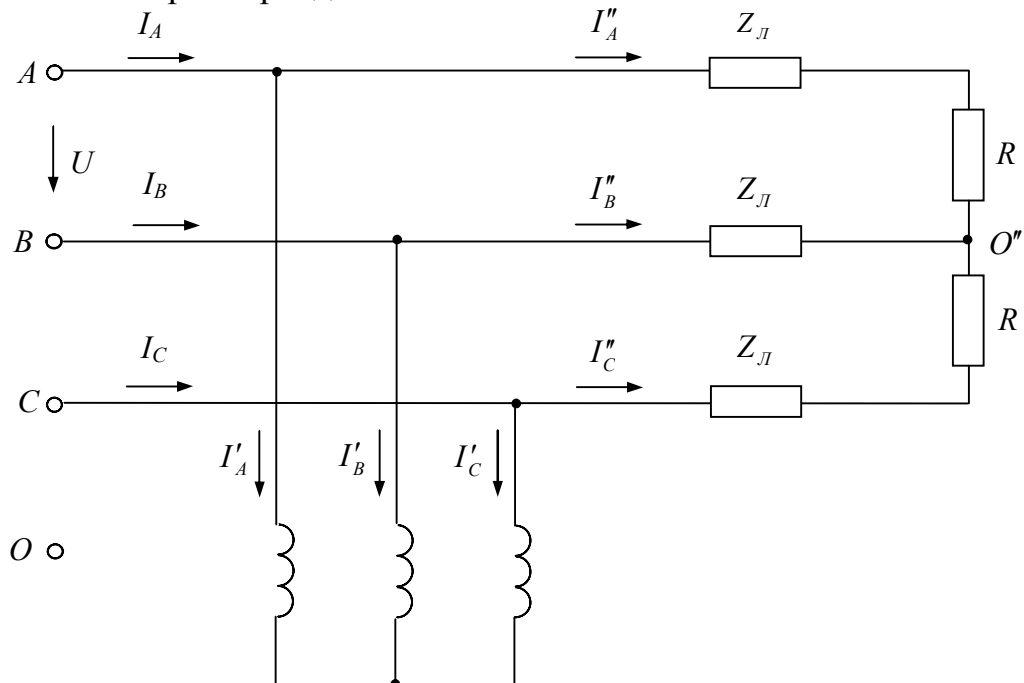


Рис. 3.7. Схема трехфазной цепи в аварийном режиме.

4.1. Определение токов несимметричной нагрузки.

4.1.1. Предварительно найдем фазные напряжения несимметричной цепи (их можно найти по фазным напряжениям сети и напряжению смещения нейтрали или по линейным напряжениям сети):

Напряжение смещения нейтрали

$$\dot{U}_{O'O} = \frac{\dot{U}_A \underline{Y}_A + \dot{U}_B \underline{Y}_B + \dot{U}_C \underline{Y}_C}{\underline{Y}_A + \underline{Y}_B + \underline{Y}_C}, \quad (6)$$

где $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$ – фазные напряжения сети, В;

$\underline{Y}_A, \underline{Y}_B, \underline{Y}_C$ – проводимости фаз, См.

$$\dot{U}_B = \dot{U}_A \cdot e^{-j120^\circ} = 127e^{-j120^\circ} = -63,5 - j110, \text{ В};$$

$$\dot{U}_C = \dot{U}_A \cdot e^{j120^\circ} = 127e^{j120^\circ} = -63,5 + j110, \text{ В}.$$

Вычислим проводимости $\underline{Y}_A, \underline{Y}_B, \underline{Y}_C$, предварительно найдя сопротивления фаз несимметричной нагрузки:

$$\underline{Z}_A = \underline{Z}_C = \underline{Z}_л + R = 2 + j7 + 24 = 26 + j7 = 26,93e^{j15,1^\circ} \text{ Ом};$$

$$\underline{Z}_B = \underline{Z}_л = 2 + j7 = 7,28e^{j74,1^\circ} \text{ Ом}.$$

Тогда:

$$\underline{Y}_A = \underline{Y}_C = \frac{1}{\underline{Z}_A} = \frac{1}{26,93e^{j15,1^\circ}} = 0,0371e^{-j15,1^\circ} = 0,0358 - j0,0097 \text{ См};$$

$$\underline{Y}_B = \frac{1}{\underline{Z}_B} = \frac{1}{7,28e^{j74,1^\circ}} = 0,1374e^{-j74,1^\circ} = 0,0376 - j0,1321 \text{ См}.$$

Теперь по формуле (6) вычисляем напряжение смещения нейтрали:

$$\begin{aligned} \dot{U}_{O'O} &= \frac{127 \cdot 0,0371e^{-j15,1^\circ} + 127e^{-j120^\circ} \cdot 0,1374e^{-j74,1^\circ} + 127e^{j120^\circ} \cdot 0,0371e^{-j15,1^\circ}}{0,0358 - j0,0097 + 0,0376 - j0,1321 + 0,0358 - j0,0097} = \\ &= \frac{-13,5865 + j7,569}{0,1092 - j0,1515} = \frac{15,55e^{j150,8^\circ}}{0,1867e^{-j54,2^\circ}} = 83,3e^{j205^\circ} = -75,5 - j35,2, \text{ В}. \end{aligned}$$

Фазные напряжения несимметричной цепи определяем по формулам:

$$\dot{U}_A'' = \dot{U}_A - \dot{U}_{O'O}; \quad \dot{U}_B'' = \dot{U}_B - \dot{U}_{O'O}; \quad \dot{U}_C'' = \dot{U}_C - \dot{U}_{O'O} \quad (7)$$

$$\dot{U}_A'' = 127 - (-75,5 - j35,2) = 202,5 + j35,2 = 205,54e^{j9,9^\circ}$$

$$\dot{U}_B'' = -63,5 - j110 - (-75,5 - j35,2) = 12 - j74,8 = 75,76e^{-j80,9^\circ}$$

$$\dot{U}_C'' = -63,5 + j110 - (-75,5 - j35,2) = 12 + j145,2 = 145,7e^{j85,3^\circ}$$

4.1.2. По закону Ома определим токи несимметричной нагрузки (например, по значениям фазных напряжений, вычисленным по последним трем формулам):

$$\dot{i}''_A = \frac{\dot{U}''_A}{\underline{Z}_A} = \frac{205,62e^{j9,9^0}}{26,93e^{j15,1^0}} = 7,64e^{-j5,2^0} = 7,61 - j0,69 \text{ A};$$

$$\dot{i}''_B = \frac{\dot{U}''_B}{\underline{Z}_B} = \frac{75,61e^{-j80,8^0}}{7,28e^{j74,1^0}} = 10,39e^{-j154,9^0} = -9,4 - j4,41 \text{ A};$$

$$\dot{i}''_C = \frac{\dot{U}''_C}{\underline{Z}_C} = \frac{145,85e^{j85,3^0}}{26,93e^{j15,1^0}} = 5,42e^{j70,2^0} = 1,84 + j5,1 \text{ A},$$

и проверим правильность вычислений по первому закону Кирхгофа:

$$\dot{i}''_A + \dot{i}''_B + \dot{i}''_C = 7,61 - j0,69 - 9,4 - j4,41 + 1,84 + j5,1 = 0,05 + j0 \approx 0 - \text{верно.}$$

4.2. Входные токи цепи определяем через линейные токи двигателя и печи по первому закону Кирхгофа соответственно для узлов *a*, *b*, *c* схемы трехфазной цепи в аварийном режиме (рис. 3.7):

$$\dot{I}_A = \dot{I}'_A + \dot{i}''_A = 7,88 - j6,95 + 7,61 - j0,69 = 15,49 - j7,64 = 17,27e^{-j26,3^0} \text{ A};$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}'_B + \dot{i}''_B = -9,96 - j3,35 - 9,4 - j4,41 = -19,36 - j7,76 = 20,86e^{-j158,2^0} \text{ A};$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}'_C + \dot{i}''_C = 2,08 + j10,3 + 1,84 + j5,1 = 3,92 + j15,4 = 15,89e^{j75,7^0} \text{ A}.$$

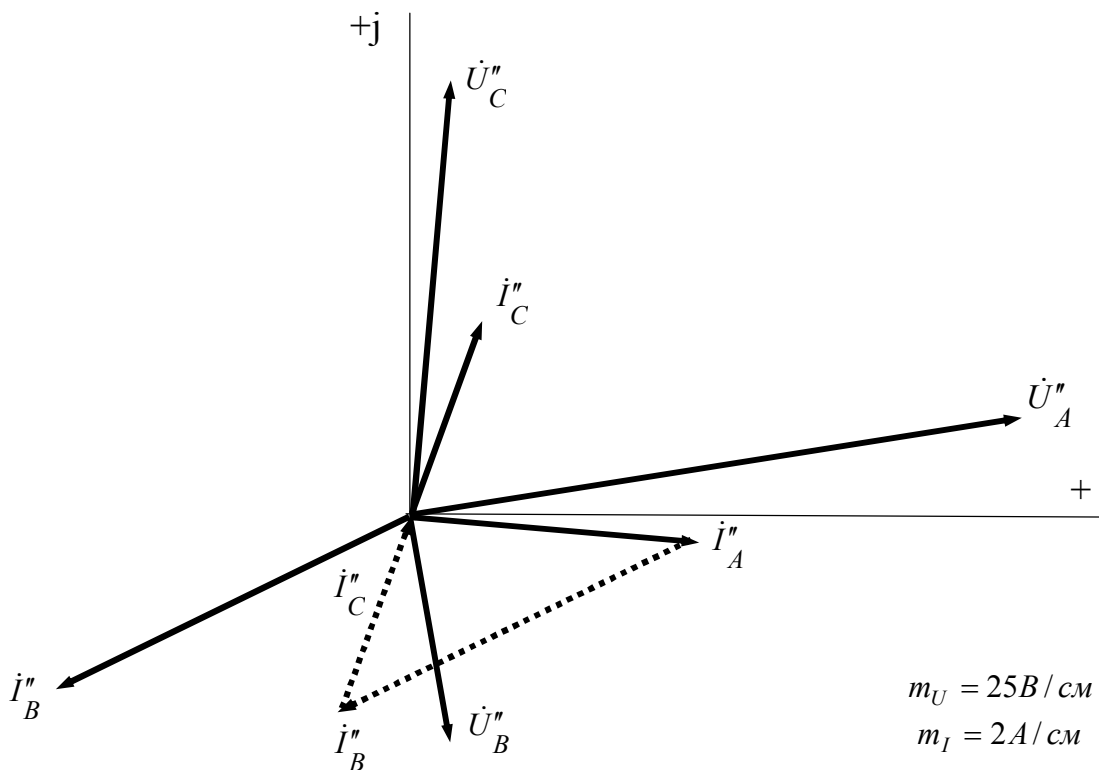


Рис. 3.8. Векторная диаграмма несимметричной нагрузки.

Содержание

| | |
|--|----|
| Раздел 1. Общие методические указания по изучению дисциплины..... | 3 |
| Раздел 2. Содержание учебных модулей дисциплины и методические указания по их изучению..... | 6 |
| Раздел 3. Задания для курсовой работы и методические указания по её выполнению..... | 12 |