

Министерство образования и науки Республики Башкортостан
ГБПОУ Октябрьский многопрофильный профессиональный колледж

МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
ОП.02 ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

ДЛЯ ПРОФЕССИИ
СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

13.01.10 ЭЛЕКТРОМОНТЕР ПО РЕМОНТУ И ОБСЛУЖИВАНИЮ
ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ (ПО ОТРАСЛЯМ)

Утверждено
на заседании МС
протокол № от «___»_____2019 г.

Рассмотрено
на заседании ПЦК технологии и технического
профиля
протокол № от «___»_____2019 г.

Методическое пособие по выполнению практических работ по учебной дисциплине составлено в соответствии с Государственными требованиями к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников профессии СПО 13.01.10 Электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования (по отраслям)

Организация-разработчик: ГБПОУ Октябрьский многопрофильный профессиональный колледж, Республика Башкортостан

Разработчик: Киреева М.А., преподаватель

Автор: Киреева М.А. – преподаватель

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Методическое пособие для выполнения практических работ по учебной дисциплине «Электротехника» предназначено для реализации требований ФГОС СПО по профессии СПО 13.01.10 Электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования (по отраслям).

Учебная дисциплина «Электротехника» входит в общепрофессиональный цикл.

Методическое пособие составлено в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Электротехника» и учебным планом по профессии 13.01.10 Электромонтер по ремонту и обслуживанию электрооборудования (по отраслям).

Практические работы проводятся с целью успешного освоения обучающимися теоретического материала, которые позволят обучающимся овладеть профессиональными знаниями и умениями, опытом творческой деятельности при решении проблем учебного и профессионального уровня и направлены на формирование следующих компетенций:

ОК 1. Понимать сущность и социальную значимость своей будущей профессии, проявлять к ней устойчивый интерес.

ОК 2. Организовывать собственную деятельность, исходя из цели и способов ее достижения, определенных руководителем.

ОК 3. Анализировать рабочую ситуацию, осуществлять текущий и итоговый контроль, оценку и коррекцию собственной деятельности, нести ответственность за результаты своей работы.

ОК 4. Осуществлять поиск информации, необходимой для эффективного выполнения профессиональных задач.

ОК 5. Использовать информационно-коммуникационные технологии в профессиональной деятельности.

ОК 6. Работать в команде, эффективно общаться с коллегами, руководством, клиентами.

ОК 7. Исполнять воинскую обязанность, в том числе с применением полученных профессиональных знаний (для юношей).

ПК 1.1. Выполнять слесарную обработку, пригонку и пайку деталей и узлов различной сложности в процессе сборки.

ПК 1.2. Изготавливать приспособления для сборки и ремонта.

ПК 1.3. Выявлять и устранять дефекты во время эксплуатации оборудования и при проверке его в процессе ремонта.

ПК 1.4. Составлять дефектные ведомости на ремонт электрооборудования.

ПК 2.1. Принимать в эксплуатацию отремонтированное электрооборудование и включать его в работу.

ПК 2.2. Производить испытания и пробный пуск машин под наблюдением инженерно-технического персонала.

ПК 2.3. Настраивать и регулировать контрольно-измерительные приборы и инструменты.

ПК 3.1. Проводить плановые и внеочередные осмотры электрооборудования.

ПК 3.2. Производить техническое обслуживание электрооборудования согласно технологическим картам.

ПК 3.3. Выполнять замену электрооборудования, не подлежащего ремонту, в случае обнаружения его неисправности.

В методическом пособии приведены задачи и рассмотрены примеры расчета электрических цепей постоянного и переменного тока, трехфазных цепей с помощью различных методов, магнитных цепей, показаны способы проверки правильности решения задач.

**ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ «ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОТЕХНИКИ»**

Наименование разделов и тем по программе	Наименование темы практической работы	Количество часов на практ. раб.
Раздел 1. Электрические и магнитные цепи		
Тема 1.1. Постоянный ток и цепи постоянного тока	1.Расчет простых электрических цепей постоянного тока 2-3.Методы расчета сложных электрических цепей. 4. Расчет нелинейных цепей постоянного тока	8
Тема 1.2. Магнитные цепи и электромагнитная индукция	1.Решение задач по теме. Расчет магнитных величин. 2.Расчет магнитных цепей.	4
Тема 1.3. Электрические цепи переменного тока	1-2. Расчет электрических цепей переменного тока. 3-4. Расчет трехфазных цепей. Построение временных и векторных диаграмм.	7
Раздел 2. Электротехнические устройства		
Тема 2.1. Электрические измерения	1.Решение задач по теме. Расчет погрешностей электроизмерительных приборов. 2.Схемы включения электроизмерительных приборов. 3.Решение задач. Расширение пределов измерения амперметров и вольтметров.	6
Тема 2.2. Трансформаторы и электрические машины	1-2. Расчет параметров трансформаторов. 3-4. Расчет параметров электрических двигателей.	8
Тема 2.3. Электрический привод и аппаратура управления и защиты	1.Условные графические и буквенные обозначения на электрических схемах. 2.Выполнение эскизов аппаратов защиты и управления. 3.Составление схем управления. 4.Составление схем защиты. 5.Чтение принципиальных электрических схем. 6. Чтение монтажных электрических схем.	9
Тема 2.4. Производство, распределение и потребление электроэнергии	1.Чтение схем электроснабжения. 2-3. Чтение схем электрических сетей напряжением до 1 кВ. 4-5 Чтение схем электрических сетей напряжением свыше 1 кВ.	10
	Итого	48

Практическая работа 1 Расчет простых электрических цепей постоянного тока

Пример решения задачи

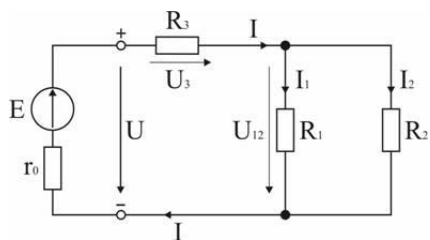


Рис. 1

Задача . В цепи, схема которой приведена на рис. 1, ЭДС аккумуляторной батареи $E = 78$ В, ее внутреннее сопротивление $r_0 = 0,5$ Ом. Сопротивления резисторов $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 5$ Ом, $R_3 = 4$ Ом. Вычислить токи во всех ветвях цепи и напряжения на зажимах батареи и на каждом из резисторов.

Решение

1. Обозначение токов и напряжений на участках цепи.

Резистор R_3 включен последовательно с источником, поэтому ток I для них будет общим, токи в резисторах R_1 и R_2 обозначим соответственно I_1 и I_2 . Аналогично обозначим напряжения на участках цепи.

2. Определение эквивалентного сопротивления цепи:

$$R_3 = r_0 + R_3 + R_1 R_2 / (R_1 + R_2) = 0,5 + 4 + 5 * 10 / (5 + 10) = 7,8 \text{ Ом}$$

3. Ток в цепи источника рассчитываем по закону Ома:

$$I = E / R_3 = 78 / 7,8 = 10 \text{ А.}$$

4. Определение напряжений на участках цепи:

$$U_{12} = R_{12} I = 3,3 * 10 = 33 \text{ В}; U_3 = R_3 I = 4 * 10 = 40 \text{ В};$$

$$U = E - r_0 I = 78 - 0,5 * 10 = 73 \text{ В.}$$

5. Определение токов и мощностей всех участков:

$$I_1 = U_{12} / R_1 = 33 / 10 = 3,3 \text{ А}; I_2 = U_{12} / R_2 = 33 / 5 = 6,6 \text{ А};$$

$$P_1 = R_1 I_1^2 = U_{12} I_1 = 108,9 \text{ Вт}; P_2 = R_2 I_2^2 = U_{12} I_2 = 217,8 \text{ Вт};$$

$$P_3 = R_3 I^2 = U_3 I = 400 \text{ Вт.}$$

Мощность потерь на внутреннем сопротивлении источника

$$\square P = r_0 I^2 = 50 \text{ Вт.}$$

Мощность источника $P = E I = 780 \text{ Вт.}$

Дополнительные вопросы к задаче 1

1. Как проверить правильность решения задачи?

Правильность вычисления токов можно проверить, составив уравнение на основании первого закона Кирхгофа: $I = I_1 + I_2$.

Правильность расчета мощностей проверяют по уравнению баланса мощностей:

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \square P.$$

2. Каким будет напряжение на зажимах источника, при обрыве в цепи резистора R_3 ?

Это будет режим холостого хода источника ЭДС, при котором $U = E$, т.к. ток I равен 0 и $I r_0 = 0$.

3. Каким будет ток в цепи источника при коротком замыкании на его зажимах?

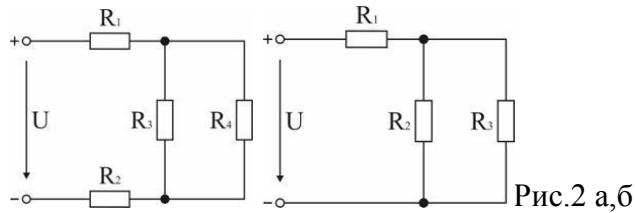
В режиме короткого замыкания $U = 0$ и ток источника ограничивается только его внутренним сопротивлением

$$I_{кз} = E / r_0 = 78 / 0,5 = 156 \text{ А.}$$

4. Как изменятся токи в схеме при увеличении R_1 ?

При увеличении R_1 увеличивается сопротивление параллельного участка схемы R_{12} , поэтому увеличивается сопротивление $R_{э\text{кв}}$, что приводит к уменьшению тока I . При уменьшении I уменьшаются падения напряжения $I R_3$ и $I r_0$ и, в соответствии со вторым законом Кирхгофа, напряжение на разветвлении $U_{12} = E - I (R_3 + r_0)$ возрастает, что приводит к увеличению тока в резисторе R_2 . Т.к. ток I уменьшается, а ток I_2 возрастает, ток $I_1 = I - I_2$ уменьшается.

Задания для самостоятельного решения



Задача 1. В схеме (рис. 2а) $R_1 = R_3 = 40 \text{ Ом}$, $R_2 = 20 \text{ Ом}$, $R_4 = 30 \text{ Ом}$, $I_3 = 5 \text{ А}$. Вычислить напряжение источника U и ток I_4 .

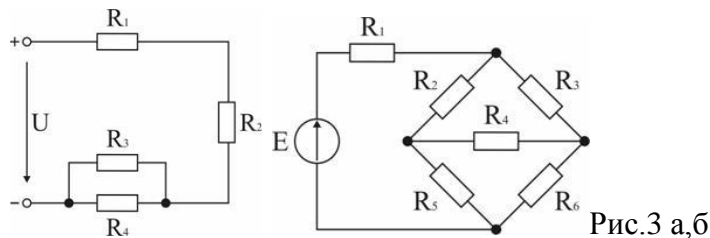
Задача 2. В схеме (рис. 2а) напряжение $U = 65 \text{ В}$, напряжение на зажимах резистора R_4 равно 20 В . Определить все токи в схеме, если $R_2 = 15 \text{ Ом}$, $R_3 = 10 \text{ Ом}$, $R_4 = 30 \text{ Ом}$.

Задача 3. В схеме (рис. 2б) $R_1 = 10 \text{ Ом}$, $R_2 = 5 \text{ Ом}$, $R_3 = 10 \text{ Ом}$, $I_3 = 2 \text{ А}$. Найти напряжение источника U .

Задача 4. К схеме (рис. 2б) приложено напряжение $U = 45 \text{ В}$, при этом ток источника $I_1 = 1,25 \text{ А}$. Сопротивления ветвей параллельной части схемы равны: $R_2 = 40 \text{ Ом}$, $R_3 = 10 \text{ Ом}$. Найти R_1 и токи I_2, I_3 .

Задача 5. В схеме (рис. 2б) – $R_1 = 50 \text{ Ом}$, ток источника $I = 0,6 \text{ А}$, ток в резисторе R_3 равен $I_3 = 0,4 \text{ А}$, мощность, расходуемая в резисторе R_4 : $P_4 = 0,4 \text{ Вт}$; напряжение на резисторе R_2 : $U_2 = 36 \text{ В}$. Определить напряжение источника U .

Задача 6. Мощности, расходуемые в сопротивлениях схемы (рис. 1а): $P_1 = 15 \text{ Вт}$, $P_2 = 20 \text{ Вт}$, $P_3 = 10,8 \text{ Вт}$, $P_4 = 7,2 \text{ Вт}$. Определить напряжения на участках схемы и токи в ее ветвях, если приложенное к ней напряжение $U = 106 \text{ В}$.



Задача 7. Для схемы (рис. 3а) дано: $R_1 = 2 \text{ Ом}$, $R_2 = 4 \text{ Ом}$, $R_3 = 10 \text{ Ом}$, $R_4 = 60 \text{ Ом}$, $R_5 = 22 \text{ Ом}$, $R_6 = 5 \text{ Ом}$, $E = 12 \text{ В}$. Вычислить ток в диагонали моста R_4 , используя преобразование треугольника резисторов R_2, R_3, R_4 в эквивалентную звезду.

Задача 8. В схеме (рис. 3б) определить ток источника, используя преобразование звезды резисторов R_2, R_4, R_5 в эквивалентный треугольник, если $R_2 = 6 \text{ Ом}$, $R_3 = 42 \text{ Ом}$, $R_4 = 12 \text{ Ом}$, $R_5 = 24 \text{ Ом}$, $R_6 = 28 \text{ Ом}$, $I_3 = 0,5 \text{ А}$.

Контрольные вопросы

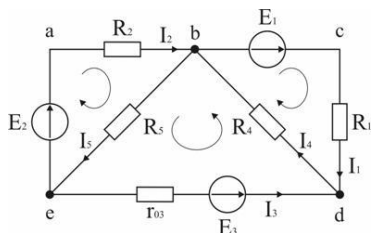
1. Сформулировать закон Ома для участка и для замкнутого контура.
2. Нарисовать схемы с последовательным и параллельным соединением пассивных элементов, указать основные свойства этих соединений, схему со смешанным соединением пассивных элементов; дать порядок расчета этих схем.

3. Нарисовать схемы соединения пассивных элементов звездой и треугольником и объяснить порядок их расчета.
4. Сформулировать первый и второй законы Кирхгофа, объяснить правила знаков.
5. Сформулировать уравнение баланса мощностей.
6. Как составляется система уравнений для расчета сложных схем при помощи уравнений Кирхгофа?

Практическая работа 2-3 Методы расчета сложных электрических цепей

Пример решения задачи

Расчет сложных цепей при помощи уравнений Кирхгофа



Задача. Рассчитать схему рис. 3, составив систему уравнений на основании законов Кирхгофа.

$$E_1 = 60 \text{ В}; E_2 = 80 \text{ В}; E_3 = 70 \text{ В};$$

$$R_1 = 20 \text{ Ом}; R_2 = 50 \text{ Ом}; r_{03} = 5 \text{ Ом}; R_4 = 65 \text{ Ом}; R_5 = 85 \text{ Ом}.$$

Рис.4

Решение

1. Определение необходимого числа уравнений.

В схеме пять ветвей и для расчета токов в них надо составить пять уравнений. По первому закону Кирхгофа составляются уравнения для всех узлов, кроме одного (уравнение для него будет следствием предыдущих), по второму – для независимых контуров (в каждый последующий контур входит хотя бы одна ветвь, не вошедшая в ранее рассмотренные). Для данной схемы надо составить два уравнения по первому закону и три – по второму.

2. Составление и решение системы уравнений.

Для составления уравнений задаемся произвольно направлениями токов в ветвях и направлениями обхода контуров (рис. 1.30).

Уравнение для узла d: $I_1 + I_3 - I_4 = 0$.

Уравнение для узла e: $-I_2 - I_3 + I_5 = 0$.

Уравнение для контура bcd: $I_1 R_1 + I_4 R_4 = E_1$.

Уравнение для контура abe: $I_2 R_2 + I_5 R_5 = E_2$.

Уравнение для контура bde: $I_3 r_{03} + I_4 R_4 + I_5 R_5 = E_3$.

Подставив в уравнения численные значения величин, получим алгебраическую систему уравнений:

$$I_1 + I_3 - I_4 = 0;$$

$$-I_2 - I_3 + I_5 = 0;$$

$$20 I_1 + 65 I_4 = 60;$$

$$50 I_2 + 85 I_5 = 80;$$

$$5 I_3 + 65 I_4 + 85 I_5 = 70.$$

Решение системы дает значения токов: $I_1 = 1,093 \text{ А}; I_2 = 0,911 \text{ А}; I_3 = -0,506 \text{ А};$

$I_4 = 0,587 \text{ А}; I_5 = 0,405 \text{ А}.$

Дополнительные вопросы к задаче

1. Что означает минус перед численным значением тока I_3 ?

Знак «-» говорит о том, что реальное направление тока в данной ветви противоположно принятому в начале расчета.

2. В каких режимах работают элементы схемы, содержащие источники ЭДС?

В ветвях с E_1 и E_2 токи совпадают по направлению с ЭДС, т.е. данные элементы работают источниками, отдавая энергию в схему; в ветви с ЭДС E_3 ток направлен против ЭДС, т.е. данный элемент работает потребителем (например, машина постоянного тока в режиме двигателя).

3. Как проверить правильность решения задачи?

Для проверки правильности расчета можно на основании законов Кирхгофа написать уравнения для узлов и контуров схемы, которые не использовались при составлении исходной системы. Независимой проверкой является уравнение баланса мощностей: сумма мощностей источников равна сумме мощностей, расходуемых в резистивных элементах схемы. Т.к. элемент схемы с ЭДС может работать как в режиме источника, так и в режиме потребителя, соответствующее слагаемое в левой части уравнения берется с плюсом, если E и I совпадают по направлению (источник), и с минусом, если направления противоположны (потребитель).

Мощности элементов схемы с ЭДС:

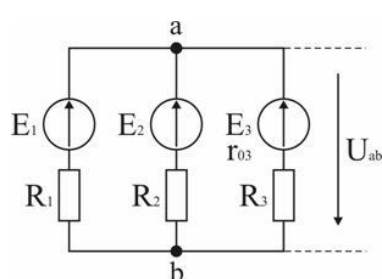
$$E_1 I_1 + E_2 I_2 - E_3 I_3 = 60 * 1 * 1,093 + 80 * 0,911 - 70 * 0,506 = 104,04 \text{ Вт.}$$

Мощности, расходуемые в резистивных элементах схемы:

$$I_1^2 R_1 + I_2^2 R_2 + I_3^2 r_{03} + I_4^2 R_4 + I_5^2 R_5 = 1,093^2 * 20 + 0,911^2 * 50 + 0,506^2 * 5 + 0,587^2 * 65 + 0,405^2 * 85 = 103,01 \text{ Вт}$$

□ EI = □ P Баланс мощностей сошелся, следовательно задача решена верно.

Расчет цепи методом узлового напряжения



Задача. В схеме рис. 5 $E_1 = 60 \text{ В}$, $E_2 = 48 \text{ В}$, $E_3 = 6 \text{ В}$,
 $R_1 = 200 \text{ Ом}$, $R_2 = 100 \text{ Ом}$, $r_{03} = 0,5 \text{ Ом}$, $R_3 = 9,5 \text{ Ом}$.
Определить токи в ветвях схемы.

Рис.5

Решение

1. Вычисление узлового напряжения. Для схемы с двумя узлами напряжение между ними можно подсчитать по формуле

$$U_{ab} = \frac{E_1 g_1 + E_2 g_2 + E_3 g_3}{g_1 + g_2 + g_3},$$

где E_i – ЭДС i -й ветви, g_i – ее проводимость .

Подставляем числовые значения:

$$U_{ab} = \frac{60/200 + 48/100 + 6/(0,5 + 9,5)}{1/200 + 1/100 + 1/(0,5 + 9,5)} = 12 \text{ В.}$$

2. Расчет токов в ветвях

Токи определяем на основании закона Ома для ветви с источником: напряжение на зажимах источника равно его ЭДС минус падение напряжения на его внутреннем сопротивлении:

$$I_1 = \frac{E_1 - U_{ab}}{R_1} = \frac{60 - 12}{200} = 0,24 \text{ А};$$

$$I_2 = \frac{E_2 - U_{ab}}{R_2} = \frac{48 - 12}{100} = 0,36 \text{ А};$$

$$I_3 = \frac{E_3 - U_{ab}}{r_{03} + R_3} = \frac{6 - 12}{0,5 + 9,5} = -0,6 \text{ А}.$$

Дополнительные вопросы к задаче

1. Как повлияет на порядок расчета изменение полярности ЭДС в одной из ветвей схемы? В формуле узлового напряжения и при расчете тока в этой ветви данную ЭДС надо брать со знаком «минус».

2. В каких режимах работают источники схемы?

По результатам расчета $U_{ab} < E_1$, $U_{ab} < E_2$, т.е. эти элементы схемы работают источниками; т.к. $U_{ab} > E_3$, т.к. в третьей ветви направлен против E_3 и принятого перед началом расчета направления I_3 , т.е. этот элемент схемы работает в режиме потребления энергии.

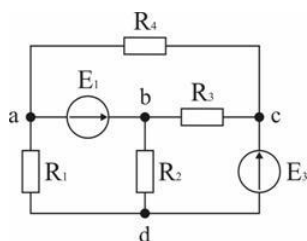
3. В каких режимах будут работать источники, если за счет изменения величины ЭДС E_3 увеличить узловое напряжение U_{ab} до 48 В?

Увеличением E_3 можно установить $U_{ab} = 48 \text{ В} = E_2$, при этом ток I_2 будет равен нулю (режим холостого хода), источник E_1 вырабатывает энергию, E_3 – потребляет. Ток в схеме и необходимую величину E_3 определим на основании второго закона Кирхгофа:

$$I_1 = -I_3 = \frac{E_1 - U_{ab}}{R_1} = \frac{60 - 48}{200} = 0,06 \text{ А};$$

$$E_3 = U_{ab} + I_3 (r_{03} + R_3) = 48 - 0,06 * 10 = 47,4 \text{ В}.$$

Расчет цепей методом эквивалентного генератора



Задача . В схеме рис. 6 $E_1 = 10 \text{ В}$, $E_2 = 25 \text{ В}$, $R_1 = 20 \text{ Ом}$, $R_2 = 40 \text{ Ом}$, $R_3 = 5 \text{ Ом}$, $R_4 = 6,36 \text{ Ом}$. Определить ток в ветви с резистором R_4 .

Рис.6

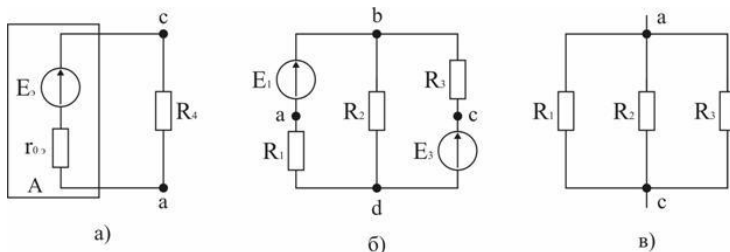


Рис.7

Пример решения задачи

1. Заменяем по отношению к ветви с резистором R_4 всю остальную схему эквивалентным генератором (активным двухполюсником) с ЭДС E_0 и внутренним сопротивлением r_0 (рис. 7 а). ЭДС E_0 определяется по результатам расчета режима холостого хода генератора как напряжение между точками «а» и «с» схемы рис. 6 при разомкнутой ветви с резистором R_4 .

После размыкания ветви с R_4 получается схема с двумя узлами рис. 7, б. Узловое напряжение

$$U_{bd} = \frac{E_1/R_1 + E_3/R_3}{1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3} = \frac{10/20 + 25/5}{1/20 + 1/40 + 1/5} = 20 \text{ В.}$$

$$\text{Ток в ветви с ЭДС } E_3 \quad I_3 = (E_3 - U_{bd}) / R_3 = (25 - 20) / 5 = 1 \text{ А.}$$

Для расчета напряжения между точками «а» и «с» в схеме рис. 7, б примем потенциал точки «а» равным нулю, тогда

$$\varphi_a = 0; \varphi_b = \varphi_a + E_1 = 10 \text{ В}; \varphi_c = \varphi_b + I_3 R_3 = 15 \text{ В}; E_r = \varphi_c - \varphi_a = 15 \text{ В.}$$

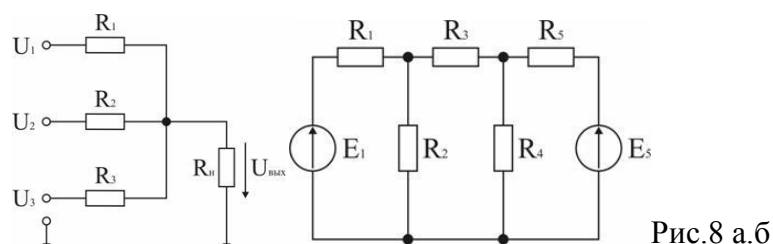
2. Для расчета внутреннего сопротивления генератора в схеме рис. 7, б закорачиваются все ЭДС (рис. 7, в) и определяется сопротивление по отношению к точкам «а» и «с»:

$$\frac{1}{r_{00}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}; \quad r_{00} = 3,64 \text{ Ом}$$

3. Ток в ветви с резистором R_4 (схема рис. 7, а)

$$I_4 = E_0 / (r_{00} + R_4) = 20 / (3,64 + 6,36) = 2 \text{ А.}$$

Задания для самостоятельного решения



Задача 1. Для схемы (рис. 8а) входные напряжения: $U_1 = +10 \text{ В}$, $U_2 = -15 \text{ В}$, $U_3 = +20 \text{ В}$, $R_1 = R_2 = R_3 = 500 \text{ Ом}$, $R_n = 1000 \text{ Ом}$. Методом узлового напряжения определить выходное напряжение $U_{\text{вых}}$.

Задача 2. В схеме (рис. 8б) $E_1 = 120 \text{ В}$, $E_5 = 140 \text{ В}$, $R_1 = 70 \text{ Ом}$, $R_2 = 30 \text{ Ом}$, $R_3 = 135 \text{ Ом}$, $R_4 = 210 \text{ Ом}$, $R_5 = 140 \text{ Ом}$. Определить методом эквивалентного генератора величину и направление тока в резисторе R_3 .

Контрольные вопросы

1. Сформулировать первый и второй законы Кирхгофа, объяснить правила знаков.
2. Сформулировать уравнение баланса мощностей.
3. Как составляется система уравнений для расчета сложных схем при помощи уравнений Кирхгофа?

Практическая работа 4

Расчет нелинейных цепей постоянного тока

Краткие теоретические основы

Нелинейным называется элемент, который не обладает постоянным сопротивлением. Примерами нелинейных элементов являются лампы накаливания, электронные, полупроводниковые и ионные приборы.

В нелинейной цепи между током и напряжением нет линейной пропорциональной зависимости, следовательно, закон Ома неприменим для расчета таких цепей.

Расчет нелинейных цепей, как правило, производят графическими методами. Для этой цепи задаются вольт-амперные характеристики нелинейных элементов, которые представляют собой зависимость тока в элементе от напряжения на его зажимах: $I = f(U)$. *Последовательное соединение.* Задача состоит в том, чтобы по заданному напряжению U_0 и вольт-амперным характеристикам нелинейных элементов $НЭ_1$, $НЭ_2$ найти ток I_0 и напряжения U_1 , U_2 на элементах неразветвленной цепи (рис. 1.).

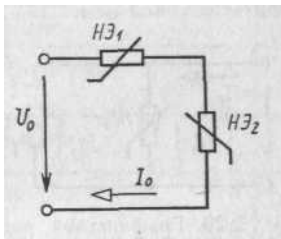


Рис. 9.

Так как элементы $НЭ_1$ и $НЭ_2$ соединены последовательно, то через них будет проходить одинаковый ток. Воспользуемся этим для построения общей характеристики цепи (рис. 2) (здесь $I = f_1(U)$ и $I = f_2(U)$ — вольт-амперные характеристики первого и второго нелинейных элементов).

Зададимся произвольными токами I' и I'' и произведем для них сложение характеристик по напряжению, т. е. используем свойство последовательного соединения сопротивлений: общее напряжение равно сумме напряжений на участках. Так, например, точку A' общей характеристики получаем в результате сложения абсцисс $A'_0A'_1$ и $A'_0A'_2$. Точно так же получаем точку A'' и т. д. Соединив точки A' , A'' и т. д. плавной кривой, получаем общую вольт-амперную характеристику $I = f(U)$ цепи. Теперь отложим на оси абсцисс отрезок, соответствующий в масштабе значению U_0 . Перпендикуляр, восставленный из точки, соответствующей U_0 , до пересечения с общей характеристикой, определяет силу тока I_0 цепи. Отрезки прямых A_0A_1 и A_0A_2 , проведенных через точку A параллельно оси абсцисс, определяют напряжения U_1 , U_2 на нелинейных элементах $НЭ_1$ и $НЭ_2$.

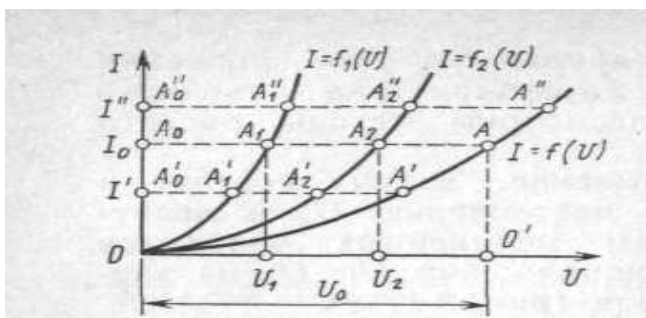


Рис. 10

Параллельное соединение. По заданному напряжению U_0 и вольт-амперным характеристикам нелинейных элементов $НЭ_1$, $НЭ_2$ найдем общий ток I_0 и токи I_1 и I_2 в ветвях цепи (рис. 3).

Так как элементы $НЭ_1$ и $НЭ_2$ соединены параллельно, на них будет одинаковое напряжение. Воспользуемся этим для построения общей характеристики цепи (рис. 4).

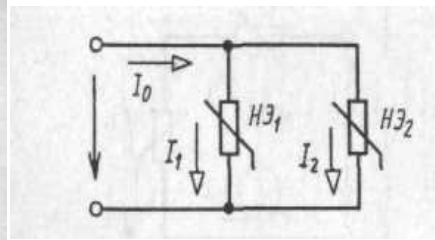
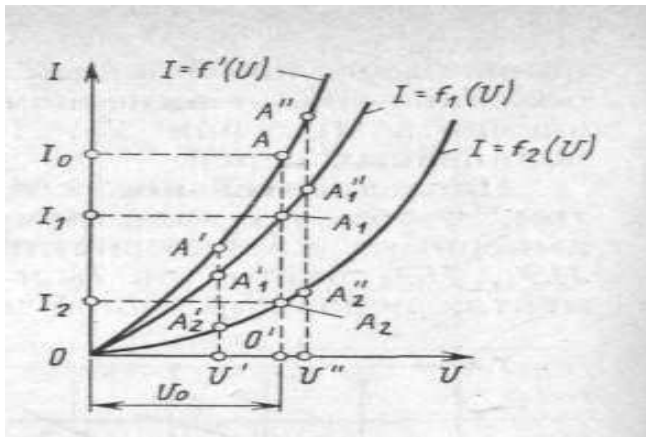
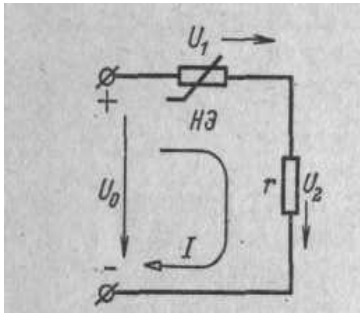


Рис. 11,12

Зададимся произвольными напряжениями U' и U'' и, используя первое правило Кирхгофа, сложим характеристики по току. Операция сложения аналогична описанной, однако теперь

складываются ординаты выбранных точек. Получив общую характеристику $I = f(U)$, находим токи I_0, I_1, I_2 . Для этого по оси абсцисс откладываем заданное напряжение U_0 .

Перпендикуляр $O'A$, восставленный из точки O' до пересечения с общей характеристикой, определяет в масштабе силу тока I_0 цепи, а его отрезки $O'A_1$ и $O'A_2$ — соответственно токи I_1 и I_2 .



Силу тока в цепи, состоящей из линейного элемента с сопротивлением r и НЭ (рис.5), при заданной вах (рис. 6) нелинейного элемента $I(U_1)$ и известных значениях сопротивления r и напряжения питания U_0 можно найти и методом пересечений.

Рис. 13

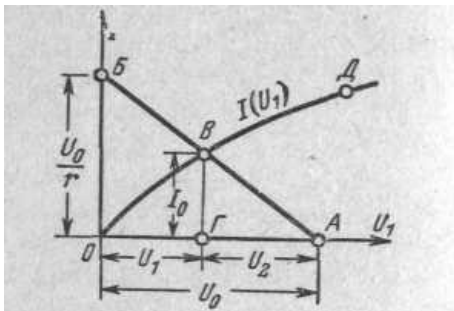


Рис.14

Так как ток в обоих элементах один и тот же $I_1 = I_2 = I$, а напряжение на НЭ $U_1 = U_0 - U_2 = U_0 - Ir$

то ток в цепи $I = (U_0 - U_1)/r$

По написанному линейному уравнению, выражающему зависимость тока в цепи I от напряжения на НЭ U_1 можно построить в той же системе координат, что и в. а. х., эту зависимость — прямую BA (рис.6). Точка B соответствует току в цепи $I = U_0/r$ напряжению на НЭ $U_1 = 0$, а точка A — напряжению на НЭ $U_1 = U_0$, так как в этом случае $I = 0$. Точка B пересечения прямой с в. а. х. НЭ определяет единственный возможный режим цепи, одновременно удовлетворяющий как линейному уравнению, так и в. а. х. НЭ. Ток цепи $I = I_0$ представлен отрезком $B\Gamma$, напряжение U_1 на НЭ — отрезком $O\Gamma$, напряжение U_2 на сопротивление r — отрезком ΓA .

Смешанное соединение. Расчет цепи со смешанным соединением нелинейных элементов рассмотрим на примере схемы, данной на рис. 7

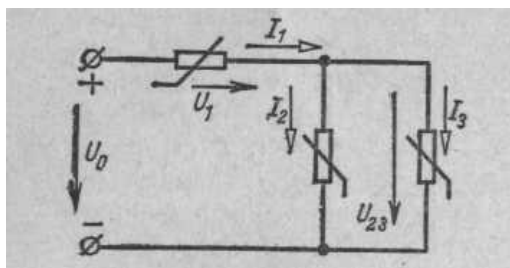


Рис. 15

Сначала по заданным в а. х. параллельных ветвей $I_2(U_{23})$ и $I_3(U_{23})$, которые показаны на рис. 8, находим в а. х. разветвленного участка $I_1(U_{23})$. Для этого складываем ординаты а. х. ветвей, соответствующие одним и тем же значениям напряжения. Определение суммарной ординаты $O'B = O'A + O'B$ соответствует вычислению суммарного тока параллельных ветвей, равного току в неразветвленном участке цепи, т. е. $I_1 = I_2 + I_3$. Полученная в а. х. $I_1(U_{23})$ представляет собой зависимость суммарного тока параллельных ветвей от общего напряжения между узлами ($U_{23} = U_2 = U_3$). Далее по полученной в а. х. $I_1(U_{23})$ и заданной в а. х. $I_1(U_1)$ первого элемента находим в а. х. всей цепи $I(U)$

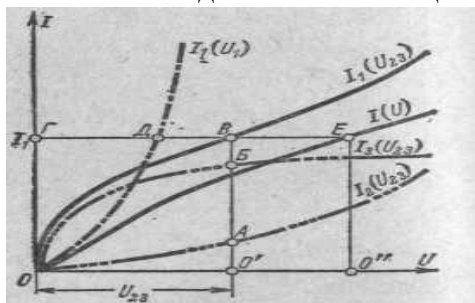


Рис. 16

Для этого складываем абсциссы в а. х. последовательно соединенных участков, соответствующие одним и тем же значениям тока. Нахождение суммарной абсциссы ($GE = GD + GB$) соответствует определению суммарного напряжения последовательно соединенных участков, равного напряжению питания ($U_0 = U_1 + U_{23}$).

Если напряжение U_0 задано, то, отложив по оси абсцисс отрезок OO'' , изображающий U_0 , по общей в а. х. $I(U)$ находим ток $I_1 = I$, изображаемый отрезком $O''E = OG$. Затем, определив точку пересечения B горизонтальной прямой GE с в а. х. $I_1(U_{23})$, находим напряжение на разветвлении U_{23} (отрезок $OO' = GB$) и, отметив точки A и B , токи в ветвях I_2 (отрезок $O'A$) и I_3 (отрезок $O'B$).

Задания для самостоятельного решения

Задача 1

Определить ток и напряжение на участках неразветвленной цепи, состоящей из резистора с сопротивлением R и лампы при напряжении цепи U . Вольтамперная характеристика лампы задана таблицей.

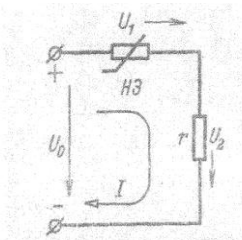


Рис. 17

Задача 2

Линейный элемент с сопротивлением R и нелинейный элемент, вольтамперная характеристика которого задана таблицей, соединены последовательно и подключены к источнику питания с э.д.с. E . Определить ток в цепи и напряжение на нелинейном элементе.

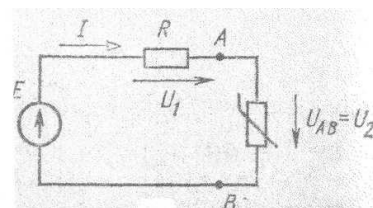


Рис. 18

Практическая работа 5 Расчет магнитных величин

Пример решения задачи

Задача. Квадратная рамка с витками провода равномерно вращается в однородном магнитном поле, магнитная индукция которого $B = 1,2$ Тл. Ось вращения лежит в плоскости рамки, совпадает с осью ее симметрии и перпендикулярна магнитным силовым линиям поля. Концы провода замкнуты на резистор, имеющий сопротивление $R = 32$ Ом. Частота вращения рамки $n = 3300$ об/мин, число витков провода $W = 12$, длина сторон рамки $a = 0,25$ м. Определить период T , частоту f , угловую частоту ω переменного тока и индуцированную в витках провода электродвижущую силу (Э.Д.С.), вызвавшую этот ток. Записать уравнение временной функции для Э.Д.С. и тока. Активным и индуктивным сопротивлением провода в рамке пренебречь. Определить количество теплоты, выделившейся в рамке за время $t = 5$ мин.

Дано: Магнитная индукция поля $B = 1,2$ Тл.
Частота вращения рамки $n = 3300$ об/мин.
Число витков провода $W = 12$.
Сопротивление резистора $R = 32$ Ом.
Размер стороны рамки $a = 0,25$ м.

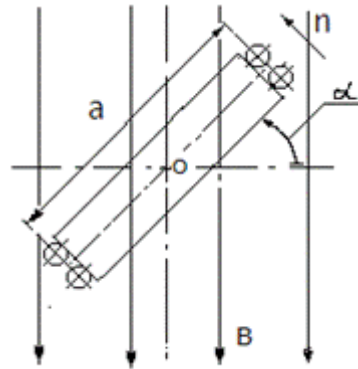


Рис.19 Расчетная схема

Решение

Частота индуцированной в витках провода Э.Д.С. $f = \frac{n}{60} = \frac{3300}{60} = 55 \text{ Гц}$

Угловая частота тока, равная угловой скорости вращения рамки

$$\omega = \frac{\pi * n}{30} = \frac{3,1416 * 3300}{30} = 345,6 \text{ с}^{-1}$$

Период индуцированной Э.Д.С. $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{55} = 1,818 * 10^{-2} \text{ с}$

Площадь рамки $S = a^2 = 0,25^2 = 6,25 * 10^{-2} \text{ м}^2$

Амплитудное значение Э.Д.С. на выходных концах провода, равное напряжению на резисторе

$$E_m = B * S * \omega * W = 1,2 * 6,25 * 10^{-2} * 345,6 * 12 = 311 \text{ В.}$$

Уравнение временной функции для мгновенных значений Э.Д.С.

$$e = E_m \sin \omega t = 311 \sin 345,6 t \text{ В}$$

Амплитудное значение тока в витках провода рамки $I_m = \frac{E_m}{R} = \frac{311}{32} = 9,72 \text{ А}$

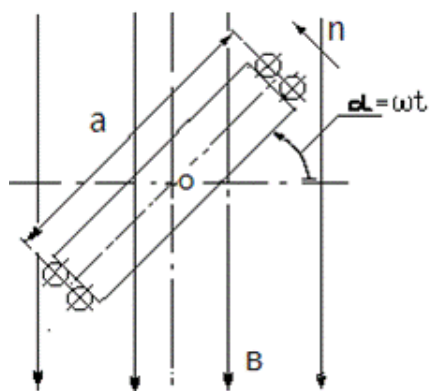
Уравнение временной функции для мгновенных значений тока в витках провода рамки $i = I_m \sin \omega t = 9,72 \sin 345,6 t \text{ А.}$

Количество теплоты, выделившейся в резисторе за заданное время

$$Q = \frac{E_m^2}{2R} * t = \frac{311^2}{2 * 32} * 5 * 60 = 4533379 \text{ Дж.}$$

Задания для самостоятельного решения

Задача. Квадратная рамка с витками провода равномерно вращается в однородном магнитном поле, магнитная индукция которого $B=1,2$ Тл. Ось вращения лежит в плоскости рамки, совпадает с осью ее симметрии и перпендикулярна магнитным силовым линиям поля. Концы провода замкнуты на резистор, имеющий сопротивление R . Частота вращения рамки n , число витков провода W , величина сопротивления R , размер сторон рамки « a » сведены в таблицу 2. Определить период T , частоту f , угловую частоту ω и индуцированную в витках провода Э.Д.С. Записать уравнение временной функции для Э.Д.С. и тока. Активным и индуктивным сопротивлением провода в рамке пренебречь.



Определить количество теплоты, выделившейся в резисторе за время $t=5$ мин. Толщиной рамки пренебречь.

Рис. 20. Эскиз к условию задачи.

Таблица 1. Исходные данные к задаче

№ варианта	А	Б	В	Г
	n , об/мин.	R , Ом	W	a , м
1	3000	20	2	0,15
2	3500	21	3	0,16
3	3800	22	4	0,17
4	4000	23	5	0,18
5	3600	24	6	0,12
6	3200	25	7	0,19
7	2800	26	8	0,22
8	2500	27	9	0,13
9	2200	28	10	0,14
10	2000	29	11	0,23

Пример решения задачи

Задача. Определить магнитный поток и магнитную индукцию в магнитопроводе с воздушным зазором. Величина воздушного зазора $l_b = 1$ мм. Число витков катушки, намотанной на магнитопроводе, $W = 1000$. Материал магнитопровода – сталь электротехническая 11895. Сила тока в катушке $I = 1,2$ А. Длина магнитопровода $A = 140$ мм. Высота магнитопровода $B = 160$ мм. Ширина магнитопровода $C = 38$ мм. Толщина магнитопровода $D = 38$ мм.

Дано:

Длина магнитопровода $A = 140$ мм
Высота магнитопровода $B = 160$ мм
Ширина магнитопровода $C = 38$ мм
Толщина магнитопровода $D = 38$ мм
Число витков катушки $W = 1000$
Сила тока в катушке $I = 1,2$ А
Марка материала магнитопровода - сталь электротехническая 11895
Длина воздушного зазора $l = 1$ мм

Рис. 21. Эскиз магнитопровода

Решение

Длина участка стали по средней линии

$$l_{ст} = 2 \cdot (A - C) + 2 \cdot (B - C) - l_b = 2 \cdot 10^{-3} \cdot (140 - 38) + 2 \cdot 10^{-3} \cdot (160 - 38) - 0,001 = 0,447 \text{ м}$$

Площадь поперечного сечения магнитопровода

$$S = C \cdot D = 0,038 \cdot 0,038 = 1,444 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$$

Максимально возможная магнитная индукция в зазоре

$$B_{max} = \mu_0 \cdot \frac{I \cdot W}{l_b} = 1,257 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1,2 \cdot 1000}{0,001} = 1,508$$

Тл

Максимально возможный магнитный магнитопроводе

$$\Phi_{max} = B_{max} \cdot S = 1,508 \cdot 1,444 \cdot 10^{-3} = 2,178 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}$$

Принимается магнитный поток

$$\Phi_1 = 2 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}$$

Магнитная индукция в магнитопроводе

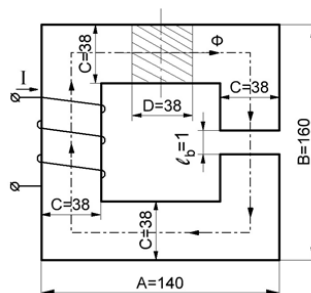
$$B_1 = \frac{\Phi_1}{S} = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{1,444 \cdot 10^{-3}} = 1,385 \text{ Тл}$$

Напряженность магнитного поля в зазоре

$$H_{B_1} = \frac{B_1}{\mu_0} = \frac{1,385}{1,257 \cdot 10^{-6}} = 1,1 \cdot 10^6 \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

Напряженность магнитного поля в стали по кривой намагничивания на рисунке 3.1.

$$H_1 = 600 \frac{\text{А}}{\text{м}}$$



ПОТОК В

$$2,178 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}$$

Магнитодвижущая сила

$$F_1 = H_{B_1} \cdot l_b + H_1 \cdot l_{ст} = 1,1 \cdot 10^6 \cdot 0,001 + 600 \cdot 0,447 = 1368 \text{ А}$$

Сила тока в катушке

$$I_1 = \frac{F_1}{W} = \frac{1368}{1000} = 1,368 \text{ А} > I = 1,2 \text{ А}$$

. Принимается магнитный поток

$$\Phi_2 = 1,9 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}$$

Магнитная индукция в магнитопроводе.

$$B_2 = \frac{\Phi_2}{S} = \frac{1,9 \cdot 10^{-3}}{1,444 \cdot 10^{-3}} = 1,316 \text{ Тл}$$

Напряженность магнитного поля в зазоре

$$H_{B_2} = \frac{B_2}{\mu_0} = \frac{1,316}{1,257 \cdot 10^{-6}} = 1,047 \cdot 10^6 \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

Напряженность магнитного поля в стали по кривой первоначального намагничивания на рисунке 22.

$$H_2 = 500 \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

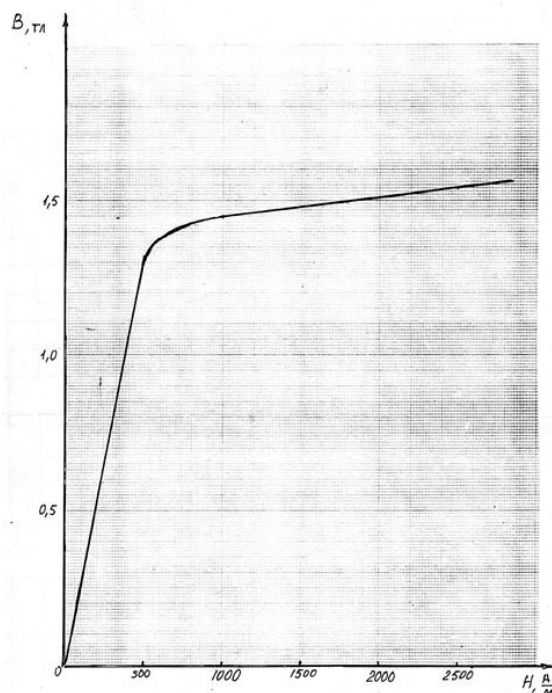


Рис. 22. Кривая первоначального намагничивания для электротехнической стали 11895

Магнитодвижущая сила

$$F_2 = H_{B_2} \cdot l_b + H_2 \cdot l_{ст} = 1,047 \cdot 10^6 \cdot 0,001 + 500 \cdot 0,447 = 1270 \text{ А.}$$

сила тока в катушке

$$I_2 = \frac{F_2}{W} = \frac{1270}{1000} = 1,27 \text{ А} > I = 1,2 \text{ А}$$

Магнитный поток $\Phi_3 = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}$

Магнитная индукция в магнитопроводе

$$B_3 = \frac{\Phi_3}{S} = \frac{1,8 \cdot 10^{-3}}{1,444 \cdot 10^{-3}} = 1,246 \text{ Тл.}$$

Напряженность магнитного поля в зазоре

$$H_{B_3} = \frac{B_3}{\mu_0} = \frac{1,246}{1,257 \cdot 10^{-6}} = 0,992 \cdot 10^6 \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

Напряженность магнитного поля в стали по кривой намагничивания на рисунке 22.

$$H_3 = 460 \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

Магнитодвижущая сила $F_3 = H_{B_3} \cdot l_b + H_3 \cdot l_{ст} = 0,992 \cdot 10^6 \cdot 0,001 + 460 \cdot 0,447 = 1198 \text{ А.}$

Сила тока в катушке $I_3 = \frac{F_3}{W} = \frac{1198}{1000} = 1,198 \text{ А.} < I = 1,2 \text{ А.}$

График зависимости магнитного потока в магнитопроводе от силы тока в катушке $\Phi = f(I)$ приведен на рисунке 23.

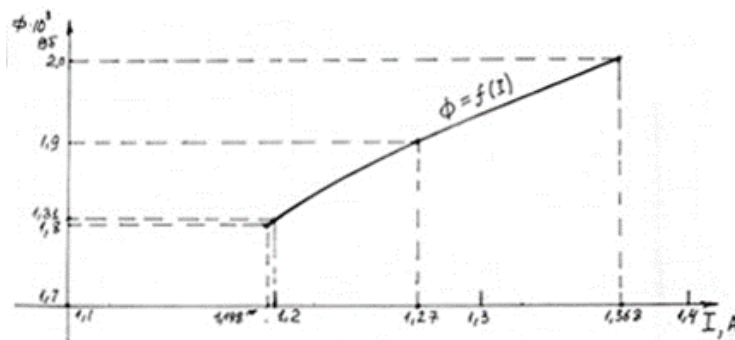


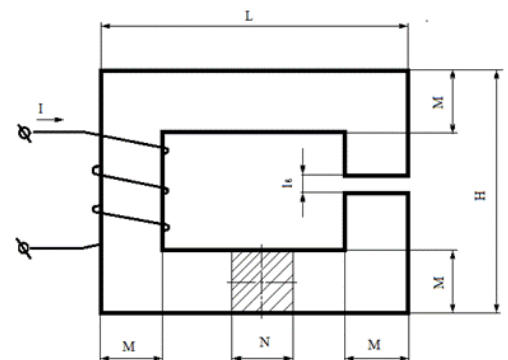
Рис. 23. График зависимости магнитного потока в магнитопроводе от силы тока в катушке.

Из графика зависимости $\Phi = f(I)$ на рисунке 3.2. для силы тока в катушке $I = 1,2 \text{ А}$

магнитный поток в магнитопроводе $\Phi = 1,81 \cdot 10^3 \text{ Вб}$

Магнитная индукция в магнитопроводе

$$B = \frac{\Phi}{S} = \frac{1,81 \cdot 10^3}{1,444 \cdot 10^{-3}} = 1,253 \text{ Тл.}$$



Задания для самостоятельного решения

Задача. Определить магнитный поток и магнитную индукцию в магнитопроводе с воздушным зазором. Величина воздушного зазора $l_b = 1 \text{ мм}$. Число витков катушки, намотанной на магнитопроводе, $W = 1000$. Материал магнитопровода – сталь электротехническая 11895. Эскиз конструкции магнитопровода приведен на рисунке 3. Размеры магнитопровода и сила тока в катушке приведены в таблице 2. При решении задачи 3 следует построить кривую первоначального намагничивания $B = f(H)$, используя величины, приведенные в таблице 3.

Рис 24. Эскиз конструкции магнитопровода

Таблица 2. Исходные данные к задаче

№ вариант а	А	Б		В	
	Ток в катушке I, А	Ширина магнитопровода L, мм.	Высота магнитопровода H, мм.	Ширина стержня магнитопровода M, мм.	Толщина стержня магнитопровода N, мм.
1	1,0	140	120	30	40
2	1,1	150	140	35	35
3	1,15	120	145	40	30
4	1,2	130	150	45	32
5	1,25	135	145	50	25
6	1,3	100	150	55	26
7	1,35	145	130	54	28
8	1,4	95	150	52	34
9	1,12	90	160	48	30
0	1,18	138	122	46	25

Таблица 3. Зависимость магнитной индукции от напряженности магнитного поля при первоначальном намагничивании электротехнической стали 11895.

Напряженность магнитного поля H, А/м.	0	200	400	600	900	1400	1800	2200	2600
Магнитная индукция B, Тл.	0	0,50	1,05	1,38	1,44	1,47	1,50	1,52	1,55

Практическая работа 7-8 Расчет электрических цепей переменного тока

Пример решения задачи

Задача. Активное сопротивление катушки 6 Ом, индуктивное 10 Ом. Последовательно с катушкой включено активное сопротивление 2 Ом и конденсатор сопротивление 4 Ом. К цепи приложено напряжение 50 В. Определите полное сопротивление цепи, ток, коэффициент мощности, активную, реактивную, полную мощность, напряжение на каждом сопротивлении. Начертите в масштабе векторную диаграмму.

Решение:

Определим полное сопротивление цепи:

$$Z = \sqrt{(R+R_k)^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{(6+2)^2 + (10-4)^2} = 10 \text{ Ом}$$

Определим ток: $I=U/Z=50/10=5A$

Определим коэффициент мощности: $\text{Sin}\varphi=(X_L-X_C)/Z=(10-4)/10=0,6$

По таблице Брадиса находим $\varphi=36^{\circ}50'$. Угол сдвига фаз находим по синусу во избежание потери знака угла.

Определим активную мощность цепи: $P=I^2(R+R_k)=5^2(6+2)=200\text{Вт}$

Определим реактивную мощность цепи: $Q=I^2(X_L+X_C)=5^2(10-4)=150\text{Вар}$

Определим полную мощность цепи:

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

Определим напряжения на сопротивлениях:

$$U_{Rk}=I \cdot R_k=5 \cdot 6=30\text{В}$$

$$U_L=I \cdot X_L=5 \cdot 10=50\text{В}$$

$$U_R=I \cdot R=5 \cdot 2=10\text{В}$$

$$U_C=I \cdot X_C=5 \cdot 4=20\text{В}$$

Построение векторной диаграммы начинаем с выбора масштаба для тока и напряжения. Задаем масштаб по току: в 1 см - 1А и масштаб по напряжению: в 1 см - 10В. Построение векторной диаграммы начинаем с вектора тока, который откладываем по горизонтали в масштабе $5A/1A/1\text{см}=5\text{см}$

Вдоль вектора тока откладываем векторы падений напряжения на активных сопротивлениях U_{Rk} и U_R :
 $30\text{В}/10\text{В}/1\text{см}=3\text{см}$; $10\text{В}/10\text{В}/1\text{см}=1\text{см}$

Из вектора U_R откладываем в сторону опережения вектора тока на 90° вектор падения напряжения U_L на индуктивном сопротивлении длиной $50\text{В}/10\text{В}/1\text{см}=2\text{см}$, а затем от него в сторону отставания вектора тока на 90° вектор падения напряжения U_C на емкостном сопротивлении $20\text{В}/10\text{В}/1\text{см}=2\text{см}$. Геометрическая сумма векторов: U_{Rk} U_L U_R U_C равна полному напряжению приложенному к цепи.

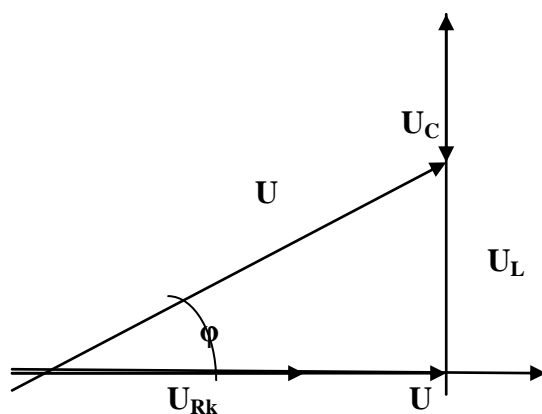


Рис.25

Задания для самостоятельного решения

Задача. В цепь синусоидального напряжения подключены последовательно активные, индуктивные и емкостные сопротивления. По заданным значениям сопротивлениям и одной из дополнительных параметров определите ток в цепи, напряжение, полное сопротивление, активную, реактивную и полную мощности, угол сдвига фаз между током и напряжением. Постройте векторную диаграмму цепи и поясните построение. Величины, отмеченные прочерком (-) отсутствуют. Начертите схему в соответствии с данными своего варианта. Данные своего варианта возьмите из таблицы №2.

Таблица 4

№ варианта	$R_1, \text{Ом}$	$X_{L1}, \text{Ом}$	$X_{C1}, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$	$X_{L2}, \text{Ом}$	$X_{C2}, \text{Ом}$	U	I
1	4	6	3	-	-	-	-	5
2	6	3	-	2	-	9	40	-
3	10	-	12	6	-	-	-	5
4	6	6	-	2	-	-	50	-
5	4	3	-	4	3	-		10
6	3	-	-	-	2	2	30	-
7	8	12	4	-	-	2	-	6
8	-	10	6	16	8	-	60	-
9	10	-	8	6	-	4	-	5
10	2	5	6	2	-	2	36	-

Практическая работа 9

Расчет трехфазных цепей

Задания для самостоятельного решения

Задача. Линейное напряжение трехфазной электрической сети $U_{л} = 380 \text{ В}$. Частота переменного тока $f = 50 \text{ Гц}$. Нагрузка включена по схеме «звезда» с нейтральным проводом. Сопротивление резистора, индуктивность катушки и емкость конденсатора, а также схемы их включения в трехфазную сеть переменного тока приведены в таблице 1. Определить токи в каждой фазе и в нейтральном проводе. Определить комплексную, активную и реактивную мощности. Построить топографическую диаграмму напряжений и векторную диаграмму токов.

Таблица 5. Исходные данные для задачи

№ строки.	А	Б	В	Г
	Схема электрическая.	R, Ом.	С, мкФ.	L, Гн.
1		100	26	0,50
2		120	35	0,30
3		130	25	0,40
4		125	27	0,45
5		135	28	0,35
6		140	29	0,55
7		145	31	0,60
8		110	30	0,65
9		128	33	0,75
10		132	32	0,70

Практическая работа 10

Расчет погрешностей электроизмерительных приборов

Примеры решения задач

Задача 1

Определить для вольтметра с пределом измерения 30В класса точности 0,5 относительную погрешность для точек 5, 10, 15, 20, 25 и 30 В и наибольшую абсолютную погрешность прибора.

Решение

Класс точности указывают просто числом предпочтительного рода, например, **0,5**. Это используют для измерительных приборов, у которых предел допускаемой приведенной погрешности постоянен на всех отметках рабочей части его шкалы (присутствует только аддитивная погрешность). Таким способом обозначают классы точности вольтметров, амперметров, ваттметров и большинства других однопредельных и многопредельных приборов с равномерной шкалой.

Задача 2

При измерении напряжения двумя параллельно включенными вольтметрами их показания были: $U_1 = 29,2$ В, $U_2 = 30$ В. Показания какого прибора точнее, если класс точности $K_{V1} = 2,5$, $K_{V2} = 1,0$, а пределы измерения соответственно равны $U_{np1} = 30$ В; $U_{np2} = 150$ В.

Решение

Класс точности указывают просто числом предпочтительного рода, например, **0,05**. Это используют для измерительных приборов, у которых предел допускаемой приведенной погрешности постоянен на всех отметках рабочей части его шкалы (присутствует только аддитивная погрешность).

Тогда абсолютные погрешности измерения напряжения вольтметрами

$$\Delta U_1 = \frac{K_{V1} \cdot U_{\text{вп}1}}{100} = \frac{2.5 \cdot 30}{100} = 0.75 \text{ В};$$
$$\Delta U_2 = \frac{K_{V2} \cdot U_{\text{вп}2}}{100} = \frac{1.0 \cdot 150}{100} = 1.5 \text{ В}.$$

1.

Более точным будет первый вольтметр.

2.

Задача 3

Ток 159 мА измеряется цифровым вольтметром с трехразрядным цифровым индикатором и амперметром с классом точности 0,5 и пределом шкалы 250 мА. Каким прибором ток будет измерен точнее?

Решение

Абсолютная погрешность однократного измерения амперметром

$$\Delta I = \frac{K \cdot I_{\text{вп}}}{100},$$

где $I_{\text{вп}}$ – измеренное значение электрической величины;

K – класс точности прибора.

Относительная погрешность однократного измерения амперметром

$$\delta_I = \frac{\Delta I}{I_{\text{изм}}} \cdot 100 = K \frac{I_{\text{вп}}}{I_{\text{изм}}},$$

где $I_{\text{изм}}$ – предел шкалы амперметра.

В задаче наряду с аналоговым измерительным прибором используется цифровой. Абсолютная погрешность ΔI цифрового прибора принимается равной единице младшего разряда числа, высвечиваемого на цифровом индикаторе.

Класс точности аналогового амперметра пределом шкалы $I_{\text{вп}} = 250$ мА выражается одним числом $K = 0,5$. Оценка погрешности однократного измерения аналогового амперметра

$$\Delta I = \frac{K \cdot I_{\text{вп}}}{100} = \frac{0,5 \cdot 250}{100} = 1,25 \text{ мА}.$$

Ток $I_{\text{изм}} = 159$ мА измеряется цифровым вольтметром с трехразрядным цифровым индикатором. Абсолютную погрешность ΔI цифрового прибора принимается равной единице младшего разряда числа, высвечиваемого на цифровом индикаторе: $\Delta I = 1$ мА.

Откуда, абсолютная погрешность цифрового амперметра меньше чем аналогового.

Следовательно, цифровой вольтметр точнее измеряет ток $I_{\text{изм}} = 159$ мА.

Задания для самостоятельного решения

Задача 1

Амперметр, имеющий на равномерно шкале 50 делений, рассчитан на измерение силы тока в 500 мА. Каковы его показания, если стрелка отклонилась на 40 делений, а

погрешность прямого измерения силы тока составляем половину цены деления амперметра.

Задача 2

Определите истинное значение тока в цепи, если показания прибора равны 10,65 а, а класс точности прибора равен 0,2. прибор равен 0,2%, прибор имеет шкалу до 25 а.

Задача 3

Измеренное значение сопротивления $R = 100,0$ Ом. Предел допускаемой относительной погрешности измерения $d_n = 1,0$ %. Найдите интервал, в котором должно находиться $R_{и}$ — истинное значение сопротивления.

Задача 4

Определить какой прибор больше подходит для измерения тока $I=10$ мА, если для измерения использованы два прибора, имеющих соответственно шкалы на 15 мА, класс точности 0,5 и на 100 мА, класс точности 0,1.

Задача 5

Определить наибольшую разницу в показаниях двух последовательно включенных магнитоэлектрических миллиамперметров разного класса точности при измерении одного и того же тока.

Задача 6

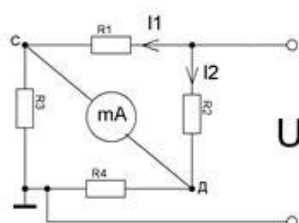
Размах шкалы электромагнитного вольтметра равен 100 В. Определить изменение относительной погрешности измерений с изменением напряжения, зная, что класс точности $K=1$.

Практическая работа 11

Схемы включения электроизмерительных приборов

Задания для

Задача 1. Для предприятия в трансформаторы электрическую схему.



самостоятельного решения

определения расхода энергии трехфазную сеть через измерительные включены два счетчика. Начертить

Задача 2. В трехпроводной цепи трехфазного тока необходимо измерить линейные токи, линейное напряжение, коэффициент мощности цепи и расход активной энергии всей цепи. Начертить электрическую схему цепи и включить необходимые приборы.

Задача 3. Включить в электрическую цепь необходимые приборы для измерения всех токов, напряжений, мощности (рис. 26)

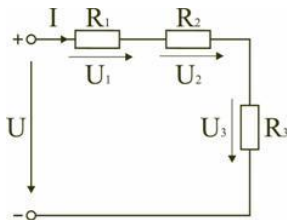


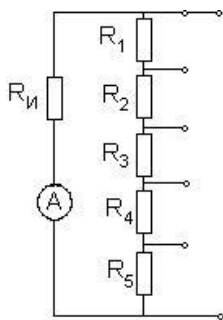
Рис.26 а,б

Задача 4. Мощность, потребляемая нагрузочным сопротивлением $R_H = 9,9 \text{ Ом}$, измеряется с помощью вольтметра и амперметра. Вольтметр показывает 120В, амперметр 12А. Считая, что показания приборов не содержат погрешностей, подсчитать мощность, выделяющуюся в сопротивлении R_H . Найти погрешность измерения мощности. Начертить схему измерения.

Практическая работа 12

Расширение пределов измерения амперметров и вольтметров

Пример решения задачи



$$R_1 = R_{\text{ш}} \cdot \frac{n_1}{n_1 - 1} \cdot \left(\frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2} \right) = 3000 \cdot \frac{2}{1} \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{20} \right) = 2700 \text{ Ом}$$

$$R_2 = R_{\text{ш}} \cdot \frac{n_2}{n_2 - 1} \cdot \left(\frac{1}{n_2} - \frac{1}{n_3} \right) = 3000 \cdot \frac{20}{19} \cdot \left(\frac{1}{20} - \frac{1}{200} \right) = 270 \text{ Ом}$$

кольцевого шунта на следующие пять пределов измерения: 100 мкА, 1 мА, 10 мА, 100 мА, 1А. Ток полного отклонения магнитоэлектрического миллиамперметра составляет 50 мкА. Сопротивление измерительного механизма 3кОм.

Задача

Рассчитать значения сопротивлений многопредельного

Решение:

1) Найдем значения шунтирующих множителей по формуле

$$n = \frac{I}{I_{\text{ш}}}$$

Получаем пять значений: $n_1=2$, $n_2=20$, $n_3=200$, $n_4=2000$, $n_5=20000$.

2) Для расчета шунтов воспользуемся общей формулой при любом числе пределов измерения тока:

$$R_k = R_{\text{ш}} \cdot \frac{n_k}{n_k - 1} \cdot \left(\frac{1}{n_k} - \frac{1}{n_{k+1}} \right), \text{ где } k - \text{ количество пределов измерения тока. Тогда,}$$

Рис.27

При вычислении последнего k -го значения сопротивления следует иметь в виду, что $n_{k+1} \rightarrow \infty$, поэтому формула упрощается (см. R5).

Ответ: 2,7 кОм; 270 Ом; 27 Ом; 2,7 Ом; 0,27 Ом.

Когда измерительный механизм включают в цепь в качестве вольтметра, то добавочное сопротивление включается последовательно с рамкой измерительного механизма ИМ. Сумма добавочного сопротивления и сопротивления рамки ИМ обеспечивают преобразование измеряемого напряжения в ток, необходимый для отклонения подвижной части ИМ. Предел измерения зависит от тока полного отклонения подвижной части прибора I_u , сопротивления его рамки R_u и величины добавочного сопротивления R_d .

Тогда,

$$U_k = I_u \cdot (R_d + R_u)$$

$$R_3 = R_u \cdot \frac{n_1}{n_1 - 1} \cdot \left(\frac{1}{n_2} - \frac{1}{n_4} \right) = 3000 \cdot \frac{2}{1} \cdot \left(\frac{1}{200} - \frac{1}{2000} \right) = 27 \text{ Ом}$$

$$R_k = \frac{U_k - U_{k-1}}{I_u}$$

$$R_4 = R_u \cdot \frac{n_1}{n_1 - 1} \cdot \left(\frac{1}{n_4} - \frac{1}{n_5} \right) = 3000 \cdot \frac{2}{1} \cdot \left(\frac{1}{2000} - \frac{1}{20000} \right) = 2,7 \text{ Ом}$$

где U_k – напряжение на k -том пределе измерения напряжения. добавочное сопротивление, необходимое для расширения пределов измерения.

$$R_5 = R_u \cdot \frac{n_1}{n_1 - 1} \cdot \left(\frac{1}{n_5} \right) = 3000 \cdot \frac{2}{1} \cdot \left(\frac{1}{20000} \right) = 0,27 \text{ Ом} \quad \text{А } R_k -$$

Задания для самостоятельного решения

Задача 1. К амперметру, рассчитанному на 5А с внутренним сопротивлением 0,6Ом и шкалой на 10дел. подключен шунт с сопротивлением 0,025Ом. При измерении тока стрелка отклонилась на 8дел. Определить ток в цепи, измеренный амперметром.

Задача 2. Вольтметр с внутренним сопротивлением 5 кОм включен с добавочным резистором, имеющим сопротивление 45 кОм. Определить во сколько раз увеличился

предел измерения вольтметра. Нарисовать схему включения вольтметра с добавочным резистором.

Задача 3. Амперметр с внутренним сопротивлением 1,2 Ом включен с шунтом, имеющим сопротивление 0,3 Ом. Определить во сколько раз увеличился предел измерения амперметра. Нарисовать схему включения амперметра с шунтом.

Задача 4. Необходимо измерить ток потребителя в пределах 20 – 25 А. Имеется микроамперметр с пределом измерения 200мкА, внутренним сопротивлением 300 Ом и максимальным числом делений 100. Определить сопротивление шунта для расширения предела измерения до 30 А и определить относительную погрешность измерения на отметке 85 делений, если класс точности прибора 1,0.

Практическая работа 13-14

Расчет параметров трансформаторов

Пример решения задачи

Задача. Однофазный понижающий трансформатор номинальной мощностью 500ВА служит для питания ламп местного освещения металлорежущих станков. Номинальные напряжения обмоток 380В и 24В. К трансформатору присоединены 10 ламп накаливания мощностью 40Вт каждая, их коэффициент мощности равен 1. Магнитный поток в магнитопроводе 0,005 Вб. Частота тока в сети 50Гц. Потерями в трансформаторе пренебречь. Определите номинальные токи в обмотках, числа витков, коэффициент трансформации, коэффициент нагрузки трансформатора, токи в обмотках при действительной нагрузке.

Решение:

Определим номинальные токи в обмотках:

$$I_{\text{НОМ1}} = S_{\text{НОМ}} / U_{\text{НОМ1}} = 500 / 380 = 1,32 \text{ А}$$

$$I_{\text{НОМ2}} = S_{\text{НОМ}} / U_{\text{НОМ2}} = 500 / 24 = 20,8 \text{ А}$$

Определим коэффициент нагрузки трансформатора:

$$\beta = I_2 / I_{2\text{НОМ}} = P_2 / S_{\text{НОМ}} \cos \varphi_2 = 10 \cdot 40 / (500 \cdot 0,1) = 0,8$$

Определим токи в обмотках при действительной нагрузке:

$$I_1 = \beta \cdot I_{\text{НОМ1}} = 0,8 \cdot 1,32 = 1,06 \text{ А}$$

$$I_2 = \beta \cdot I_{\text{НОМ2}} = 0,8 \cdot 20,8 = 16,6 \text{ А}$$

При холостом ходе $E_1 \approx U_{\text{НОМ1}}$ $E_2 \approx U_{\text{НОМ2}}$

Числа витков обмоток находим из формул:

$$E_1 = 4,44 \cdot N_1 \cdot v \cdot \Phi_m$$

$$E_2 = 4,44 \cdot N_2 \cdot v \cdot \Phi_m$$

$$N_1 = E_1 / 4,44 \cdot v \cdot \Phi_m = 380 / (4,44 \cdot 50 \cdot 0,005) = 340 \text{ витков}$$

$$N_2 = E_2 / 4,44 \cdot v \cdot \Phi_m = 24 / (4,44 \cdot 50 \cdot 0,005) = 22 \text{ витка}$$

Определим коэффициент трансформации:

$$K = N_1 / N_2 = 340 / 22 = 15,5$$

Задания для самостоятельного решения

Задача. Однофазный понижающий трансформатор служит для питания ламп местного освещения металлорежущих станков. По данным своего варианта (таблица 6) определить: номинальную мощность, номинальные напряжения обмоток, номинальные токи в обмотках, числа витков, коэффициент трансформации, магнитный поток в магнитопроводе, коэффициент нагрузки трансформатора, токи в обмотках при действительной нагрузке. Величины, отмеченные прочерком (-) необходимо определить.

Таблица 6

№ варианта	$S_{\text{ном}}, \text{В А}$	$U_{\text{ном1}}, \text{В}$	$U_{\text{ном2}}, \text{В}$	$I_{\text{ном1}}, \text{А}$	$I_{\text{ном2}}, \text{А}$	N_1	N_2	K	$\Phi, \text{Вб}$
1	-	380	-	1,43	-	-	-	15,8	0,005
2	-	220	24	-	33,4	198	-	-	-
3	1600	-	12	-	-	770	-	31,6	-
4	-	127	-	4,72	25	-	108	-	-
5	3200	380	36	-	-	-	-	-	0,025
6	-	220	24	3,64	-	-	-	-	0,005
7	500	-	-	1	-	750	54	-	-
8	-	220	-	-	20,8	400	22	-	-
9	250	500	-	-	-	-	-	20,8	0,0015
10	-	-	12	3,2	-	3000	-	41,6	-

Практическая работа 15-16

Расчет параметров электрических двигателей

Пример решения задачи

Задача. Трехфазный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором имеет данные: мощность 1 кВт; напряжение 380В; частота вращения ротора 975об/мин; КПД 0,855; коэффициент мощности 0,83, кратность пускового тока 7, кратность пускового

момента 2; способность к перегрузке 2,2; частота тока в сети 50Гц. Определите потребляемую мощность, номинальный, пусковой и максимальный момент, номинальный и пусковой токи, номинальное скольжение, частоту тока в роторе.

Решение:

Определим мощность, потребляемую из сети:

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

Определим номинальный момент, развиваемый двигателем, максимальный и пусковой момент :

$$M = 9,55 P_{\text{ном}} / n_2 = 9,55 \cdot 11000 / 975 = 107,7 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

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

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

Определим номинальный и пусковой токи:

$$I_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} / (\sqrt{3} U_{\text{ном}} \eta_{\text{ном}} \cos \varphi_{\text{ном}}) = 11000 / (1,73 \cdot 380 \cdot 0,855 \cdot 0,83) = 23,6 \text{ А}$$

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

Определим номинальное скольжение:

$$S = (n_1 - n_2) / n_1 = (1000 - 975) / 1000 = 0,025 = 2,5\%$$

Определим частоту тока в роторе:

$$f_2 = v \cdot S = 50 \cdot 0,025 = 1,25 \text{ Гц}$$

Задания для самостоятельного решения

Задача 1. Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором установлен для привода ленточного конвейера. По данным своего варианта (таблица №4) определить: мощность потребляемую из сети, номинальное напряжение, номинальный ток, полезную мощность на валу, коэффициент полезного действия, суммарные потери в двигателе, коэффициент мощности двигателя, полезный момент на валу, частоту вращения ротора, скольжения, частоту вращения статора, частота тока во вращающемся роторе, при частоте тока $v=50$ Гц. Величины, отмеченные прочерком (-) необходимо определить.

Таблица 7

№ вари анта	P_1 , кВт	$U_{\text{ном}}$, В	$I_{\text{ном}}$, А	$P_{\text{ном2}}$, кВт	$\eta_{\text{ном}}$	$\sum P$, кВт	$\cos \varphi_{\text{н}}$	$M_{\text{ном}}$, Нм	$n_{\text{ном}}$, об/мин	$S_{\text{ном}}$ %	n_1 , об/мин	f_{2s} , Гц
1	-	380	12,5	5,3	0,78	-	0,81	-	2950	-	-	-
2	22,6	380	-	-	-	2,6	0,85	-	-	-	3000	1,3
3	-	220	16	-	-	-	0,85	29,5	1440	4	-	-
4	-	220	-	4,5	0,84	-	0,8	-	950	-	1000	-

5	-	380	-	10	0,88	-	0,89	-	-	2	1500	-
6	20,4	-	38,8	-	0,85	-	0,8	-	730	2,67	-	-
7	5,18	220	-	4,45	-	-	0,85	-	-	-	1500	2
8	5,36	220	17,6	-	-	0,86	-	45,2	-	-	-	2,5
9	-	380	-	17,34	-	3,06	0,8	226,8	-	-	750	-
10	11,36	380	22,1	-	-	1,36	-	-	950	-	-	2,5

Задача 2. По заданной номинальной мощности $P_{\text{ном}} = 11$ кВт. и синхронной скорости $n_0 = 1000$ об/мин трехфазного асинхронного электродвигателя серии 4А, подключенного к трехфазной цепи переменного тока с линейным напряжением $U_{\text{л}} = 380$ В. и частотой $f = 50$ Гц, определить его типоразмер, основные технические характеристики, номинальный, пусковой, максимальный и минимальный моменты, номинальную и критическую угловую скорость, критическое скольжение, номинальный ток статора. Построить механическую характеристику.

Задача 3. Рассчитать и построить естественную и искусственную механические характеристики электродвигателя постоянного тока с параллельным возбуждением. Номинальная мощность $P_{\text{ном}} = 65$ кВт, номинальное напряжение $U_{\text{ном}} = 440$ В., номинальный ток якоря $I_{\text{я ном}} = 168$ А, номинальная частота вращения $n_{\text{ном}} = 1480$ об/мин, сопротивление цепи якоря $r_{\text{я}} = 0,157$ Ом, добавочное сопротивление в цепи якоря $R_{\text{д}} = 0,6$ Ом.

Литература

Электротехника и электроника: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / под ред. Ю.М. Инькова. - М. : Издательский центр «Академия», 2014 – 368 с.

Теплякова О.А. Электротехника и электроника: учебное пособие в двух частях. Часть 1. «Электротехника» - Волгоград. Издательство «Ин-Фолио», 2016 . -272 с.

Славинский А.К., Туревский И.С. Электротехника с основами электроники: учебное пособие - М. ИД «Форум»: ИНФРА-М, 2014

Бутырин П.А. Электротехника: учебник для нач. проф. образования. - М. : ИЦ «Академия», 2010.- 272 с.

Прошин В.М. Электротехника: учебник для нач. проф. образования. - М. : ИЦ «Академия», 2010. – 288 с.

Прошин В.М. Сборник задач по электротехнике: учеб. пособие для нач. проф. образования. - М. : ИЦ «Академия», 2010. – 128 с.