

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Блинова Светлана Павловна

Должность: Заместитель директора по учебно-воспитательной работе

Дата подписания: 29.09.2020 11:02:52

Уникальный программный ключ:

1cafd4e102a27ce11a89a2a7ceb30237f3ab5c65

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Норильский государственный индустриальный институт»  
Политехнический колледж

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
**по выполнению практических работ по дисциплине**  
**«ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА»**

для специальности  
13.02.01 Тепловые электрические станции

Методические указания по выполнению практических работ по учебной дисциплине «ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА» разработаны на основе рабочей программы и Федерального государственного образовательного стандарта по специальности среднего профессионального образования 13.02.01 Тепловые электрические станции.

Организация-разработчик: Политехнический колледж ФГБОУ ВО «Норильский государственный индустриальный институт»

Разработчик:

И.Н. Зайцева, преподаватель Политехнического колледжа

Рассмотрена на заседании цикловой комиссии  
Тепловых электрических станций

Председатель комиссии \_\_\_\_\_ Семенова С.И.

Утверждено на заседании методического совета Политехнического колледжа  
Протокол № \_\_\_ от « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Зам. директора по УР \_\_\_\_\_ Блинова С.П.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
Практическая работа 1.....	5
Практическая работа 2.....	10
Практическая работа 3 .....	17
Практическая работа 4 .....	24
Практическая работа 5 .....	31
Практическая работа 6 .....	36
Практическая работа 7 .....	41
Список литературы .....	50

## **Введение**

Данные методические указания по выполнению практических работ подготовлены в соответствии с рабочей программой дисциплины «Электротехника и электроника».

Целью практических работ является закрепление теоретических и формирование навыков практического применения знаний, полученных студентами на лекционных занятиях. В процессе обучения студенты должны получить необходимый опыт для самостоятельной дальнейшей работы по специальности.

Выполнение студентами практических работ направлено на выработку таких профессионально значимых качеств как самостоятельность, ответственность, творческая инициатива.

Основными задачами методических указаний по выполнению практических работ студентами являются:

- активизация аудиторной самостоятельной работы студентов;
- создание условий для оптимизации процесса изучения студентами учебной дисциплины;
- организация аудиторной самостоятельной работы студентов;
- управление познавательной деятельностью студентов.

Методическая разработка содержит 7 практических работ. Выполнение практических работ запланировано в календарно-тематическом плане. С целью повышения эффективности решения задач, в каждой практической работе предоставлен краткий теоретический материал по соответствующей теме, даны формулы для решения задач, приведен пример расчета.

Методические указания по выполнению практических работ являются неотъемлемой частью учебно-методического комплекса по дисциплине «Электротехника и электроника».

# Практическая работа 1

## Тема: Конденсаторы

**Цель: Освоить принцип расчета емкости конденсатора**

### *Теоретические сведения*

#### **Классификация конденсаторов**

Конденсаторы делятся на конденсаторы общего и специального назначения, а также группируются по некоторым характеристикам.

Конденсаторы общего назначения широко применяются в различной аппаратуре. Обычно это низковольтные конденсаторы, к которым не предъявляются особые требования по классу точности, ТКЕ, напряжению и т.п.

Конденсаторы специального назначения - это все остальные конденсаторы. Как понятно из названия, эти конденсаторы предназначены для выполнения специфических функций (подавление помех, пуск электродвигателя и т.п.) или для работы в особых условиях (высокое напряжение, импульсный ток и т.п.).

Классификация конденсаторов определяет группы по следующим признакам:

1. По назначению:

- конденсаторы общего назначения
- конденсаторы специального назначения

2. По характеру изменения ёмкости:

- конденсаторы постоянной ёмкости (постоянные конденсаторы)
- конденсаторы переменной ёмкости (переменные конденсаторы)
- подстроечные конденсаторы

3. По способу защиты:

- незащищённые конденсаторы
- защищённые конденсаторы
- неизолированные конденсаторы
- изолированные конденсаторы
- уплотнённые конденсаторы
- герметизированные конденсаторы

4. По виду диэлектрика:

- с газообразным диэлектриком
- с оксидным диэлектриком
- с неорганическим диэлектриком
- с органическим диэлектриком

Конденсаторы постоянной ёмкости (постоянные конденсаторы) подразделяются на высокочастотные и низкочастотные. Постоянные

конденсаторы не могут изменять свою ёмкость в процессе работы, то есть их ёмкость является постоянной (точнее, она может колебаться в небольших пределах в зависимости от температуры, но это в пределах допуска).

Конденсаторы переменной ёмкости (переменные конденсаторы) могут изменять свою ёмкость в процессе работы. Как известно, ёмкость конденсатора зависит от площади его обкладок и расстояния между ними. Эти параметры можно изменять различными способами. Вы наверняка пользовались аналоговыми радиоприёмниками, в которых переменные конденсаторы используются для настройки на радиостанцию.

Подстроечные конденсаторы также могут изменять свою ёмкость. Переменные конденсаторы отличаются от подстроечных тем, что их ёмкость можно изменять во время работы устройства, в то время как подстроечные конденсаторы используются обычно только при настройке аппаратуры на заводе.

Кроме этого конденсаторы можно разделить на полярные и неполярные (хотя по этим признакам их обычно не классифицируют).

Полярные конденсаторы могут работать только в цепях постоянного тока и требуют строгого соблюдения полярности при подключении (плюс подключается к выводу со знаком плюс, минус, соответственно - к выводу со знаком минус). При не соблюдении этого требования такой конденсатор может выйти из строя.

Неполярные конденсаторы могут работать в цепях как постоянного, так и переменного тока. Такие конденсаторы можно подключать без учёта полярности напряжения.

## **Основные параметры конденсаторов**

1. Ёмкость – способность конденсатора накапливать и удерживать на своих обкладках электрические заряды под действием приложенного напряжения. Если к конденсатору приложить напряжение  $U$  (В), то на его обкладках будет накапливаться заряд  $Q$  (Кл), и ёмкость будет определяться по формуле:

$$C=Q/U$$

Единицей измерения ёмкости является фарада, но поскольку это очень большая величина, ёмкость конденсатора принято измерять в микрофарадах (мкФ) или пикофарадах (пФ):

микрофарад (мкФ) =  $10^{-6}$ Ф и пикофарад (пкФ) =  $10^{-12}$ Ф.

Температурный коэффициент емкости (ТКЕ) характеризует изменение емкости конденсатора при изменении температуры на  $1^\circ\text{C}$ .

$$\text{ТКЕ} = (C_2 - C_1) / [C_1(T_2 - T_1)],$$

где  $C_1$  и  $C_2$  — емкости конденсатора при температурах  $T_1$  и  $T_2$ .

2. Температурный коэффициент емкости может быть положительным и отрицательным.

Сопротивление изоляции конденсатора  $R_m$  (МОм) зависит от качества диэлектрика и определяется отношением напряжения постоянного тока, приложенного к конденсатору, к току утечки и выражается в мегаомах и гигаомах.

С увеличением влажности и температуры окружающей среды сопротивление изоляции уменьшается, что может привести к пробое изоляции.

Потери энергии в конденсаторе складываются из потерь энергии в диэлектрике и обкладках. В процессе эксплуатации часть подводимой к конденсатору энергии переменного тока расходуется на его нагрев, сопровождаемый рассеиванием тепла в окружающую среду.

Потери энергии приводят к нагреву диэлектрика, ухудшают его качество и снижают электрическую прочность конденсатора, определяемую способностью диэлектрика выдерживать электрическое поле без пробоя.

Электрическая прочность оценивается пробивным, испытательным и номинальным (рабочим) напряжениями. Напряжение, при плавном подъеме которого происходит пробой конденсатора, называется пробивным. В основном электрическая прочность конденсатора зависит от качества и толщины диэлектрика, а также от площади обкладок и условий теплоотдачи. Проверка испытательным напряжением позволяет отбраковывать конденсаторы с низкой электрической прочностью.

Напряжение, при котором конденсатор может надежно работать в течение гарантированного срока с сохранением основных параметров, называется номинальным, или рабочим.

Собственная индуктивность конденсатора — это индуктивность, создаваемая выводами и обкладками. Снижение собственной индуктивности конденсатора обеспечивается укорачиванием выводов.

### ***Пример расчета***

К выводам плоского воздушного конденсатора приложено напряжение  $U=800$  В. Определить напряженность электрического поля конденсатора при расстоянии между пластинами  $d=5$  мм и силу, действующую в этом поле на единичный заряд Кл. Определить емкость конденсатора, если площадь каждой пластины  $S=24$  . Как изменится его емкость, если конденсатора поместить в спирт?

### ***Решение.***

Напряженность электрического поля плоского конденсатора, В/см:  
 $E = U / d = 800 / 0,5 = 1600$  .

Если заряд помещен в электрическое поле конденсатора, то, Н:

$$F = EQ = 1600 \cdot 1,5 \cdot 10^{-5} = 0,024$$

Емкость плоского воздушного конденсатора, пФ:

$$C = \frac{\varepsilon_0 S}{d} = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 24}{0,5} = 425 \cdot 10^{-12} \text{ Ф} = 425$$

Если конденсатор помещен в спирт, диэлектрическая проницаемость которого  $\varepsilon = 33$ , емкость увеличивается в 33 при неизменных расстоянии между пластинами и площади пластин:

$$C' = C\varepsilon = 425 \cdot 33 = 14000, \text{ пФ.}$$

**Контрольные вопросы:**

1. Классификация конденсаторов по конструкции. Условное обозначение на электрической принципиальной схеме?
2. Классификация конденсаторов по типу диэлектрика?
3. Основные параметры конденсаторов?
4. Единицы измерения ёмкости?
5. Чем отличается электролитический конденсатор от других, обозначение электролитического конденсатора на электрической принципиальной схеме?

**Варианты для самостоятельного решения**

Задание. Рассчитать емкость конденсатора

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Напряжение, U,В	300	500	200	600	400	900	700	800	400	300
Расстояние между пластинами, d,мм	7	10	3	12	8	2	9	4	5	11
Площадь пластины, S	24	15	8	20	5	19	6	11	22	16

## Практическая работа № 2

### Тема: Электрические цепи постоянного тока

**Цель работы:** привить навыки расчета электрических цепей постоянного тока

#### *Теоретические сведения*

Электрическим сопротивлением называется противодействие, которое оказывает среда электрическому току.

Физическая сущность сопротивления объясняется тем, что при движении по проводнику свободные электроны на своем пути сталкиваются с атомами и молекулами вещества, из которых состоит проводник, и передает ему часть своей энергии. При этом энергия движущихся электронов превращается в тепловую энергию, в результате чего проводник нагревается. Чем больше столкновений имеет электрон с атомами и молекулами, тем больше оказывается ему противодействие и тем больше кинетическая энергия движения электронов превращается в тепловую.

Сопротивление проводника обозначается буквой  $R$  или  $r$  и определяется по формуле:

$$R = U/I$$

где  $U$  – напряжение между двумя точками проводника, В;

$I$  – ток в проводнике, А.

Данное выражение формулируется так: сопротивление равно отношению напряжения к току в проводнике.

В системе СИ за единицу сопротивления принято сопротивление такого участка цепи, в котором устанавливается ток в 1 А при напряжении в 1 В:

$$[R] = 1 \text{ В} / 1 \text{ А} = 1 \text{ Ом}.$$

Более крупными единицами сопротивления являются 1 кОм (килоОм) = 10<sup>3</sup> Ом = 1000 Ом, 1МОм (мегаОм) = 10<sup>6</sup> Ом = 1 000 000 Ом.

Величину, обратную сопротивлению называют проводимостью  $G$ :

$$G = 1/R$$

В системе СИ единица измерения проводимости называется сименс (См):

$$1 \text{ См} = 1/1 \text{ Ом}.$$

Элементы электрической цепи, характеризующиеся сопротивлением  $R$ , называют резистивными, а промышленные изделия, предназначенные для

выполнения роли сопротивления электрическому току, называют резисторами.

Резисторы бывают регулируемые неперелочные, пленочные, композиционные и др.

Возможны последовательное, параллельное и смешанное соединение резисторов в электрической цепи.

Последовательным называется соединение резисторов, при котором к концу каждого предыдущего резистора присоединяется начало следующего.

Согласно закону Ома напряжения на резисторах или падения напряжения определяются выражениями

$$U_1 = I \cdot R_1; U_2 = I \cdot R_2; U_3 = I \cdot R_3,$$

откуда 
$$U_1 : U_2 : U_3 = R_1 : R_2 : R_3.$$

Таким образом, падения напряжения на последовательно соединенных резисторах пропорциональны значениям их сопротивлений.

Каждое сопротивление можно найти по формулам

$$R_1 = \frac{U_1}{I}; R_2 = \frac{U_2}{I}; R_3 = \frac{U_3}{I}.$$

Эквивалентное сопротивление участка цепи равно сумме сопротивлений каждого резистора

$$R_{\text{экс}} = R_1 + R_2 + R_3.$$

Следовательно, цепь, состоящую из нескольких последовательно включенных приемников, можно заменить цепью с одним приемником  $R_{\text{экс}}$ , причем ток и напряжение в цепи останутся неизменными.

Мощность на каждом резисторе и общую можно определить по формулам:

$$P_1 = U_1 \cdot I = I^2 \cdot R_1 = \frac{U_1^2}{R_1}; P_2 = U_2 \cdot I = I^2 \cdot R_2 = \frac{U_2^2}{R_2};$$

$$P_3 = U_3 \cdot I = I^2 \cdot R_3 = \frac{U_3^2}{R_3}; P = U \cdot I = I^2 \cdot R_{\text{экс}} = \frac{U^2}{R_{\text{экс}}}.$$

При последовательном соединении резисторов ток в них один и тот же, поэтому мощности, развиваемые в отдельных участках, пропорциональны их сопротивлениям:

$$P_1 : P_2 : P_3 = R_1 : R_2 : R_3.$$

*Параллельным соединением* резисторов (или приемников энергии, ветвей) называется такое, при котором к одним и тем же двум узлам электрической цепи (рисунок 3.2) присоединены несколько резисторов (ветвей).

Так как резисторы присоединены к одним и тем же узлам, то каждый из них находится под одинаковым напряжением:

$$U_1 = U_2 = U_3 = U.$$

Согласно закону Ома токи в резисторах и общий ток определяются по формулам:

$$I_1 = \frac{U}{R_1} = U \cdot G_1; \quad I_2 = \frac{U}{R_2} = U \cdot G_2; \quad I_3 = \frac{U}{R_3} = U \cdot G_3;$$

$$I = \frac{U}{R_{\text{экв}}} = U \cdot G_{\text{экв}}.$$

Каждое сопротивление в ветвях можно определить по формулам:

$$R_1 = \frac{U}{I_1}; \quad R_2 = \frac{U}{I_2}; \quad R_3 = \frac{U}{I_3},$$

электрическую проводимость

$$G_1 = \frac{1}{R_1}; \quad G_2 = \frac{1}{R_2}; \quad G_3 = \frac{1}{R_3}.$$

Общая проводимость цепи

$$G_{\text{экв}} = G_1 + G_2 + G_3.$$

На основании первого закона Кирхгофа сила тока в неразветвленной части цепи равна сумме сил токов всех ветвей:

$$I = I_1 + I_2 + I_3.$$

Эквивалентное сопротивление и проводимость двух ветвей:

$$R_{\text{экв}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}; \quad G_{\text{экв}} = G_1 + G_2,$$

трех ветвей:

$$R_{\text{экв}} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3}; \quad G_{\text{экв}} = G_1 + G_2 + G_3.$$

Мощность резисторов при параллельном соединении можно рассчитать по формулам:

$$P_1 = U \cdot I_1 = I_1^2 \cdot R_1 = U^2 \cdot G_1; \quad P_2 = U \cdot I_2 = I_2^2 \cdot R_2 = U^2 \cdot G_2;$$

$$P_3 = U \cdot I_3 = I_3^2 \cdot R_3 = U^2 \cdot G_3; \quad P = U \cdot I = I^2 \cdot R_{\text{экв}} = U^2 \cdot G_{\text{экв}}.$$

*Смешанным соединением* резисторов (или приемников энергии) называется такое, при котором цепь, состоящая из нескольких последовательных участков, может содержать параллельные ветви (рисунок 3.3).

Общее сопротивление такой цепи будет равно сумме сопротивлений последовательных участков:

$$R_{\text{экв}} = R_1 + R_{2-3} = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}.$$

Каждое сопротивление на резисторе и общее можно найти по формулам:

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1}; R_2 = \frac{U_2}{I_2}; R_3 = \frac{U_3}{I_3}; R_{\text{экв}} = \frac{U}{I}.$$

Общий ток в неразветвленной части цепи определяется по закону Ома:

$$I = I_1 = \frac{U}{R_{\text{экв}}},$$

а токи в параллельных ветвях

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2}; I_3 = \frac{U_3}{R_3}.$$

Для цепи со смешанным соединением резисторов справедливы первый и второй законы Кирхгофа:

$$I_1 = I_2 + I_3; U = U_1 + U_2 \text{ или } U = U_1 + U_3,$$

при этом  $I_1 = I; U_2 = U_3$ .

Мощность резисторов и общую можно рассчитать по формулам:

$$P_1 = U_1 \cdot I_1 = I_1^2 \cdot R_1 = \frac{U_1^2}{R_1}; P_2 = U_2 \cdot I_2 = I_2^2 \cdot R_2 = \frac{U_2^2}{R_2};$$

$$P_3 = U_3 \cdot I_3 = I_3^2 \cdot R_3 = \frac{U_3^2}{R_3}; P = U \cdot I = I^2 \cdot R_{\text{экв}} = \frac{U^2}{R_{\text{экв}}}.$$

Баланс мощностей цепи рассчитывается следующим образом:

$$P = P_1 + P_2 + P_3,$$

где  $P = E \cdot I$  – мощность источника энергии;  $P_1, P_2, P_3$  – мощность потребителей.

### Пример расчета

Задача 1. Для цепи (рис. 1), определить эквивалентное сопротивление относительно входных зажимов а-г, если известно:  $R_1 = R_2 = 0,5 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 8 \text{ Ом}$ ,  $R_4 = R_5 = 1 \text{ Ом}$ ,  $R_6 = 12 \text{ Ом}$ ,  $R_7 = 15 \text{ Ом}$ ,  $R_8 = 2 \text{ Ом}$ ,  $R_9 = 10 \text{ Ом}$ ,  $R_{10} = 20 \text{ Ом}$ .

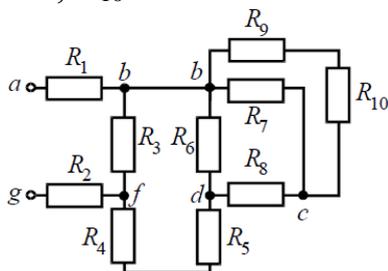


Рисунок 1

### Решение

Начнем эквивалентные преобразования схемы с ветви наиболее удаленной от источника, т.е. от зажимов а-г:

$$R_{11} = R_9 + R_{10} = 10 + 20 = 30 \text{ Ом}; \quad R_{12} = \frac{R_{11} \cdot R_7}{R_{11} + R_7} = \frac{30 \cdot 15}{30 + 15} = 10 \text{ Ом};$$

$$R_{13} = R_8 + R_{12} = 2 + 10 = 12 \text{ Ом}; \quad R_{14} = \frac{R_6 \cdot R_{13}}{R_6 + R_{13}} = \frac{12 \cdot 12}{12 + 12} = 6 \text{ Ом};$$

$$R_{15} = R_{14} + R_5 + R_4 = 6 + 1 + 1 = 8 \text{ Ом}; \quad R_{16} = \frac{R_3 \cdot R_{15}}{R_3 + R_{15}} = \frac{8 \cdot 8}{8 + 8} = 4 \text{ Ом};$$

$$R_3 = R_1 + R_{16} + R_2 = 0,5 + 4 + 0,5 = 5 \text{ Ом}.$$

**Задача 2. Определить эквивалентное сопротивление** относительно зажимов  $a-b$ , если  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = 10 \text{ Ом}$  (рис.2, а).

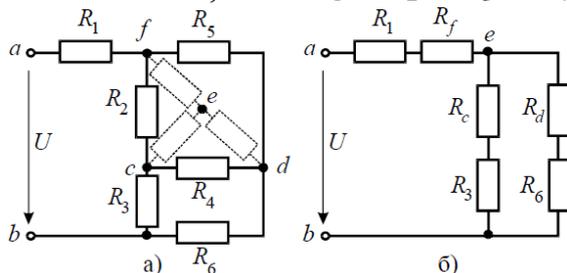


Рисунок 2

### Решение

Преобразуем соединение «треугольник»  $f-d-c$  в эквивалентную «звезду». Определяем величины преобразованных сопротивлений (рис. 2, б):

По условию задачи величины всех сопротивлений равны, а значит:

$$R_f = R_d = R_c = 3,33 \text{ Ом}.$$

На преобразованной схеме получили параллельное соединение ветвей между узлами  $e-b$ , тогда эквивалентное сопротивление равно:

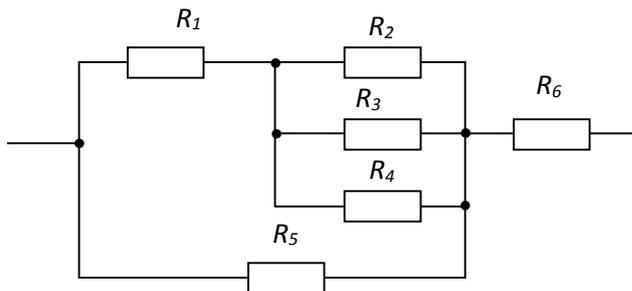
$$R_{eb} = \frac{(R_c + R_3) \cdot (R_d + R_6)}{(R_c + R_3) + (R_d + R_6)} = \frac{(3,33 + 10) \cdot (3,33 + 10)}{(3,33 + 10) + (3,33 + 10)} = 6,67 \text{ Ом}.$$

И тогда эквивалентное сопротивление исходной схемы представляет последовательное соединение сопротивлений:

$$R_{ab} = R_1 + R_f + R_{eb} = 10 + 3,33 + 6,67 = 20 \text{ Ом}.$$

### Вариант 1

- 1 Рассчитать R общее:

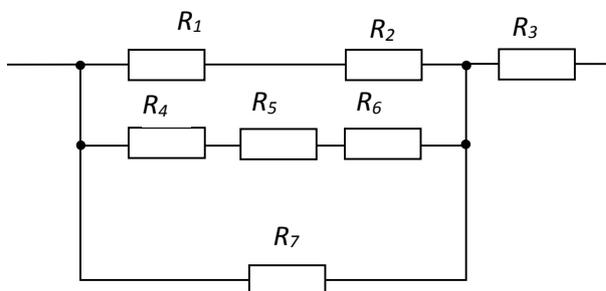


$$R_2 = R_3 = R_4 = 5 \text{ Ом}; R_1 = R_5 = R_6 = 10 \text{ Ом}.$$

- 2 Сила тока. Определение, формула.
- 3 Найти силу тока в медном проводнике длиной 50 м и сечением  $1,5 \text{ мм}^2$ , на который подано напряжение 6 мВ.  $\rho_{\text{Cu}} = 0,017 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$
- 4 К источнику с ЭДС 6 В и внутренним сопротивлением 1,5 Ом подключен резистор 10 Ом. Найти силу тока в цепи и напряжение на зажимах источника.

### Вариант 2

- 1 Рассчитать R общее:

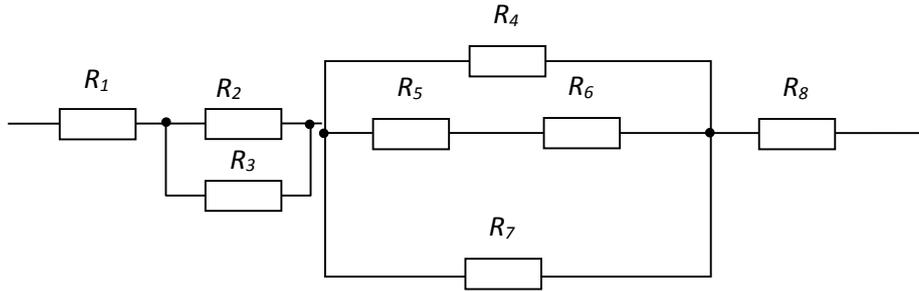


$$R_1 = R_2 = R_3 = 10 \text{ Ом}; R_4 = R_5 = R_6 = 3 \text{ Ом}; R_7 = 5 \text{ Ом}.$$

- 2 Напряжение. Определение, формула.
- 3 Кабель состоит из 4 медных жил сечением  $1,5 \text{ мм}^2$  каждая. Каково падение напряжения на каждом километре кабеля при силе тока 0,5 А?  $\rho_{\text{Cu}} = 0,017 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ .
- 4 ЭДС источника равна 220 В. 50 лампочек сопротивлением 100 Ом соединены параллельно и подключены к источнику. Определить ток и напряжение на каждой лампочке, если внутреннее сопротивление источника равно 0,2 Ом.

### Вариант 3

1. Рассчитать  $R$  общее:



$$R_1 = R_2 = R_3 = 10 \text{ Ом}$$

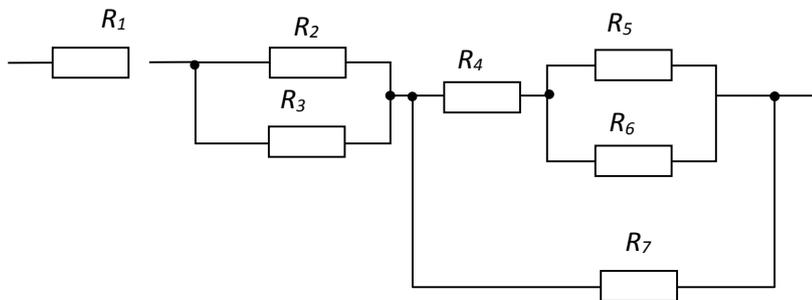
$$R_4 = R_5 = R_6 = 5 \text{ Ом}$$

$$R_7 = R_8 = 8 \text{ Ом}$$

2. Сопротивление. Определение, формула  
3. На цоколе лампочки карманного фонаря написано:  $6 \text{ В}; 0,5 \text{ А}$ .  
A. Найти сопротивление в рабочем режиме и потребляемую мощность.  
4. Генератор питает 20 параллельно соединенных ламп сопротивлением  $200 \text{ Ом}$  каждая. Напряжение на зажимах генератора  $220 \text{ В}$ , сопротивление подводящей линии  $2 \text{ Ом}$ . Найти силу тока в линии

### Вариант 4

1. Рассчитать  $R$  общее:



$$R_1 = R_2 = R_3 = 3 \text{ Ом}$$

$$R_4 = R_5 = 7 \text{ Ом}$$

$$R_6 = R_7 = 9 \text{ Ом}$$

2. Последовательное соединение проводников. Рисунок, формулы  $U, I, R$ .  
3. В бытовой электроплитке  $U = 220 \text{ В}$ , имеются три спирали, сопротивление каждой  $45 \text{ Ом}$ , которые включены последовательно. Определить мощность.  
4. На баллоне сетевой лампы накаливания написано:  $220 \text{ В}; 100 \text{ Вт}$ . Найти силу тока и сопротивление в рабочем режиме.

### ***Контрольные вопросы***

1. Дайте определение понятию «Проводимость» проводимость?
2. Перечислите все виды соединения резисторов, которые вы знаете.
3. Что называется последовательным, параллельным и смешанным соединением резисторов? Каковы особенности каждого вида соединений?

### Практическая работа 3 Тема: Магнитные цепи

**Цель: Освоить принцип расчета магнитных цепей.**  
*Теоретические сведения*

#### Магнитная цепь

Часть электротехнического устройства, отдельные участки которого выполнены из ферромагнитных материалов, по которым замыкается магнитный поток, называется магнитной цепью. Примером простой магнитной цепи может служить сердечник кольцевой катушки (см. рис. 3.3, а). Магнитные цепи трансформаторов, электрических машин и других аппаратов и приборов имеют более сложную форму.

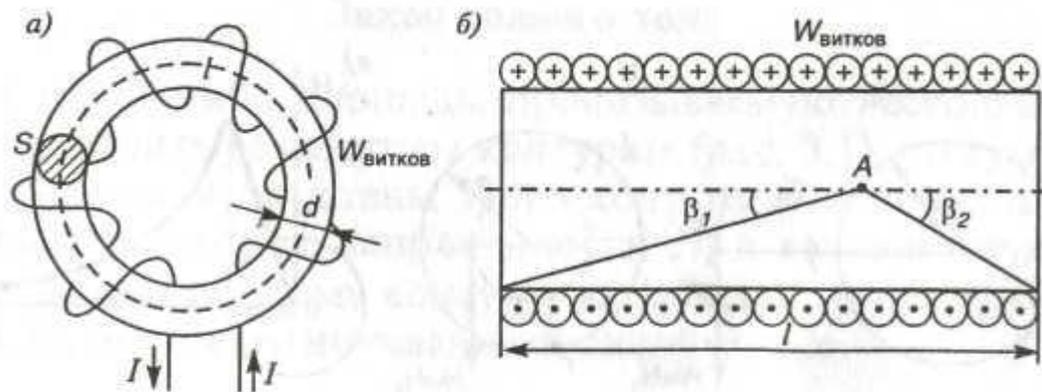


Рис. 3.3

Магнитная цепь, которая выполнена из одного материала и по всей длине имеет одинаковое сечение, называется однородной (см.рис. 3.3, а).

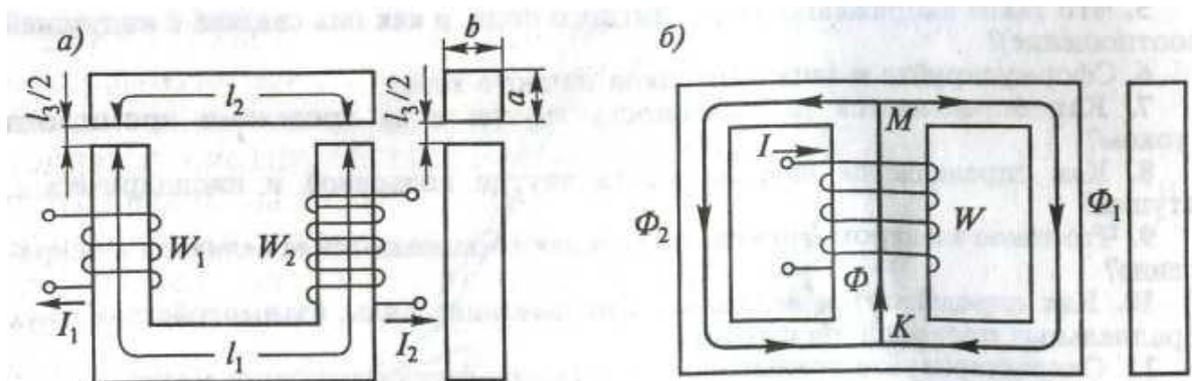


Рис. 3.9

Неоднородная магнитная цепь состоит из нескольких однородных участков, отличающихся длиной, сечением и материалом. Наиболее часто встречаются магнитные цепи, в которых кроме ферромагнитных участков

имеются воздушные зазоры. Неоднородная цепь, изображенная на рис. 3.9, а имеет 3 участка, одним из которых является воздушный зазор.

Магнитные цепи, как и электрические, бывают неразветвленными (рис. 3.9, а) и разветвленными (рис. 3.9, б).

Характерной особенностью неразветвленной магнитной цепи является неизменный магнитный поток  $\Phi$  во всех участках цепи (рис. 3.9, а).

Для разветвленной цепи характерно то, что алгебраическая сумма магнитных потоков в точке разветвления равна нулю, т. е.  $\sum \Phi = 0$  — первый закон Кирхгофа для магнитной цепи. Для разветвленной цепи (рис. 3.9, б) можно записать  $\Phi - \Phi_1 - \Phi_2 = 0$  или  $\Phi = \Phi_1 + \Phi_2$

Разветвленные магнитные цепи бывают симметричными и несимметричными. На рис. 3.9, б изображена симметричная цепь, так как левая и правая ее части имеют одинаковые размеры и выполнены из одного материала.

Магнитный поток в сердечнике кольцевой катушки (рис. 3.3, а) определяется выражением:

$$\Phi = BS = \mu_0 \mu_r HS = \mu_0 \mu_r \frac{IW}{l} S$$

где  $IW$  — намагничивающая сила или магнитное напряжение  $U_m$ ;

$l$  и  $S$  — параметры сердечника;  $R_m = \frac{l}{\mu_0 \mu_r S}$  — магнитное сопротивление сердечника. Тогда

$$\Phi = \frac{U_m}{R_m} \quad (3.20)$$

Выражение (3.20) — математическая запись закона Ома для магнитной цепи.

Для неоднородной, неразветвленной магнитной цепи, изображенной на рис. 3.9, а магнитный поток, созданный в магнитной цепи двумя обмотками по закону Ома, определяется:

$$\Phi = \frac{I_1 W_1 \pm I_2 W_2}{\frac{l_1}{\mu_0 \mu_r S_1} + \frac{l_2}{\mu_0 \mu_r S_2} + \frac{l_3}{\mu_0 \mu_r S_3}} \quad (3.21)$$

где  $IW$  — намагничивающая сила (ампер-витки) или магнитное напряжение  $U_m$ .

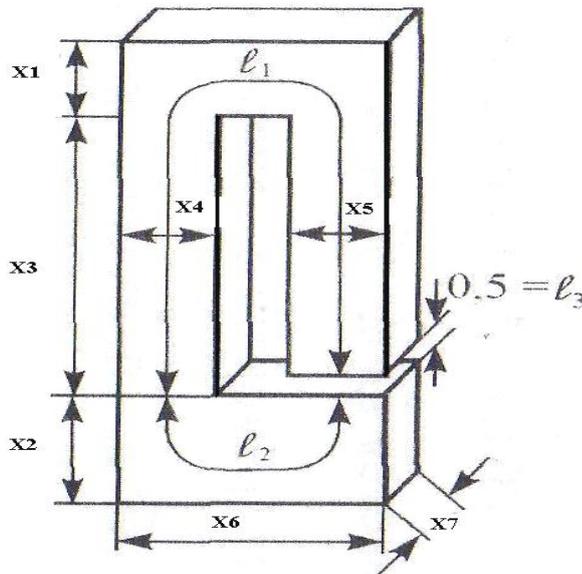
Между ампер-витками обеих обмоток стоит знак «+» (3.21), если

обмотки включены согласно, т. е. создают магнитные потоки в сердечнике одного направления, или знак «-», если они включены встречно, т. е. создают магнитные потоки в сердечнике, направленные в противоположные стороны. Знаменатель выражения (3.21) представляет собой сумму магнитных сопротивлений однородных участков магнитной цепи (рис. 3.9, а). Очевидно, самым большим будет сопротивление воздушного зазора, так как магнитная проницаемость его  $\mu_0$  во много раз меньше магнитной проницаемости ферромагнитных участков, которые обычно выполняются из магнитно-мягких материалов. Закон Ома для расчета магнитных цепей, практически не используется, так как магнитная цепь нелинейна, т. е. магнитное сопротивление ферромагнитных участков цепи зависит от намагничивающей силы.

Закон Ома решает качественную задачу расчета магнитной цепи, т. е. задачу зависимости одних величин от других.

### Пример расчета

Определить число витков обмотки, расположенной на сердечнике из электротехнической листовой стали, размеры которого указаны на рис. 3.10 в см, если по обмотке проходит ток  $I = 5$  А, который создает в магнитной цепи магнитный поток  $\Phi = 43,2 \cdot 10^{-4}$  Вб



Решение.

Дана магнитная цепь из электротехнической стали. Цепь состоит из трех однородных участков. Размеры цепи даны на рисунке в мм. Магнитный поток  $\Phi = 43,2 \cdot 10^{-4}$  Вб. Определить число витков катушки, если  $X_1 = 6$  см;  $X_2 = 8$  см;  $X_3 = 20$  см;  $X_4 = 6$  см;  $X_5 = 6$  см;  $X_6 = 15$  см;  $X_7 = 6$  см;  $l = 0,5$  см.

1. Определяем площадь поперечного сечения каждого участка.

$$S_1 = X_4 \cdot X_7$$

$$S_1 = X_4 \cdot X_7 = (6 \cdot 10^{-2}) \cdot (6 \cdot 10^{-2}) = 36 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \quad (6 \text{ см} = 6 \cdot 10^{-2} \text{ м});$$

$$S_2 = X_2 \cdot X_7$$

$$S_2 = X_2 \cdot X_7 = 8 \cdot 10^{-2} \cdot 6 \cdot 10^{-2} = 48 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \quad (8 \text{ см} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ м});$$

$$S_3 = S_1$$

$$S_3 = S_1 = 36 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2 \quad (\text{воздушный зазор}).$$

2. Определяем магнитную индукцию на каждом участке

$$B_1 = \frac{\Phi}{S_1}$$

$$B_1 = \frac{\Phi}{S_1} = \frac{43,2 \cdot 10^{-4}}{36 \cdot 10^{-4}} = 1,2 \text{ Тл}$$

$$B_2 = \frac{\Phi}{S_2}$$

$$B_2 = \frac{\Phi}{S_2} = \frac{43,2 \cdot 10^{-4}}{48 \cdot 10^{-4}} = 0,9 \text{ Тл}$$

$$B_3 = \frac{\Phi}{S_3}$$

$$B_3 = \frac{\Phi}{S_3} = \frac{43,2 \cdot 10^{-4}}{36 \cdot 10^{-4}} = 1,2 \text{ Тл}$$

3. По кривым намагничивания для листовой электротехнической стали определяем напряженность первого и второго участков:  $H_1 = 1000 \text{ А/м}$ ;  $H_2 = 500 \text{ А/м}$ .

4. Напряженность в воздушном зазоре

$$H_3 = \frac{B_3}{\mu_0} = \frac{1,2}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}} \approx 1 \cdot 10^6 \text{ А/м}$$

5. Составляем уравнение по закону полного тока для магнитной цепи

$$I W = H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_3 l_3$$

6. Определяем среднюю длину каждого участка

$$l_1 = 20 + 3 + 9 + 3 + 19,5 = 54,5 \text{ см} = 0,545 \text{ м};$$

$$l_2 = 4 + 9 + 4 = 17 \text{ см} = 0,17 \text{ м};$$

$$l_3 = 0,5 \text{ см} = 0,5 \cdot 10^{-2} \text{ м};$$

7. Определяем число витков

$$W = \frac{H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_3 l_3}{I} = \frac{1000 \cdot 0,545 + 500 \cdot 0,17 + 1 \cdot 10^6 \cdot 0,5 \cdot 10^{-2}}{5} = 1126 \text{ ВИТКОВ}$$

### Контрольные вопросы

1. В чем заключаются физический смысл и назначение процесса ректификации?
2. В чем заключается принцип работы периодически действующих ректификационных установок?
3. В чем заключается принцип экстрактивной и азеотропной ректификации?

**Варианты заданий для самостоятельного выполнения**

Задание. Определить число витков катушки

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X1, см	6	8	7	5	3	9	4	10	2	11
X2, см	8	10	9	7	5	11	6	12	4	13
X3, см	20	12	22	18	12	32	15	22	8	23
X4, см	6	8	9	5	3	9	4	10	2	11
X5, см	6	8	9	5	3	9	4	10	2	11
X6, см	12	16	18	10	6	18	8	20	4	22
X7, см	6	12	9	5	3	9	4	10	2	11
l, см	0,7	0,9	1,2	0,4	0,1	1,0	0,2	1,6	0,2	1,7

## Практическая работа 4

### Тема: Электрические цепи переменного тока

**Цель: Освоить принцип расчета электрических цепей переменного тока**

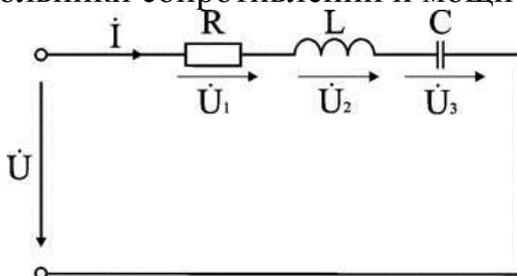
#### *Теоретические сведения*

### 1. Расчет неразветвленной цепи переменного тока

#### Задача 1.

Электрическая цепь, показанная на рисунке, питается от источника синусоидального тока с частотой 200 Гц и напряжением 120 В. Дано:  $R = 4 \text{ Ом}$ ,  $L = 6,37 \text{ мГн}$ ,  $C = 159 \text{ мкФ}$ .

Вычислить ток в цепи, напряжения на всех участках, активную, реактивную, и полную мощности. Построить векторную диаграмму, треугольники сопротивлений и мощностей.



#### Анализ и решение задачи

1. Вычисление сопротивлений участков и всей цепи

Индуктивное реактивное сопротивление

$$X_L = 2\pi f L = 2 \times 3,14 \times 200 \times 6,37 \cdot 10^{-3} \text{ Ом.}$$

Емкостное реактивное сопротивление

$$X_C = 1 / (2\pi f C) = 1 / (2 \times 3,14 \times 200 \times 159 \cdot 10^{-6}) \text{ Ом.}$$

Реактивное и полное сопротивления всей цепи:

$$X = X_L - X_C = 3 \text{ Ом}; Z = \sqrt{R^2 + X^2} = \sqrt{4^2 + 3^2} = 5 \text{ Ом.}$$

2. Вычисление тока и напряжений на участках цепи

Ток в цепи

$$I = U / Z = 120 / 5 \text{ А.}$$

Напряжения на участках:

$$U_1 = R I = 96 \text{ В}; U_2 = X_L I = 192 \text{ В}; U_3 = X_C I = 120 \text{ В.}$$

3. Вычисление мощностей

Активная мощность

$$P = R I^2 = U_1 I = 2304 \text{ Вт.}$$

Реактивные мощности:

$$Q_L = X_L I^2 = U_2 I = 4608 \text{ ВАр}; Q_C = X_C I^2 = U_3 I = 2880 \text{ ВАр.}$$

Полная мощность цепи

$$S = UI = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2} = 2880 \text{ ВА.}$$

Из треугольника определим величину полного сопротивления  $Z$  и угол фазового сдвига  $\varphi$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = 5 \text{ Ом;}$$

$$\varphi = \arctg \frac{X_L - X_C}{R} = \arctg \frac{3}{4} = 37^\circ$$

Следовательно, в данной цепи ток отстает по фазе от напряжения на угол  $\varphi$ . Зная величину тока  $I$ , определим мощности для отдельных элементов и всей цепи.

$$P = 2304 \text{ Вт; } Q_L = 4608 \text{ ВАр; } Q_C = 2880 \text{ ВАр.}$$

$$S = \sqrt{P^2 + (Q_L - Q_C)^2}$$

Треугольник мощностей в масштабе: в 1 см – 1000 Вт (ВАр); (ВА), построим (рис. 6.9. б) на основе выражения для полной мощности

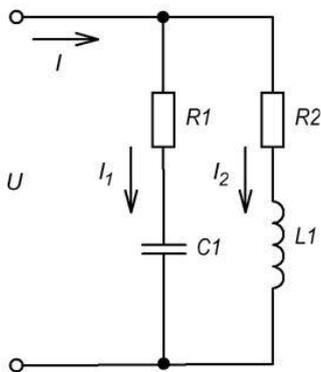
$$S^2 = P^2 + (Q_L - Q_C)^2.$$

Выберем масштаб для тока и напряжения и строим векторную диаграмму. Векторная диаграмма напряжений строится на основе второго закона Кирхгофа для данной цепи

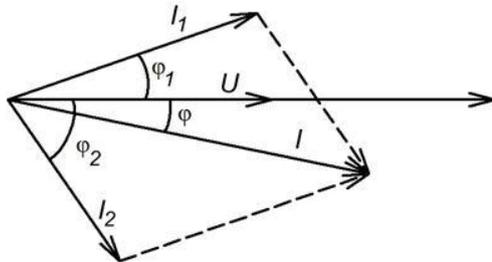
$$\dot{U} = \dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dot{U}_3.$$

При последовательном соединении элементов построение диаграммы начинают с вектора тока  $\dot{I}$ , по отношению к которому ориентируются вектора напряжений на участках цепи: напряжение на активном сопротивлении  $\dot{U}_1$  совпадает с ним по направлению, напряжение на индуктивности  $\dot{U}_2$  опережает его на  $90^\circ$ , на емкости отстает на  $90^\circ$ . Полное напряжение  $\dot{U}$  строится как их векторная сумма.

## 2. Расчет разветвленной цепи переменного тока



Расчет производится на основании построения векторной диаграммы, при ее построении начальная фаза напряжения ( $\alpha_{0i}$ ) выбирается равной 0. В ветви с конденсатором вектор тока будет опережать напряжение на угол  $\varphi_1$ . В ветви с катушкой вектор тока будет отставать от напряжения на угол  $\varphi_2$ .



Токи в ветвях рассчитываются по формулам:

$$I_1 = \frac{U}{Z_1}; Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_{C1}^2}$$

$$\varphi_1 = \arccos\left(\frac{R_1}{Z_1}\right);$$

$$I_2 = \frac{U}{Z_2}; Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_{L1}^2}$$

$$\varphi_2 = \arccos\left(\frac{R_2}{Z_2}\right);$$

Для определения величины общего тока  $I$ , можно воспользоваться несколькими способами:

а) Графически, построив в масштабе векторную диаграмму;

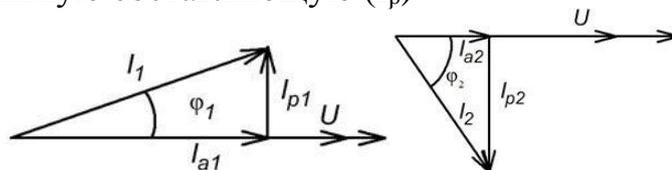
б) Аналитически (используя теорему косинусов):

$$I = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + 2 \cdot I_1 \cdot I_2 \cdot \cos(\varphi_2 - \varphi_1)}$$

$$\varphi = \arctg\left(\frac{I_1 \cdot \sin(\varphi_1) + I_2 \cdot \sin(\varphi_2)}{I_1 \cdot \cos(\varphi_1) + I_2 \cdot \cos(\varphi_2)}\right)$$

в) Методом треугольника токов:

Каждый ток раскладывается на активную составляющую ( $I_a$ ) и реактивную составляющую ( $I_p$ )



$$\vec{I}_1 = \vec{I}_{a1} + \vec{I}_{p1} \quad \vec{I}_2 = \vec{I}_{a2} + \vec{I}_{p2}$$

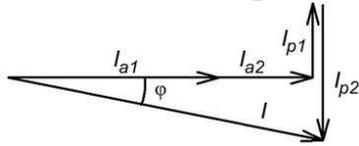
$$I_{a1} = I_1 \cdot \cos(\varphi_1) \quad I_{a2} = I_2 \cdot \cos(\varphi_2)$$

$$I_{p1} = I_1 \cdot \sin(\varphi_1) \quad I_{p2} = I_2 \cdot \sin(\varphi_2)$$

Для нахождения общего тока нужно сложить вектора  $\vec{I}_1$  и  $\vec{I}_2$

$$\vec{I} = \vec{I}_1 + \vec{I}_2 = \vec{I}_{a1} + \vec{I}_{a2} + \vec{I}_{p1} + \vec{I}_{p2}$$

Для определения величины общего тока вектора переставляются таким образом, чтобы активные части токов составляли один катет треугольника, а реактивные части второй катет. Общий ток – гипотенуза.



Определить величину общего тока можно используя теорему Пифагора:

$$I = \sqrt{(I_{a1} + I_{a2})^2 + (I_{p1} + I_{p2})^2}$$

$$\varphi = \arccos\left(\frac{I_{a1} + I_{a2}}{I}\right)$$

г) Метод проводимостей:

Находим активную (g), реактивную (b) и полную (y) проводимость ветвей:

$$g_1 = \frac{R_1}{Z_1^2}; b_1 = \frac{-X_{C1}}{Z_1^2};$$

$$Z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_{C1}^2};$$

$$y_1 = \sqrt{g_1^2 + b_1^2} = \frac{1}{Z_1};$$

$$g_2 = \frac{R_2}{Z_2^2}; b_2 = \frac{X_{L1}}{Z_2^2};$$

$$Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_{L1}^2};$$

$$y_2 = \sqrt{g_2^2 + b_2^2} = \frac{1}{Z_2};$$

Находим эквивалентную проводимость цепи:

$$g_3 = g_1 + g_2; b_3 = b_1 + b_2;$$

$$y_3 = \sqrt{g_3^2 + b_3^2} = \frac{1}{Z_3};$$

$$R_3 = g_3 \cdot Z_3^2 = \frac{g_3}{y_3^2}; X_3 = b_3 \cdot Z_3^2 = \frac{b_3}{y_3^2}$$

$$I = \frac{U}{Z_3} = U \cdot y_3;$$

$$\varphi = \arccos\left(\frac{R_3}{Z_3}\right);$$

**1. Неразветвленная цепь переменного тока**, показанная на соответствующем рисунке (с 44 по 53), содержит активные и реактивные

сопротивления, значения которых заданы в таблице 3. Кроме того, известна одна из дополнительных величин ( $U$ ,  $I$ ,  $P$ ,  $Q$ ,  $S$ ).

Определить: следующие величины, если они не заданы в таблице вариантов: 1) полное сопротивление цепи  $z$ ; 2) напряжение  $U$ , приложенное к цепи; 3) силу тока  $I$  в цепи; 4) угол сдвига фаз  $\varphi$  (величину и знак); 5) активную  $P$ , реактивную  $Q$  и полную  $S$  мощности, потребляемые цепью.

Начертить в масштабе векторную диаграмму цепи и пояснить её построение.

Данные для своего варианта взять из таблицы 1.

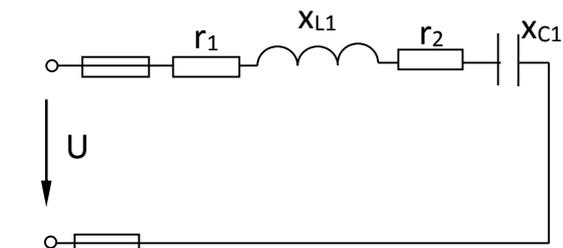


Рис.46

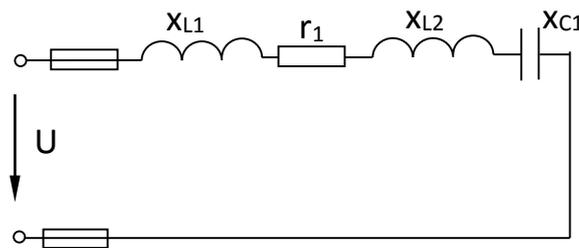


Рис.47

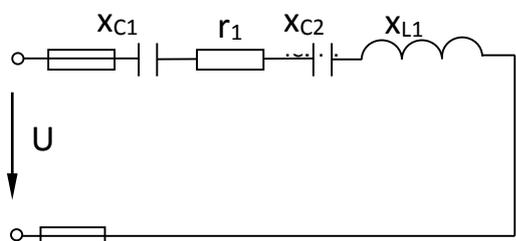


Рис.48

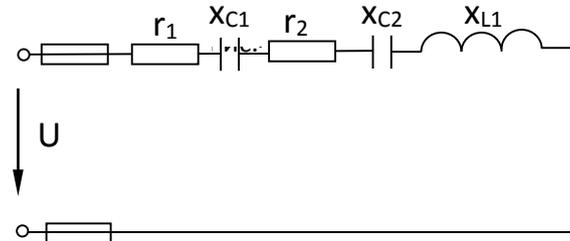


Рис.49

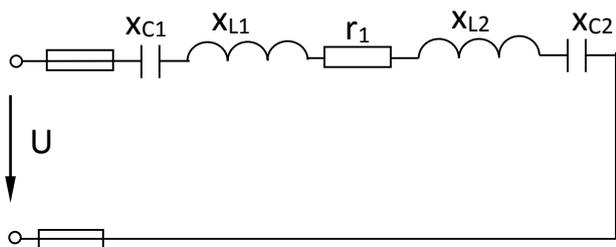


Рис.48

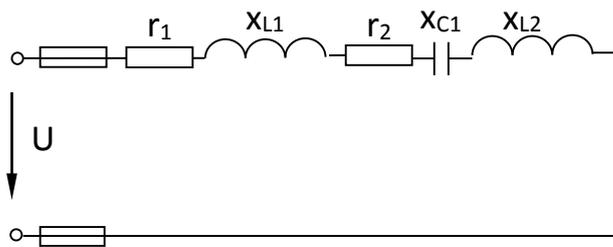


Рис.49

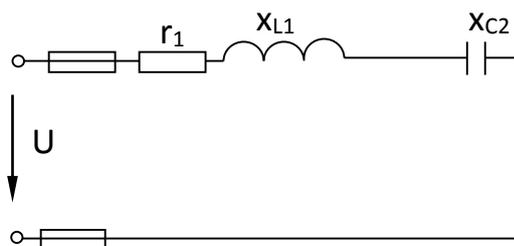


Рис.50

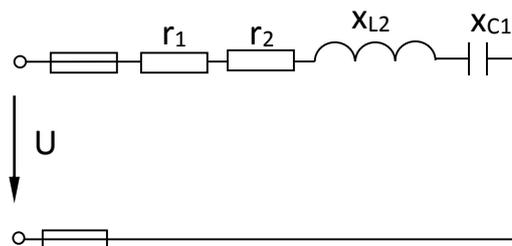


Рис.51

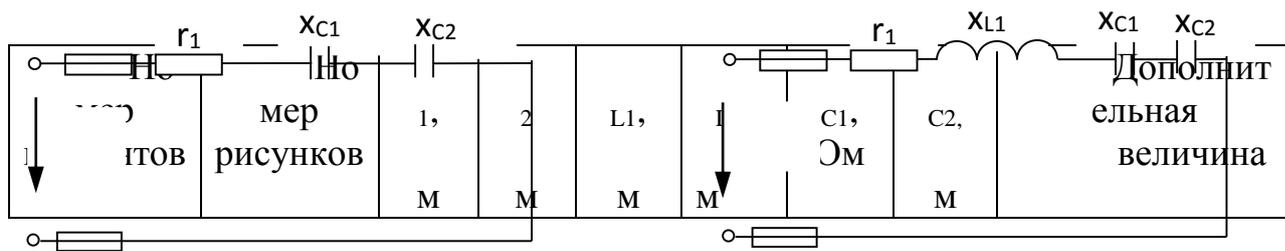


Рис.52

Рис.53

Таблица 1 - Данные для задачи

01	44			8				$I=10 \text{ A}$
02	44	0	0	0		0		$P=120 \text{ Вт}$
03	44							$P_2=100 \text{ Вт}$
04	45				0			$U=40 \text{ В}$
05	45							$P=16 \text{ Вт}$
06	45	6		5				$Q_{L1}=135$ вар
07	46							$P=100 \text{ Вт}$
08	46							$U_{C2}=40 \text{ В}$
09	46	0		00		5	5	$I=1 \text{ A}$
10	47	0	4	8		0	0	$U_{a2}=28 \text{ В}$

**2. Разветвленная цепь переменного тока** состоит из двух параллельных ветвей, содержащих в зависимости от варианта активные сопротивления  $r_1$ ,  $r_2$  и реактивные  $x_L$  и  $x_C$ . Полные сопротивления ветвей  $z_1$  и  $z_2$ . К цепи приложено напряжение  $U$ . Токи в ветвях соответственно равны  $I_1$  и  $I_2$ , ток в неразветвленной части цепи равен  $I$ . Ветви потребляют активные мощности  $P_1$  и  $P_2$  и реактивные  $Q_1$  и  $Q_2$ . Общие активная и реактивная мощности цепи  $P$  и  $Q$ , а полная мощность цепи  $S$ .

В таблице 4 указан также номер рисунка (с 54 по 63) со схемой цепи.

Определить: значения, отмеченные прочерками в таблице вариантов, и начертить в масштабе векторную диаграмму цепи. Перед построением диаграммы вычислите углы сдвига фаз  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  и  $\varphi$ .

Данные для своего варианта взять из таблицы 2.

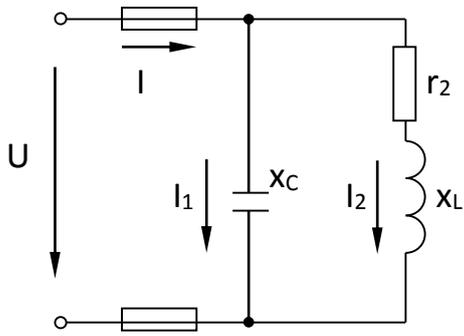


Рис.54

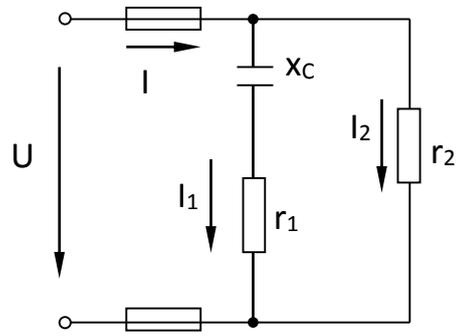


Рис.55

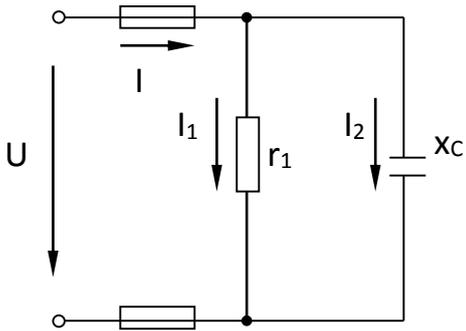


Рис.56

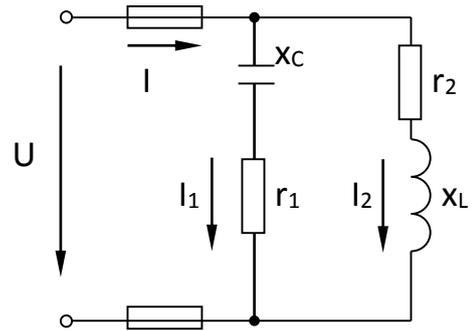


Рис.57

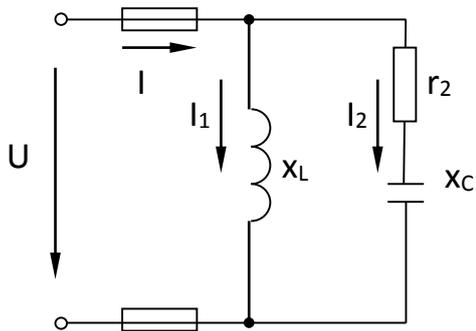


Рис.58

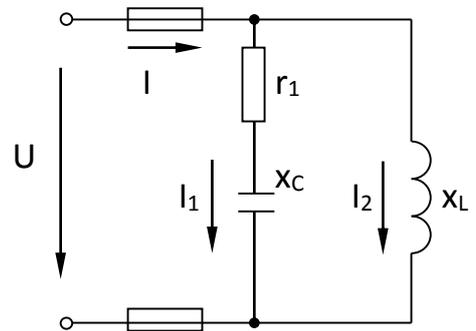


Рис.59

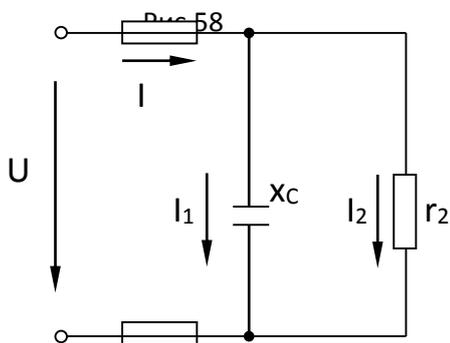


Рис.60

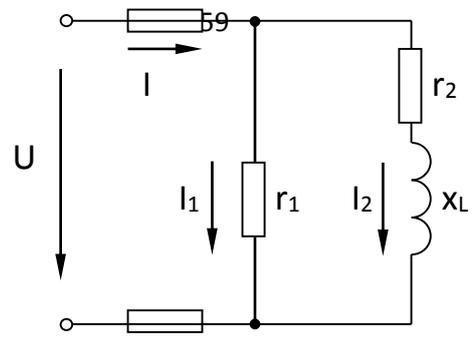


Рис.61

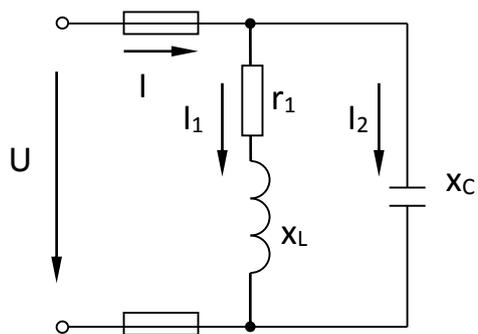
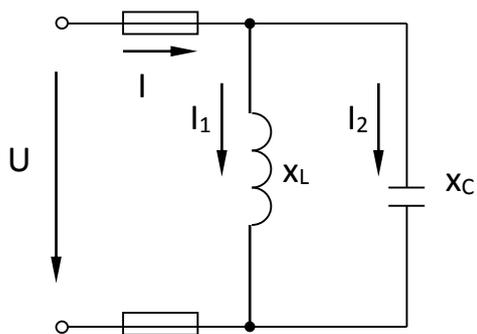


Таблица 2 Рис.62 для задачи

Рис.63

Номер вариантов	Номер рисунков	$r_1, \text{ Ом}$	$r_2, \text{ Ом}$	$X_L, \text{ Ом}$	$X_C, \text{ Ом}$	$Z_1, \text{ Ом}$	$Z_2, \text{ Ом}$	$U, \text{ В}$	$I_1, \text{ А}$	$I_2, \text{ А}$	$I, \text{ А}$	$P_1, \text{ Вт}$	$Q_1, \text{ вар}$	$P_2, \text{ Вт}$	$Q_2, \text{ вар}$	$P, \text{ Вт}$	$Q, \text{ вар}$	$S, \text{ В} \cdot \text{ А}$
01	54	Нет	3	4	20	-	-	60	-	-	-	Нет	-	-	-	-	-	-
02	54		4	-	-	-	-	-	3	12			180	-	-	-	-	-
03	54		-	48	-	-	80	-	-	2	-		160	-	-	-	-	-
04	55	3	5	Нет	4	-	-	25	-	-	-	-	-	-	Нет	-	-	-
05	55	-	-		4	-	5	-	5	5	-	-	-	-		-	-	-
06	55	-	-		-	-	-	25	-	-	-	75	100	25		-	-	-
07	56	20	Нет	Нет	15	-	-	120	-	-	-	-	Нет	Нет	-	-	-	-
08	56	-	Нет	Нет	3	-	-	-	3	4	-	-	Нет	Нет	-	-	-	-
09	56	10			-	-	-	-	-	-	-	2250			3000	-	-	-
10	57	12	20	15	16	-	-	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

## Практическая работа 5

### Тема: Трехфазные электрические цепи

**Цель:** Освоить принцип расчета трехфазных электрических цепей

#### Теоретические сведения

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

Симметричный трехфазный источник питания можно представить в виде трех однофазных источников, работающих на одной частоте с одинаковым напряжением и имеющих временной угол сдвига фаз  $120^\circ$ . 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 а.

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

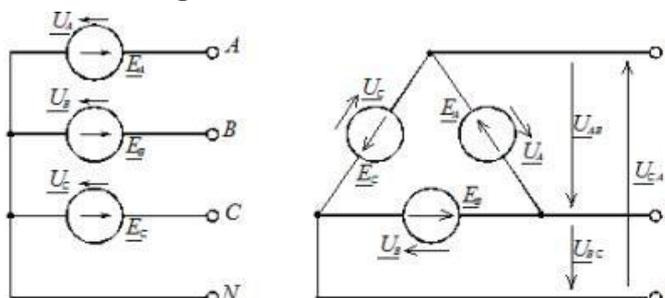


Рис. Схемы соединения фаз источника питания: а – звездой; б – треугольником

В комплексной форме записи выражения для фазных напряжений имеют вид:

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

Соответствующие им линейные напряжения при соединении звездой:

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

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

Здесь  $U_\phi$  – модуль фазного напряжения источника питания, а  $U_\ell$  – 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 трехфазному 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.

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;  $P_\phi, Q_\phi$  – 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:

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

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

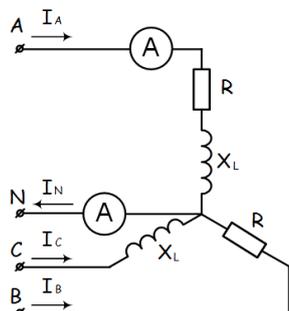
Токи в линейных проводах определяют через фазные на основании первого закона Кирхгофа для каждого узла

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

### Пример расчета

#### Задача 1

К зажимам приемника подсоединён трехфазный генератор, как показано на схеме. Определить показания амперметров  $A_1, A_2$  и фазные токи, зная, что  $U_{л}=380\text{В}$ ,  $R=50\text{ Ом}$ ,  $x_L=35\text{ Ом}$ .



Определим комплексные значения сопротивления (для удобства вычислений будем переводить в показательную форму)

$$\underline{Z}_A = R + jx_L = 50 + j35 = 61e^{j35} \text{ Ом}$$

$$\underline{Z}_B = R = 50 \text{ Ом}$$

$$\underline{Z}_C = jx_L = 35e^{j90} \text{ Ом}$$

Напряжения в фазах будет равно

$$\dot{U}_A = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В}$$

$$\dot{U}_B = 220e^{-j120} \text{ В}$$

$$\dot{U}_C = 220e^{j120} \text{ В}$$

$$i_A = \frac{\dot{U}_A}{\underline{Z}_A} = \frac{220}{61e^{j35}} = 3.61e^{-j35} \text{ А}$$

$$i_B = \frac{\dot{U}_B}{\underline{Z}_B} = \frac{220e^{-j120}}{50} = 4.4e^{-j120} \text{ А}$$

$$i_C = \frac{\dot{U}_C}{\underline{Z}_C} = \frac{220e^{j120}}{35e^{j90}} = 6.29e^{j30} \text{ А}$$

Токи в фазах

Ток в нейтральном проводе равен (для удобства сложения сначала переведем из показательной формы в алгебраическую, а затем наоборот)

$$\begin{aligned} \dot{I}_N &= \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = (-3,26 + j1,55) + (3,58 - j2,55) + (0,97 - j6,21) \\ &= 1,29 - j7,21 = 7,32e^{-j80} \text{ А} \end{aligned}$$

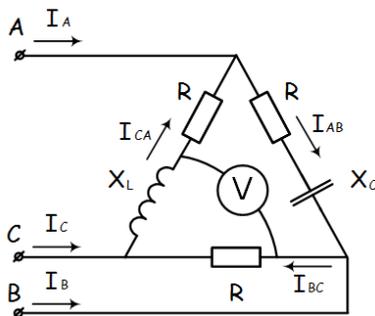
Соответственно, показания амперметров будут следующими:

$$I_{A1} = I_A = 3.61 \text{ А}$$

$$I_{A2} = I_N = 7,32 \text{ А}$$

## Задача 2

К зажимам приемника, подсоединён трехфазный генератор, обмотки которого соединены по схеме «треугольник». Определить фазные и линейные токи, показания вольтметра, зная, что линейное напряжение равно 220 В,  $R=25 \text{ Ом}$ ,  $x_L=x_C=10 \text{ Ом}$ .



Как и в предыдущей задаче, в первую очередь определим комплексы сопротивлений

$$\underline{Z}_{AB} = 25 - j10 = 27e^{-j22} \text{ Ом}$$

$$\underline{Z}_{BC} = 25 \text{ Ом}$$

$$\underline{Z}_{CA} = 25 + j10 = 27e^{j22} \text{ Ом}$$

Фазное напряжение при данном соединении будет равно линейному, следовательно

$$\dot{U}_{AB} = 220e^{j30} \text{ В}$$

$$\dot{U}_{BC} = 220e^{-j90} \text{ В}$$

$$\dot{U}_{CA} = 220e^{j150} \text{ В}$$

Фазные токи при несимметричной нагрузке не равны

$$i_{AB} = \frac{\dot{U}_{AB}}{Z_{AB}} = \frac{220e^{j30}}{27e^{-j22}} = 8.15e^{j52} \text{ А}$$

$$i_{BC} = \frac{\dot{U}_{BC}}{Z_{BC}} = \frac{220e^{-j90}}{25} = 8.8e^{-j90} \text{ А}$$

$$i_{CA} = \frac{\dot{U}_{CA}}{Z_{CA}} = \frac{220e^{j150}}{27e^{j22}} = 8.15e^{j128} \text{ А}$$

Для определения линейных токов представим фазные токи в алгебраической форме комплексного числа

$$i_A = i_{AB} - i_{CA} = (-1.33 + j8.04) - (-1.33 + j5.88) = j2.16 \text{ А}$$

$$i_B = i_{BC} - i_{AB} = (-1.43 - j7.87) - (-1.33 + j8.04) = -0.1 - j15.91 \text{ А}$$

$$i_C = i_{CA} - i_{BC} = (-1.33 + j8.04) - (-1.43 - j7.87) = 0.1 - j13.75 \text{ А}$$

Сумма линейных токов

$$i_A + i_B + i_C = j2.16 + (-0.1 - j15.91) + (0.1 - j13.75) = 0$$

Равенство нулю суммы линейных токов является свойством любой трёхфазной системы.

Чтобы определить показания вольтметра, найдём сумму падений напряжения на  $x_L$  и  $R$  в соответствующих обмотках.

$$\begin{aligned} U_v &= i_{CA}(jx_L) + i_{BC}R = (-1.33 + j5.88) * j10 + (-1.43 - j7.87) * 25 \\ &= (-58.8 - j13.3) + (-35.75 - j196.75) = -94.55 - j210.05 = 230e^{j66} \\ &= 230 \text{ В} \end{aligned}$$

**Варианты заданий для самостоятельного выполнения**

**Задание 1.** Определить показания амперметров  $A_1, A_2$  и фазные токи,

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{\text{л.}}$	380	380	380	380	380	380	380	380	380	380
R	60	100	80	50	70	90	110	40	125	85
$x_L$	45	60	55	25	45	75	95	25	110	60

**Варианты заданий для самостоятельного выполнения**

**Задание 2.** Определить фазные и линейные токи

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{\text{л.}}$	220	220	220	220	220	220	220	220	220	220
R	45	75	95	55	100	65	80	60	90	35
$x_L=x_C$	30	60	70	40	85	50	65	45	75	20

**Контрольные вопросы**

1. Из каких элементов состоит цепь трехфазного переменного тока?
2. Какое напряжение называется фазным?
3. Формула трёхфазной полной мощности?

## Практическая работа 6

### Тема: Трансформаторы

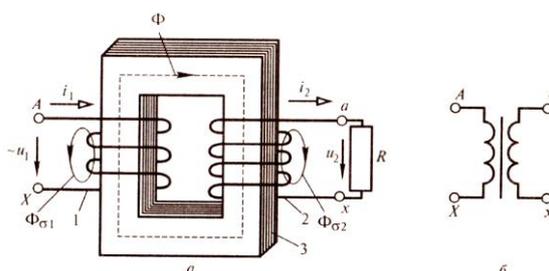
#### Цель: Овладеть навыками расчета силовых нагрузок трансформатора

#### Теоретические сведения

**Трансформатор** (от лат. *transformo* -преобразовывать) – это статическое электромагнитное устройство, имеющее две или более индуктивно связанные обмотки на каком-либо магнитопроводе и предназначенное для преобразования посредством электромагнитной индукции одной или нескольких систем (напряжений) переменного тока в одну или несколько других систем (напряжений), без изменения частоты.

Трансформатор осуществляет преобразование переменного напряжения в самых различных областях применения - электроэнергетике, электронике и радиотехнике.

Конструктивно трансформатор может состоять из одной (автотрансформатор) или нескольких изолированных проволочных, либо ленточных обмоток (катушек), охватываемых общим магнитным потоком, намотанных, как правило, на магнитопровод (сердечник) из ферромагнитного магнито-мягкого материала.



#### Однофазный двухобмоточный трансформатор

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

$$\text{для первичной обмотки } E_1 = 4,44 \cdot \Phi_{\max} \cdot f_1 \cdot \omega_1$$

$$\text{для вторичной обмотки } E_2 = 4,44 \cdot \Phi_{\max} \cdot f_1 \cdot \omega_2,$$

где  $f_1$  частота переменного тока, Гц;

$\omega_1$  и  $\omega_2$  - число витков первичной и вторичной обмоток трансформатора.

Максимальное значение основного магнитного потока, ВБ

$$\Phi_{\max} = B_{\max} \cdot Q_{CT} \cdot k_C$$

где  $B_{\max}$  - максимальное значение магнитной индукции в стержне магнитопровода;

$Q_{CT}$  - площадь поперечного сечения стержня трансформатора, м<sup>2</sup>;

$k_C$  - коэффициент заполнения магнитопровода сталью, который учитывает толщину изоляционных прослоек между пластинами электротехнической стали, при толщине пластин

0,5 мм и обычно принимается 0,95.

**Коэффициент трансформации** трансформатора - это величина, выражающая преобразовательную характеристику трансформатора относительно какого-нибудь параметра электрической цепи (напряжения, тока, сопротивления и т. д.).

Коэффициентом трансформации (К) называется отношение напряжения обмотки ВН к напряжению обмотки НН при холостом ходе трансформатора:

$$K = \left( \frac{W_{ВН}}{W_{НН}} \right) \approx \left( \frac{E_{ВН}}{E_{НН}} \right) = \frac{U_{ВН}}{U_{НН}}$$

При проектировании трансформаторов основным параметром является его мощность. Именно она определяет габариты трансформатора. При этом основным определяющим фактором будет полная мощность, отдаваемая в нагрузку:

$$S_2 = U_2 \cdot I_2$$

полная мощность первичной обмотки  $S_1 = U_1 \cdot I_1$

где  $U_1$  - напряжение первичной обмотки, В;

$U_2$  - напряжение вторичной обмотки, В;

$I_1$  - ток первичной обмотки, А;

$I_2$  - ток вторичной обмотки, А.

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

$$S_N = U_{2Н} I_{2Н} \approx U_{1Н} I_{1Н};$$

$$I_{1Н} = \frac{S_N}{U_{1Н}};$$

$$I_{2Н} = \frac{S_N}{U_{2Н}}$$

Коэффициент полезного действия трансформатора (к.п.д), как и в других мощных устройствах, является одним из важнейших параметров.

КПД трансформатора определяется как отношение активной мощности переменного тока, потребляемой нагрузкой к активной мощности, потребляемой от электросети. Формула определения КПД записывается следующим образом:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_C + P_{OEM}} = \frac{U_2 I_2 \cos \varphi_2}{U_2 I_2 \cos \varphi_2 + P_{OEM} + P_C}$$

где  $P_C$  - потери в сердечнике трансформатора (динамические и статические);

$$P_{OEM} = I_2^2 \cdot r_{TP} - \text{потери в его обмотках};$$

$$r_{TP} = r_2 + \frac{r_1}{n^2} - \text{активное сопротивление всех обмоток трансформатора,}$$

приведённое к вторичной цепи.

### Нагрузочная способность трансформаторов

Нагрузочной способностью трансформаторов называется совокупность допустимых нагрузок и перегрузок трансформатора. Исходным режимом для определения нагрузочной способности является номинальный режим работы трансформатора на основном ответвлении при номинальных условиях места установки и охлаждающей среды, определяемых соответствующим стандартом или техническими условиями.

Допустимым режимом нагрузки называется режим продолжительной нагрузки трансформатора, при котором расчетный износ изоляции обмоток от нагрева не превышает износа, соответствующего номинальному режиму работы. Перегрузочным считается такой режим, при котором расчетный износ изоляции превосходит износ, соответствующий номинальному режиму работы.

Основанием для ограниченных во времени нагрузок работы трансформатора, в том числе и выше номинальной, является неполная нагрузка трансформатора в период, предшествующий допустимой нагрузке, и пониженная температура охлаждающей среды (воздуха или воды).

В реальных условиях трансформатор может работать не только в номинальном режиме. Для оценки степени его загрузки по току используется

$$\beta = \frac{I_2}{I_{2H}},$$

коэффициент нагрузки

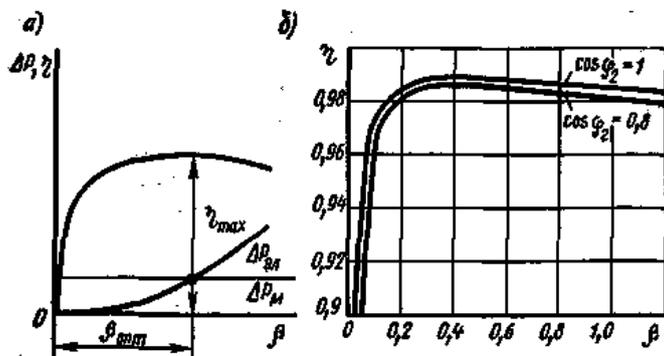
где  $I_{2H}$  - номинальный выходной ток трансформатора. Тогда ток вторичной обмотки можно записать следующим образом:

$$I_2 = \beta I_{2H}$$

После подстановки этого выражения в формулу КПД, выражение для вычисления КПД трансформатора принимает следующий вид с учетом коэффициента нагрузки:

$$\eta = \frac{U_2 \beta I_{2H} \cos \varphi_2}{U_2 \beta I_{2H} \cos \varphi_2 + P_c + \beta^2 I_{2H}^2 r_{TP}}$$

**Зависимость КПД от нагрузки.** Задаваясь значением коэффициента нагрузки трансформатора от 0 до 1 можно построить график зависимости КПД от нагрузки.



Зависимость КПД трансформаторов  $\eta$  от нагрузки  $\beta$

При  $\beta = 0$  полезная мощность и КПД равны нулю. С увеличением отдаваемой мощности КПД увеличивается, так как в энергетическом балансе уменьшается удельное значение магнитных потерь в стали, имеющих постоянное значение. При некотором значении  $\beta_{opt}$  кривая КПД достигает максимума, после чего начинает уменьшаться с увеличением нагрузки. Причиной этого является сильное увеличение электрических потерь в обмотках, возрастающих пропорционально квадрату тока, т. е. пропорционально  $\beta^2$ , в то время как полезная мощность  $P_2$  возрастает только пропорционально  $\beta$ .

Максимальное значение КПД в трансформаторах большой мощности достигает весьма высоких пределов (0,98—0,99).

### Пример расчета

Трехфазный трансформатор имеет следующие параметры:  $S_{НОМ} = 1000 \text{кВА}$ ;  $U_{НОМ1} = 10 \text{кВ}$ ;  $U_{НОМ2} = 0,4 \text{кВ}$ ; потери в стали  $P_{СТ} = 2,45 \text{кВт}$ ; потери в обмотках  $P_{ОБМ.НОМ.} = 12,2 \text{кВт}$ . Первичная обмотка соединена треугольником, вторичная звездой. Сечение магнитопровода  $Q = 450 \text{см}^2$ , амплитуда магнитной индукции  $B_m = 1,5 \text{Тл}$ , частота тока сети 50 Гц. От трансформатора потребляется активная мощность  $P_2 = 810 \text{кВт}$ , при коэффициенте мощности  $\cos \varphi_2 = 0,9$ . Определить:

- номинальные токи в обмотках;
- коэффициент нагрузки трансформатора  $\beta$ ;
- токи в обмотке при фактической нагрузке;
- фазные ЭДС, наводимые в обмотке;
- число витков в обмотках;
- КПД трансформатора при номинальной нагрузке;

- КПД трансформатора при фактической нагрузке

1. Номинальные токи в обмотках

$$I_{НОМ1} = \frac{S_{НОМ} \cdot 10^3}{\sqrt{3}U_{НОМ1}} ;$$

$$I_{НОМ2} = \frac{S_{НОМ} \cdot 10^3}{\sqrt{3}U_{НОМ2}}$$

2. Коэффициент нагрузки трансформатора

$$\beta = \frac{P_2}{S_{НОМ} \cdot \cos\varphi_2}$$

3. Токи в обмотке при фактической нагрузке

$$I_1 = \beta \cdot I_{НОМ1} ; I_2 = \beta \cdot I_{НОМ2}$$

4. Фазные ЭДС, наводимые в обмотках. Первичные обмотки соединены в треугольник, а вторичные - в звезду, поэтому пренебрегая падением напряжения в первичной обмотке, считаем

$$E_{1\phi} \approx U_{1НОМ} ; E_{2\phi} \approx U_{2НОМ} (\text{для } \Delta) \left( \frac{U_{2НОМ}}{\sqrt{3}} \text{ для } Y \right)$$

5. Число витков в обмотках

$$\omega_1 = \frac{E_{\phi 1}}{4,44 \cdot f \cdot B_m \cdot Q}$$

Здесь  $Q = 450 \text{ см}^2$  или  $0,045 \text{ м}^2$

6. КПД трансформатора при номинальной нагрузке

$$\eta_{НОМ} = \frac{S_{НОМ} \cdot \cos\varphi_2 \cdot 100}{S \cos\varphi_2 + P_{СТ} + P_{ОБ.НОМ}}$$

7. КПД трансформатора при фактической нагрузке

$$\eta_{НОМ} = \frac{\beta \cdot S_{НОМ} \cdot \cos\varphi_2 \cdot 100}{\beta \cdot S \cos\varphi_2 + P_{СТ} + \beta^2 \cdot P_{ОБ.НОМ}}$$

### Варианты заданий для самостоятельного решения

**Задание.** Определить: номинальные токи в обмотках; коэффициент нагрузки трансформатора  $\beta$ ; токи в обмотке при фактической нагрузке; фазные ЭДС, наводимые в обмотка; число витков в обмотках; КПД трансформатора при номинальной нагрузке; КПД трансформатора при фактической нагрузке

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$Q$	450	400	250	530	330	600	560	490	390	610
$B_m$	1,5	1,3	0,8	1,8	1,1	1,9	1,6	1,6	1,2	1,5
$P_2$	800	840	700	900	750	950	810	770	800	720
$\cos\varphi_2$	0,7	1,0	0,6	1,4	0,9	1,8	0,9	0,8	0,7	0,9

***Контрольные вопросы***

1. Дайте определение трансформатора.
2. Из чего состоит трансформатор?
3. Дайте определение понятия «Нагрузочной способности трансформатора»?

## Практическая работа 7

### Тема: Электрические машины переменного тока

**Цель: Овладеть навыками расчета параметров асинхронного двигателя**

#### *Теоретические сведения*

Асинхронный электродвигатель - двухобмоточный электрический двигатель, одна из обмоток которого питается от сети переменного напряжения, а другая замкнута накоротко или на сопротивление.

Асинхронные двигатели находят широкое применение в хозяйстве. По разным данным, около 70% всей электрической энергии, преобразуемой в механическую вращательного или поступательного движения, потребляется асинхронными электродвигателями.

Широкое применение асинхронных двигателей связано с простотой их конструкции, ее технологичностью и минимальными затратами в эксплуатации, по сравнению с другими видами электрических машин, таких как двигатели постоянного тока, синхронными двигателями и т.д.

Трехфазный асинхронный электродвигатель, традиционного исполнения, выполняющего вращательное движение (конструкция такого двигателя впервые была предложена М.О. Доливо-Добровольским в 1889 году) состоит из двух основных частей: неподвижного статора и вращающегося ротора.

Статор состоит из станины, в которую впрессован сердечник статора – магнитопровод статора с распределенной обмоткой. Назначение сердечника – создание вращающегося магнитного поля. Магнитопровод состоит из штампованных, изолированных друг от друга листов электротехнической изотропной (в крупных машинах – анизотропной) стали, толщиной (в зависимости от размеров и необходимых параметров машины) от 0,28 до 1 мм.

Сердечник ротора двигателя, аналогично сердечнику статора, набирается из листов электротехнической стали. Обмотки роторов бывают короткозамкнутые, из алюминиевого литья, и фазные, которые, аналогично обмотке статора, выполнены из изолированного медного провода, концы обмоток выводятся на контактные кольца, закрепленные на вале ротора, далее, посредством щеточного контакта, к обмотке ротора можно подключить пусковой реостат.

Асинхронные двигатели в силу ряда достоинств (относительная дешевизна, высокие энергетические показатели, простота обслуживания) являются наиболее распространенными среди всех электрических машин.

В количественном отношении они составляют около 90 % всего парка машин в народном хозяйстве, а по установленной мощности – около 55 %.

Самым распространённым двигателем промышленных электроприводов является трёхфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором.

Применение частотно-регулируемого асинхронного электропривода в механизмах подъемно-транспортного оборудования является эффективным методом повышения технологичности производства. Использование таких приводов позволяет:

1) значительно (до 40 %) снизить энергопотребление крана, что особенно актуально при постоянно растущих тарифах на энергоносители;

2) осуществить разгон и торможение двигателя плавно, по линейному закону от времени, при варьировании временем разгона и временем торможения от долей секунды до 50 мин;

3) повысить комфортные показатели при движении крана и долговечность механического оборудования благодаря плавности переходных процессов;

4) защитить двигатель от перегрузок по току, перегрева, утечек на землю и от обрывов в цепях питания двигателей;

5) снизить эксплуатационные расходы на капитальный ремонт оборудования за счет значительного снижения динамических нагрузок в элементах кинематической цепи;

6) изменять скорости и ускорения движения механизмов крана применительно к конкретным технологическим задачам.

Эффективность и экономичность таких электроприводов в значительной степени зависит от правильности выбора номинальных параметров их основных элементов, т.е. двигателя и преобразователя частоты.

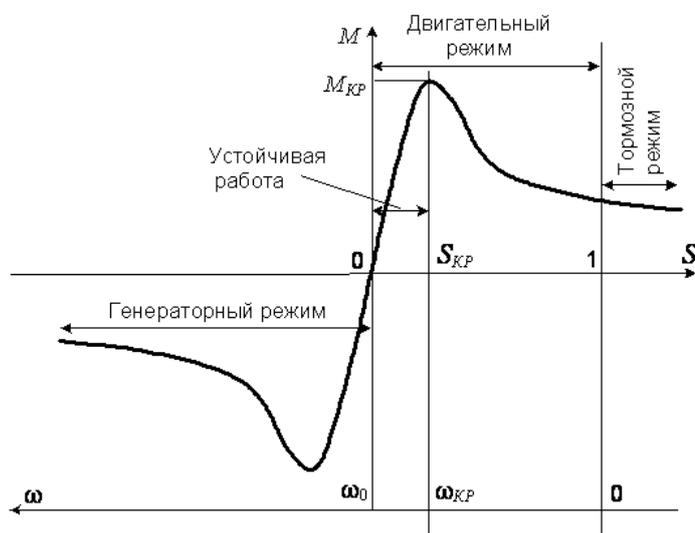
Принцип действия асинхронной машины состоит в следующем: один из элементов машины – статор используется для создания движущегося с определенной скоростью магнитного поля, а в замкнутых проводящих пассивных контурах другого элемента – ротора наводятся ЭДС, вызывающие протекание токов и образование сил (моменты) при их взаимодействии с магнитным полем. Все эти явления имеют место при несинхронном (асинхронном) движении ротора относительно поля, что и дало машинам такого типа название – *асинхронные*

Статор обычно выполнен в виде нескольких, расположенных в пазах, катушек, а ротор – в виде «беличьей клетки» (короткозамкнутый ротор) или в виде нескольких катушек (фазный ротор), которые соединены между собой, выведены на кольца, расположенные на валу, и, с помощью скользящих по ним щеток, могут быть замкнуты на внешние резисторы.

Несмотря на простоту физических явлений и материализующих их конструктивов полное математическое описание процессов в асинхронной машине весьма сложно.

Синхронная угловая скорость при питании от сети  $f_1 = 50$  Гц синхронная частота вращения может быть 3000, 1500, 1000, 750, 600... об/мин в зависимости от конструкции машины (числа пар полюсов  $p$ ).

Асинхронный электропривод, как и электропривод постоянного тока, может работать в двигательном и трёх тормозных режимах с таким же, как в электроприводе постоянного тока, распределением потоков энергии (рис.1).



### Механическая характеристика асинхронной машины

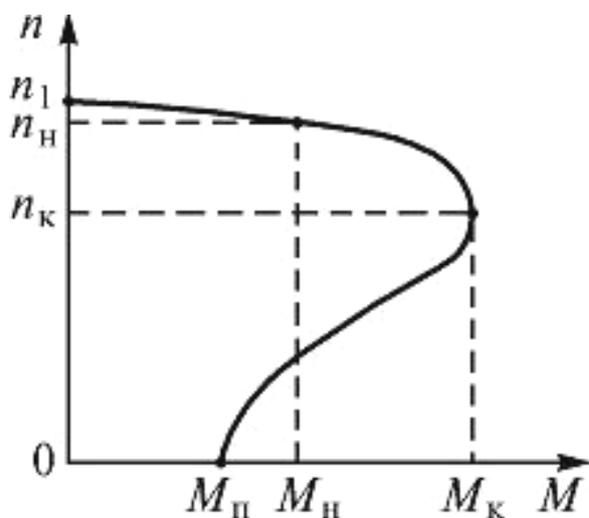
Как следует из рис. 1, по мере увеличения момента сопротивления увеличивается скольжение машины и развиваемый момент. При некотором критическом **скольжении**  $s_{KP}$ , **момент** двигателя достигает **максимального** (или **критического**) значения –  $M_{KP}$ . Жёсткость механической характеристики асинхронных двигателей переменна: на рабочем участке  $s = 0 \dots s_{KP}$ :  $b < 0$ , а при  $\frac{1}{2}s^{1/2} > \frac{1}{2}s_{KP}^{1/2}$  – положительна:  $b < 0$ .

Специфическим является режим **динамического торможения**, которое представляет собою генераторный режим отключенного от сети переменного тока асинхронного двигателя, к статору которого подведен постоянный ток  $I_n$ . Этот режим применяется в ряде случаев, когда после отключения двигателя от сети требуется его быстрая остановка без реверса.

Постоянный ток, подводимый к обмотке статора, образует неподвижное в пространстве поле. При вращении ротора в его обмотке наводится переменная эдс, под действием которой протекает переменный ток. Этот ток создает также неподвижное поле.

Складываясь, поля статора и ротора образуют результирующее поле, которое при взаимодействии с током ротора создает тормозной момент. Энергия, поступающая с вала двигателя, рассеивается при этом в сопротивлениях роторной цепи.





Механическая характеристика асинхронного двигателя

### Пример расчета

**Задача 1.** Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором питается от сети с  $U_H = 380$  В при  $f = 50$  Гц. Параметры двигателя:  $P_H = 14$  кВт,  $n_H = 960$  об/мин,  $\cos\varphi_H = 0,85$ ,  $\eta_H = 0,88$ , кратность максимального момента  $k_M = 1,8$ .

Определить: номинальный ток в фазе обмотки статора, число пар полюсов, номинальное скольжение, номинальный момент на валу, критический момент, критическое скольжение.

**Решение.** Номинальная мощность, потребляемая из сети

$$P_{1H} = P_H / \eta_H = 14 / 0,88 = 16 \text{ кВт.}$$

Номинальный ток, потребляемый из сети

$$I_{1H} = \frac{P_{1H}}{\sqrt{3} U_{1H} \cos\varphi_H} = \frac{16 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,85} = 28 \text{ А.}$$

Число пар полюсов

$$p = 60 f / n_1 = 60 \times 50 / 1000 = 3,$$

где  $n_1 = 1000$  – синхронная частота вращения, ближайшая к номинальной частоте

$$n_H = 960 \text{ об/мин.}$$

Номинальное скольжение

$$s_H = (n_1 - n_H) / n_1 = (1000 - 960) / 1000 = 0,04$$

Номинальный момент на валу двигателя

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{P_H}{\frac{\pi n_H}{30}} = \frac{14000}{\frac{\pi \cdot 960}{30}} = 139,3 \text{ Н·м.}$$

Критический момент

$$M_k = k_M \times M_H = 1,8 \times 139,3 = 250,7 \text{ Н·м.}$$

Критическое скольжение находим подставив  $M = M_n$ ,  $s = s_n$  и  $M_k / M_n = k_m$ .

$$s_k = k_m s_n + \sqrt{(k_m s_n)^2 - s_n^2} = s_n (k_m + \sqrt{k_m^2 - 1}) = 0,04(1,8 + \sqrt{1,8^2 - 1}) = 0,132$$

Для построения механической характеристики двигателя с помощью  $n = (n_1 - s)$  определим характерные точки: точка холостого хода  $s = 0$ ,  $n = 1000$  об/мин,  $M = 0$ , точка номинального режима  $s_n = 0,04$ ,  $n_n = 960$  об/мин,  $M_n = 139,3$  Н·м и точка критического режима  $s_k = 0,132$ ,

$n_k = 868$  об/мин,  $M_k = 250,7$  Н·м.

Для точки пускового режима  $s_p = 1$ ,  $n = 0$  находим

$$M_p = \frac{2 \cdot M_k}{\frac{s_k}{s_p} + \frac{s_p}{s_k}} = \frac{2 \cdot 250,7}{\frac{0,132}{1} + \frac{1}{0,132}} = 65 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

По полученным данным строят механическую характеристику двигателя. Для более точного построения механической характеристики следует увеличить число расчетных точек и для заданных скольжений определить моменты и частоту вращения.

**Задача 2.** Трехфазный АД с короткозамкнутым ротором типа 4А100S2УЗ по каталогу имеет номинальные данные: полезная 4 кВт; частоту вращения ротора 2880 об/мин; КПД 86,5%; коэффициент мощности 0,89; кратность пускового тока 7,5; кратность максимального момента 2,5; кратность пускового момента 2,0, напряжение сети 220/330. Требуется определить: высоту оси вращения, число полюсов  $2p$ , скольжение при номинальной нагрузке  $S_{НОМ}$ , момент на валу  $M_{НОМ}$  и максимальный момент  $M_{max}$ , потребляемую двигателем из сети активную мощность  $P_{1НОМ}$ , суммарные потери при номинальной нагрузке  $\sum P$ , номинальный  $I_{1НОМ}$  и пусковой токи  $I_{II}$  в питающей сети при соединении обмоток статора «звездой» и «треугольником».

### Решение.

1. 4А100S2УЗ. В обозначении типоразмера двигателя цифры, стоящие после обозначения 4А, указывают на высоту оси вращения, т.е.  $h = 100$  мм.

2. Следующая цифра, указывает на число пар полюсов, т.е.  $2p = 2$ ; при частоте переменного тока 50 Гц этому числу полюсов соответствует синхронная частота вращения  $n_1 = 3000$  об/мин.

3. Скольжение при номинальной нагрузке определяется номинальной частотой вращения ротора двигателя

$$S_{НОМ} = \frac{n_1 - n_{2НОМ}}{n_1} = \frac{3000 - 2880}{3000} = 0,04 \text{ или } 4\%$$



	,78	,74	,68	,84	,70	,62	,88	,57	,61	,85
--	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

**Задание 2.** Определить: определить: высоту оси вращения, число полюсов  $2p$ , скольжение при номинальной нагрузке  $S_{НОМ}$ , момент на валу  $M_{НОМ}$  и максимальный момент  $M_{тах}$ , потребляемую двигателем из сети активную мощность  $P_{НОМ}$ , суммарные потери при номинальной нагрузке  $\sum P$ , номинальный  $I_{НОМ}$  и пусковой токи  $I_{п}$  в питающей сети при соединении обмоток статора «звездой» и «треугольником».

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{НОМ}$	4000	3000	3600	2800	3100	3400	4100	3500	3800	3340
$n_2$	3220	1880	2880	1700	2100	2350	3440	2550	3120	2450
$\cos\varphi_{НОМ}$	0,90	0,76	0,85	0,75	0,79	0,78	0,91	0,82	0,89	0,88
$\eta_{НОМ}$	0,96	0,79	0,89	0,78	0,81	0,80	0,93	0,84	0,92	0,90

### ***Контрольные вопросы***

1. Дайте определение асинхронного двигателя.
2. Из каких основных частей состоит асинхронный двигатель?
3. Что представляет собой режим динамического торможения?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Основные источники:

1. Электротехника и электроника : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / Б. И. Петленко, Ю.М.Иньков, А.В.Крашенинников и др. ; под ред. Ю.М.Инькова. – 9-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2013. – 368 с.
2. Немцов М. Электротехника и электроника, издательство КноРус,
3. Электротехника и основы электроники: Иванов И. И., Соловьев Г. И., Фролов В. Я. Учебник. 7-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Издательство «Лань», 2012. – 736 с.

Дополнительные источники:

- 1 Березкина Т.Ф., Гусев Н.Г., Масленников В.В. Задачник по общей электротехнике с основами электроники. – М.: Высшая школа, 2010.
- 2 Волынский Б.А., Зейн Е.Н., Шатерников В.Е. Электротехника. – М.: Энергоатомиздат, 2011.
- 3 Гордин Е.М. и др. Основы автоматики и вычислительной техники. – М.: Машиностроение, 2013.