

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ к выполнению задач контрольной работы №1

Задачи №№ 1-10

Прежде чем приступать к решению задач №№1-10 надо поработать по [1] главу 3 «Электрический ток, сопротивление, работа и мощность» и в главе 4 «Простые электрические цепи постоянного тока» §4.1, §4.3, §4.4 и знать основные величины, характеризующие электрические цепи, их единицы: ток, напряжение, ЭДС, сопротивление, проводимость, мощность и их единицы измерения.

Эти задачи посвящены расчету простых электрических цепей со смешанным соединением резисторов и решаются при помощи закона Ома; проверку правильности отдельных этапов решения можно сделать по первому закону Кирхгофа.

При смешанном соединении резисторов на разных участках цепи используется последовательное и параллельное их соединение. Надо знать особенности каждого вида соединения, т.е. какими будут ток и напряжение, как определяется эквивалентное сопротивление.

Для правильного решения задачи следует проставить на схеме направление токов во всех резисторах, обозначить узловые точки и разобрать решение примера 1.

Пример 1

В цепи, схема которой приведена на рис.б, известны сопротивления резисторов $R_1=200$ Ом, $R_2=300$ Ом, $R_3=600$ Ом, $R_4=1200$ Ом, $R_5=95$ Ом, внутреннее сопротивление источника энергии $R_0=5$ Ом, ЭДС источника $E=64$ В.

Показать направление тока в каждом резисторе. Вычислить эквивалентное сопротивление цепи, напряжение на зажимах источника, мощность источника, ток в каждом резисторе и потенциал точки Б.

Краткая запись условия:

Дано: $R_1=200$ Ом
 $R_2=300$ Ом
 $R_3=600$ Ом

$$R_4 = 1200 \text{ Ом}$$

$$R_5 = 95 \text{ Ом}$$

$$R_0 = 5 \text{ Ом}$$

$$E = 64 \text{ В}$$

Определить: $R_{\text{экв}}$, U , $P_{\text{ист}}$, I_1 , I_2 , I_3 , I_4 , I_5 ,
 Φ_B .

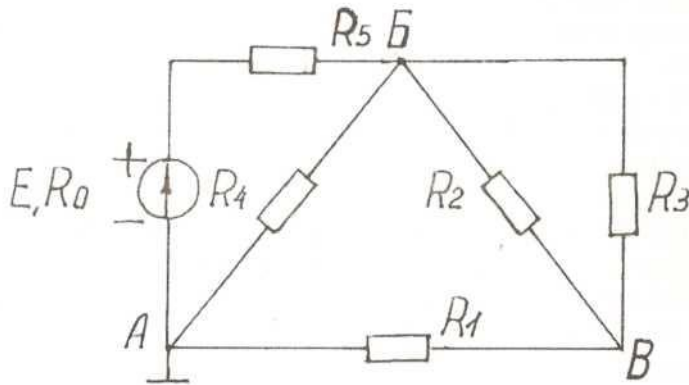


Рис.6

Решение

- 1) Указываем направление тока в каждом резисторе и обозначаем узловые точки (рис.6а). При этом становится ясно, что резисторы R_2 , R_3 соединены параллельно: подключены к двум точкам цепи Б и В, резистор R_1 с участком БВ соединен последовательно и т.д.

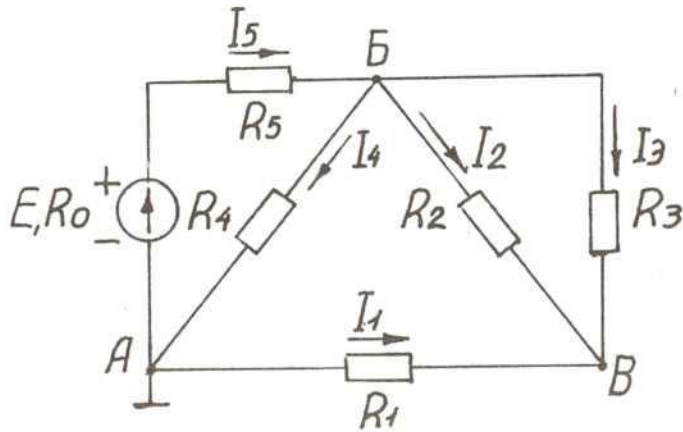


Рис.6а

- 2) Эквивалентное сопротивление цепи $R_{\text{экв}}$ определяется методом "свертывания" схемы:

$$R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{300 \cdot 600}{300 + 600} = 200 \text{ Ом},$$

$$R_{123} = R_1 + R_{23} = 200 + 200 = 400 \text{ Ом}.$$

После этих преобразований схема соединения резисторов представлена на рис.6б.

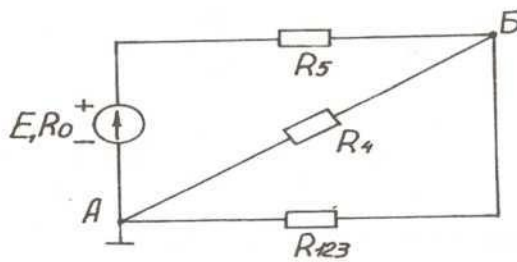


Рис.6б

На схеме четко видно, что резисторы R_4 и R_{123} соединены параллельно, а R_5 с этим участком – последовательно.

$$R_{1234} = \frac{R_{123} \cdot R_4}{R_{123} + R_4} = \frac{400 \cdot 1200}{400 + 1200} = 300 \text{ Ом},$$

$$R_{\text{экв}} = R_5 + R_{1234} = 95 + 300 = 395 \text{ Ом}.$$

- 3) Ток источника или общий ток цепи:

$$I = \frac{E}{R_{\text{экв}} + R_0} = \frac{64}{395 + 5} = 0,16 \text{ А}.$$

- 4) Напряжение на зажимах источника:

$$U = I \cdot R_{\text{экв}} = 0,16 \cdot 395 = 63,2 \text{ В}.$$

- 5) Токи в резисторах:

$$I_5 = I = 0,16 \text{ А}.$$

Так как R_5 и R_{1234} соединены последовательно, то $I_5 = I_{1234}$;

$$\text{тогда } U_{1234} = R_{1234} \cdot I_{1234} = 300 \cdot 0,16 = 48 \text{ В}$$

$$\text{и } U_{1234} = U_4 = U_{123} = 48 \text{ В}.$$

$$\text{Отсюда: } I_4 = \frac{U_4}{R_4} = \frac{48}{1200} = 0,04 \text{ А}.$$

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{24}{200} = 0,12 \text{ А}.$$

$$U_{23} = U_2 = U_3$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{24}{300} = 0,08 \text{ А}$$

$$I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{24}{600} = 0,04 \text{ А}.$$

- 1) Мощность источника электроэнергии:

$$P_{\text{ист}} = E \cdot I = 64 \cdot 0,16 = 10,24 \text{ Вт}.$$

2) Потенциал точки Б:

φ_B больше $\varphi_A=0$ на падение напряжения на резисторе R_4 , т.к. ток течет от большего потенциала к меньшему.

$$\varphi_B = \varphi_A + U_4 = 0 + 48 = 48 \text{ В.}$$

Задачи №№ 11-20

Задачи №№ 11-20 относятся к расчету сложных цепей постоянного тока. Сложной называется разветвленная цепь с несколькими источниками электроэнергии в разных параллельных ветвях.

Определение токов в этих задачах делается методом узловых и контурных уравнений (при помощи первого и второго законов Кирхгофа), а проверка правильности решения – методом узлового напряжения. Существуют и другие методы расчета сложных цепей (см.[1, гл.6, с.99-111]).

При расчете сложных цепей чаще всего приходится определять токи в ветвях по заданным ЭДС и сопротивлениям ветвей. Для этой цели рекомендуется следующий порядок решения этих задач:

- а) Составляется электрическая схема цепи.
- б) Подсчитывается число неизвестных токов (ветвей) и устанавливаются для них произвольные направления.
- в) Подсчитывается число узлов, и для них составляются уравнения на основании первого закона Кирхгофа, число уравнений всегда на единицу меньше числа узлов.
- г) Недостающие уравнения до числа неизвестных токов составляются на основании второго закона Кирхгофа. При этом направление обхода контура можно выбирать произвольно.

Если в результате решения системы уравнений получаются отрицательные значения токов каких-либо ветвей, то это означает, что действительные направления токов в этих ветвях противоположны выбранным.

Ниже приведен пример 2, рассмотрение которого облегчит решение задач №№ 11-20.

Пример 2

На рис.7 изображена схема сложной электрической цепи. ЭДС источников энергии $E_1=180$ В, $E_2=96$ В, их внутренние сопротивления $R_{01}=R_{02}=0,8$ Ом, сопротивления резисторов $R_1=9,2$ Ом, $R_2=19,2$ Ом, $R_3=25$ Ом.

Определить токи I_1, I_2, I_3 в ветвях цепи методом узловых и контурных уравнений (при помощи первого и второго законов Кирхгофа).

Проверить решение методом узлового напряжения.

Составить уравнение баланса мощностей.

Краткая запись условия:

Дано: $E_1=180$ В
 $E_2=96$ В
 $R_1=9,2$ Ом
 $R_2=19,2$ Ом
 $R_3=25$ Ом
 $R_{01}=R_{02}=0,8$ Ом

Определить: I_1, I_2, I_3 .

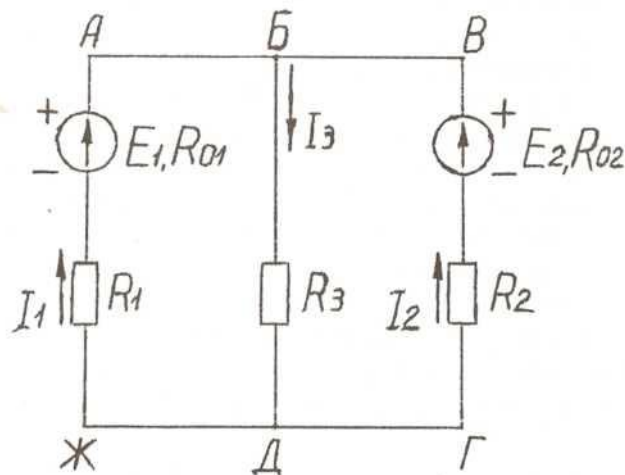


Рис.7

Решение

- 1) Обозначим контуры сложной электрической цепи (рис.7).

АБДЖА,
БВГДБ,
АБВГДЖА.

Контур – это замкнутая неразветвленная часть цепи. Направление обхода контуров принято по часовой стрелке.

- 2) На схеме (рис.7) показываем направление токов I_1, I_2, I_3 .
3) В задаче три неизвестных тока, значит надо составить систему из трех уравнений: одно – для узла Б, два для контуров БВГДБ, АБДЖА.

$$\begin{array}{l} \text{Узел Б -} \\ \text{Контур БВГДБ -} \\ \text{Контур АБДЖА -} \end{array} \left\{ \begin{array}{l} I_1 + I_2 = I_3 \\ -E_2 = -I_2 \cdot (R_2 + R_{02}) - I_3 \cdot R_3 \\ E_1 = I_1 \cdot (R_1 + R_{01}) + I_3 \cdot R_3 \end{array} \right.$$

- 4) Подставляем числовые значения в уравнения, решаем систему из трех уравнений и получаем значения токов I_1, I_2, I_3 .

$$\begin{cases} I_1 + I_2 = I_3 & \text{(а)} \\ 96 = 20 \cdot I_2 + 25 \cdot I_3 & \text{(б)} \\ 180 = 10 \cdot I_1 + 25 \cdot I_3 & \text{(в)} \end{cases}$$

$$I_2 = \frac{96 - 25 \cdot I_3}{20}$$

$$I_1 = \frac{180 - 25 \cdot I_3}{10}$$

Значения токов I_1 , I_2 , выраженные через I_3 , подставляем в первое уравнение (а) системы и решаем это уравнение:

$$\frac{180 - 25 \cdot I_3}{10} + \frac{96 - 25 \cdot I_3}{20} = I_3$$

$$360 - 50 \cdot I_3 + 96 - 25 \cdot I_3 = 20 \cdot I_3$$

$$456 = 95 \cdot I_3$$

$$I_3 = 4,8 \text{ A.}$$

Подставляя значение $I_3=4,8$ А в уравнения (б) и (в), определяем два других тока цепи:

$$I_1 = \frac{180 - 25 \cdot 4,8}{10} = \frac{180 - 120}{10} = 6 \text{ A,}$$

$$I_2 = \frac{96 - 25 \cdot 4,8}{20} = \frac{96 - 120}{20} = -1,2 \text{ A.}$$

Ток I_2 получился отрицательным, значит, первоначально указанное направление этого тока на схеме (рис.7) было неверным, его надо изменить на противоположное.

Так как направления тока I_2 и ЭДС E_2 оказались разными, источник с ЭДС E_2 работает в режиме потребителя электроэнергии.

Направления тока I_1 и ЭДС E_1 одинаковые, значит, источник с ЭДС E_1 работает в режиме генератора.

Проверяем правильность определения токов в сложной цепи (рис.7) при помощи первого и второго законов Кирхгофа методом узлового напряжения. В этом методе все токи направляются от одного узла (Д) к другому (Б) (рис.7а).

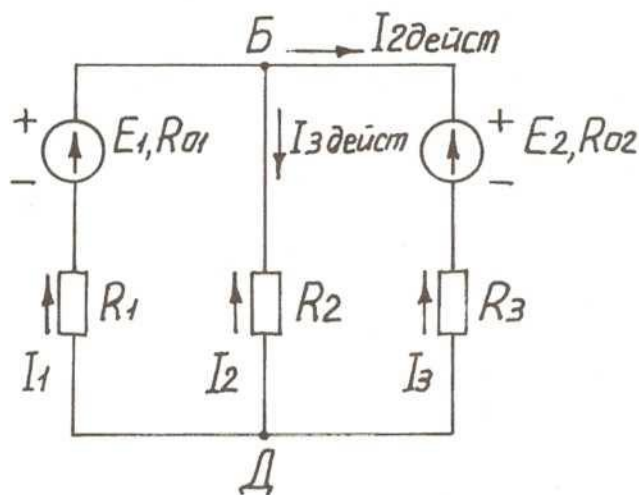


Рис. 7а

5) Проводимости ветвей:

$$g_1 = \frac{1}{R_1 + R_{01}} = \frac{1}{9,2 + 0,8} = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ См},$$

$$g_2 = \frac{1}{R_2 + R_{02}} = \frac{1}{19,2 + 0,8} = \frac{1}{20} = 0,05 \text{ См},$$

$$g_3 = \frac{1}{R_3} = \frac{1}{25} = 0,04 \text{ См}.$$

6) Узловое напряжение (напряжение между узлами Б и Д):

$$U_{БД} = \frac{E_1 \cdot g_1 + E_2 \cdot g_2}{g_1 + g_2 + g_3} = \frac{180 \cdot 0,1 + 96 \cdot 0,05}{0,1 + 0,05 + 0,04} = \frac{22,8}{0,19} = 120 \text{ В}.$$

7) Токи ветвей:

$$I_1 = (E_1 - U_{БД}) \cdot g_1 = (180 - 120) \cdot 0,1 = 60 \cdot 0,1 = 6 \text{ А},$$

$$I_2 = (E_2 - U_{БД}) \cdot g_2 = (96 - 120) \cdot 0,05 = -24 \cdot 0,05 = -1,2 \text{ А},$$

$$I_3 = -U_{БД} \cdot g_3 = -120 \cdot 0,04 = -4,8 \text{ А}.$$

Так как токи I_2 , I_3 получились отрицательными, их направление, указанное на рис. 7а, должно быть изменено на противоположное – от узла Б к узлу Д. Значение и направление токов

в цепи соответствует результатам расчета при помощи первого и второго законов Кирхгофа.

8) Составим уравнение баланса мощностей. В любой электрической цепи суммарная мощность источников энергии равна суммарной мощности потребителей и потерь мощности в источниках ЭДС (из-за их внутренних сопротивлений):

$$P_{ист} = P_{потр} + P_0.$$

Для данной цепи:

$$E_1 \cdot I_1 = E_2 \cdot I_2 + I_1^2 \cdot R_1 + I_2^2 \cdot R_2 + I_3^2 \cdot R_3 + I_1^2 \cdot R_{01} + I_2^2 \cdot R_{02}.$$

Подставляем числовые значения

$$180 \cdot 6 = 96 \cdot 1,2 + 6^2 \cdot 9,2 + 1,2^2 \cdot 19,2 + 4,8^2 \cdot 25 + 6^2 \cdot 0,8 + 1,2^2 \cdot 0,8$$

$$1080 = 115,2 + 331,2 + 27,648 + 576 + 28,8 + 1,152$$

$$1080 \text{ Вт} = 1080 \text{ Вт}.$$

Баланс мощности сошелся. Еще одно подтверждение того, что расчеты произведены правильно.

Задачи №№ 21-30

Для решения задач №№ 21-30 необходимо проработать в [1] §4.5 «Способы соединения химических источников энергии в батарее».

Химические источники энергии соединяются в батарею, когда потребитель требует большее напряжение и больший ток, чем может дать один элемент.

Аккумуляторы имеют низкую ЭДС (1,4 – 2,3 В). Допустимый разрядный ток аккумуляторов большой емкости может достигать до сотен ампер.

Емкость аккумулятора:

$$Q_s = I_p \cdot t_p,$$

единицей ее является ампер-час (А·ч), I_p – разрядный ток одного элемента, t_p – время разряда.

В батареях используется последовательное и параллельное соединение аккумуляторов. Соединение в батарею допускается только для однородных элементов, имеющих одинаковые ЭДС E_s , емкость Q_s и внутреннее сопротивление R_{0s} .

При параллельном соединении m аккумуляторов ток батареи:

$$I_{\text{б}} = I_p \cdot m,$$

ЭДС батареи:

$$E_{\text{б}} = E_p,$$

напряжение батареи:

$$U_{\text{б}} = U_p,$$

внутреннее сопротивление батареи:

$$R_{0\text{б}} = \frac{R_{0\text{э}}}{m}.$$

При последовательном соединении n элементов ток батареи:

$$I_{\text{б}} = I_p,$$

ЭДС батареи:

$$E_{\text{б}} = E_p \cdot n,$$

напряжение батареи:

$$U_{\text{б}} = U_p \cdot n,$$

внутреннее сопротивление батареи:

$$R_{0\text{б}} = R_{0\text{э}} \cdot n.$$

Для выбора способа соединения надо знать номинальное напряжение U и номинальную мощность P приемника энергии, затем можно определить ток приемника:

$$I = \frac{P}{U}$$

и его сопротивление:

$$R = \frac{U}{I}.$$

Прежде чем приступить к решению задач №№ 21-30, следует разобрать решение примера 3.

Пример 3

Рассчитать батарею аккумуляторов, т.е. определить количество элементов и способы их соединения для питания приемника энергии мощностью $P=0,5$ кВт и напряжением $U=60$ В, если ЭДС

одного элемента $E_3=1,6$ В, внутреннее сопротивление $R_{03}=0,02$ Ом, емкость одного элемента $Q_3=28$ А·ч, время разряда $t_p=6$ ч.

Определить ЭДС батареи E_6 , внутреннее сопротивление батареи R_{06} .

Начертить схему батареи с приемником энергии.

Краткая запись условия:

Дано: $P=0,5$ кВт
 $U=60$ В
 $E_3=1,6$ В
 $R_{03}=0,02$ Ом
 $Q_3=28$ А·ч
 $t_p=6$ ч

Определить: n, m, E_6, R_{06} .

Решение

1) Ток батареи:

$$I_6 = \frac{P}{U} = \frac{500}{60} = 8,33 \text{ А.}$$

2) Разрядный ток элемента:

$$I_p = \frac{Q_3}{t_p} = \frac{28}{6} = 4,67 \text{ А.}$$

3) Число параллельно соединенных ветвей:

$$m = \frac{I_6}{I_p} = \frac{8,33}{4,67} \approx 2;$$

число параллельных ветвей должно быть целым.

4) Напряжение на одном аккумуляторе:

$$U_3 = E_3 - I_p \cdot R_{03} = 1,6 - 4,67 \cdot 0,02 = 1,507 \text{ В.}$$

5) Число последовательно соединенных аккумуляторов:

$$n = \frac{U_6}{U_3} = \frac{60}{1,507} \approx 40;$$

число последовательно соединенных аккумуляторов должно быть целым.

6) Внутреннее сопротивление батареи:

$$R_{06} = \frac{R_{02} \cdot n}{m} = \frac{0,02 \cdot 40}{2} = 0,4 \text{ Ом.}$$

7) ЭДС батареи:

$$E_6 = E_s \cdot n = 1,6 \cdot 40 = 64 \text{ В.}$$

Итак, батарея состоит из двух параллельных ветвей, в каждой ветви сорок аккумуляторов соединены последовательно, т.е. всего батарея состоит из восьмидесяти элементов.

На рис.8 показана электрическая схема соединения батареи аккумуляторов.

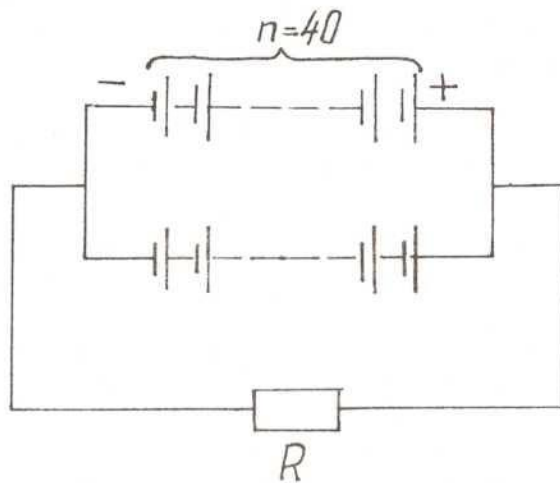


Рис.8

Задачи №№ 31-50

Задачи №№ 31-50 посвящены разделу рабочей программы 3 «Магнитное поле и магнитные цепи», конкретно теме 3.3. «Электромагнетизм».

По [1] следует проработать §§7.1, 7.2, 7.4, 7.6 и усвоить основные характеристики магнитного поля.

1. Магнитная индукция – В (она является основной характеристикой магнитного поля).

2. Абсолютная магнитная проницаемость - $\mu_a = \mu \cdot \mu_0$.
3. Магнитный поток – Φ .
4. Напряженность магнитного поля – H .

Знание этих величин необходимо для расчета магнитных цепей, определения величины ЭДС электромагнитной индукции и т.д.

Нужно помнить, что магнитное поле в любом случае неразрывно связано с электрическим током.

Необходимо знать правило буравчика, которое помогает установить зависимость между направлением тока и направлением силовых линий магнитного поля. Это очень важное правило имеет широкое применение при расчете магнитных цепей и при разборе принципа работы электрических машин.

Абсолютная магнитная проницаемость μ_a характеризует способность тел намагничиваться и измеряется она в Г/м.

Магнитная проницаемость вакуума постоянна и равна:

$$\mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ Г/м.}$$

В природе существуют вещества, которые имеют большую или меньшую магнитную проницаемость, чем магнитная проницаемость вакуума.

Исключительно важную роль в технике играют ферромагнитные материалы, относительная магнитная проницаемость которых значительно больше 1.

Основные свойства магнитного поля:

- воздействие на неподвижные проводники с электрическим током (явление электромагнитной силы);
- намагничивание ферромагнитных материалов, что используется для получения сильных магнитных полей в электрических машинах и аппаратах;
- возбуждение или наведение ЭДС в проводниках, которые перемещаются в магнитном поле (явление электромагнитной индукции).

Явление электромагнитной силы имеет большое практическое применение в электродвигателях, многих электроизмерительных приборах, электротехнических аппаратах.

Это же свойство, или явление электромагнитной силы, проявляется в линиях электропередачи, состоящих из параллельно расположенных проводов с токами.

Задачи №№ 31-40

В задачах №№ 31 – 40 рассматривается расчет магнитной цепи.

Устройство, содержащее сердечники из ферромагнитных материалов, по которым замыкается магнитный поток, создаваемый катушками с током, называется магнитной цепью.

Магнитные цепи являются составными частями электротехнических установок: двигателей, генераторов, трансформаторов, реле и других устройств.

Магнитная цепь представляет собой совокупность источника намагничивающей силы и магнитопровода.

Источником намагничивающей силы является обычно обмотка (катушка) с током или постоянный магнит. Магнитопроводы предназначены для усиления магнитного потока и придания магнитному полю определенной конфигурации. Иногда магнитопровод может включать воздушные промежутки.

В качестве материала для магнитопроводов применяются ферромагнитные материалы, поэтому, прежде чем рассматривать расчет магнитных цепей, следует изучить свойства этих материалов.

Нужно разобраться в том, что в ферромагнитных материалах магнитная индукция значительно больше, чем в неферромагнитных материалах при одной и той же напряженности магнитного поля (т.е. при одной и той же намагничивающей силе),

Кроме этого, необходимо знать другую, очень важную особенность ферромагнитных материалов – их магнитная проницаемость является переменной и зависит от напряженности поля, следовательно, и магнитная индукция в ферромагнитных материалах не является величиной, пропорциональной напряженности. Вот

почему формула $H = \frac{B}{\mu_a}$ применима для расчета напряженности

только в воздушном зазоре, а для расчета магнитной индукции B и

напряженности H в ферромагнитных материалах применяются кривые намагничивания (рис.9а и рис.9б).

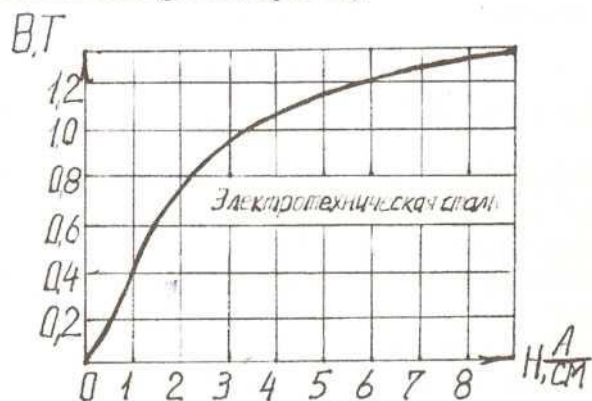


Рис.9а

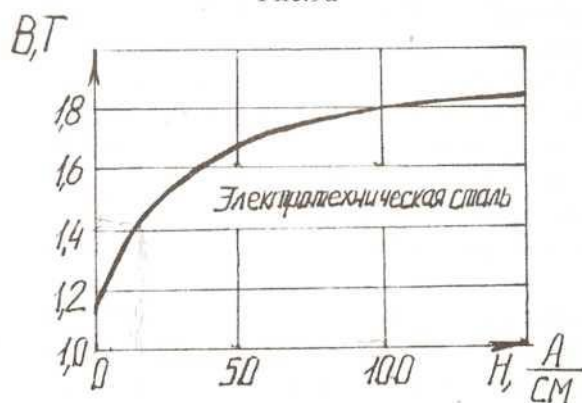


Рис.9б

Необходимо знать, как пользоваться этими кривыми при расчете магнитных цепей.

Магнитные цепи, как и электрические, бывают неразветвленные и разветвленные.

Рассчитать магнитную цепь – это значит по заданному магнитному потоку (магнитной индукции), кривым намагничивания и геометрическим размерам магнитной цепи определить намагничивающую силу, необходимую для создания заданного потока.

Расчет магнитных цепей основывается на законе полного тока.

В примере 4 приведен расчет неразветвленной магнитной цепи. Надо его рассмотреть, проработав по [1], §§ 8.1,8.3, а затем приступить к решению задач 31-40.

Пример 4

Магнитопровод, выполненный из электротехнической стали, имеет два воздушных зазора $l_{01} = l_{02} = 0,9$ мм. Магнитный поток в сердечнике $\Phi = 3,375 \cdot 10^{-3}$ Вб, толщина сердечника $b = 45$ мм, геометрические размеры магнитопровода в мм указаны на рис.10. Ток в катушке $I = 2$ А.

Определить число витков катушки w .

Краткая запись условия задачи:

Дано: $l_{01} = l_{02} = 0,9$ мм
 $\Phi = 3,375 \cdot 10^{-3}$ Вб
 $b = 45$ мм
 $I = 2$ А

Определить: w .

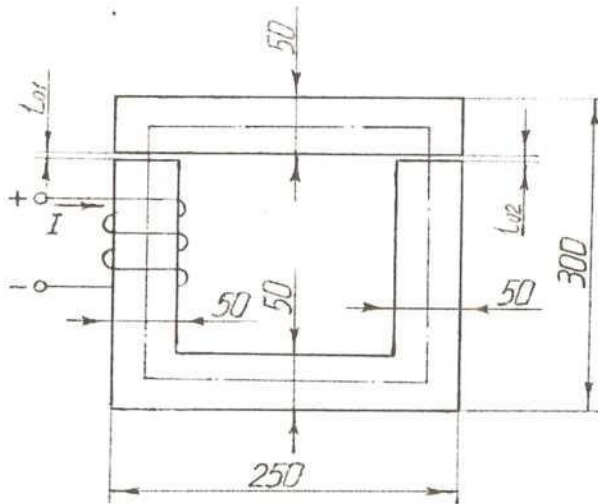


Рис.10

Решение

Магнитная цепь неразветвленная и неоднородная.

- 1) Проведена средняя магнитная линия на рис.10 пунктиром и по ней цепь разделена на однородные участки с одинаковым поперечным сечением S и абсолютной магнитной проницаемостью μ_a . Таких участков два: сталь и воздух. Длины участков:

$$l_{cm} = 2 \cdot (250 - 50) + 2 \cdot (300 - 50 - 0,9) = 898,2 \text{ мм} = 898,2 \cdot 10^{-3}$$

$$l_0 = 2 \cdot 0,9 = 1,8 \text{ мм} = 1,8 \cdot 10^{-3} \text{ м.}$$

- 2) Сечение магнитопровода одинаково и равно:

$$S_{cm} = S_0 = S = 50 \cdot 45 = 2250 \text{ мм}^2 = 22,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2.$$

- 3) Магнитная индукция в участках:

$$B_{cm} = B_0 = B = \frac{\Phi}{S} = \frac{3,375 \cdot 10^{-3}}{22,5 \cdot 10^{-4}} = 1,5 \text{ Т.}$$

- 4) Напряженность магнитного поля

а) в стальном сердечнике по характеристике намагничивания электротехнической стали на рис.9б при $B=1,5 \text{ Т}$:

$$H_{cm} = 24 \text{ А/см} = 2400 \text{ А/м};$$

б) в воздушных зазорах:

$$H_0 = \frac{B_0}{\mu_0} = \frac{1,5}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}} = 1,19 \cdot 10^6 \text{ А/м.}$$

- 5) Из уравнения, составленного по закону полного тока, определено число витков катушки:

$$I \cdot w = H_{cm} \cdot l_{cm} + H_0 \cdot l_0$$

$$w = \frac{H_{cm} \cdot l_{cm} + H_0 \cdot l_0}{I} = \frac{2400 \cdot 0,8982 + 1,19 \cdot 10^6 \cdot 1,8 \cdot 10^{-3}}{2} =$$
$$= \frac{4300}{2} = 2150.$$

Важно отметить, что из всей намагничивающей силы 4300 А на воздушный участок незначительной длины (0,18см) приходится 2142 А, т.е. для проведения магнитного потока через воздушный зазор необходимо затрачивать значительную намагничивающую

силу. Отсюда становится понятной необходимость создания магнитных цепей с минимальными воздушными зазорами.

Задачи №№ 41-50

В задачах №№ 41-50 рассматривается явление электромагнитной силы и явление электромагнитной индукции, принцип работы электродвигателя и электрического генератора.

Необходимо знать формулу индуктированной в проводнике ЭДС, а также правило правой руки, применяемое для определения направления этой ЭДС, формулу электромагнитной силы и правило левой руки для определения направления этой силы.

Прежде чем приступать к решению этих задач, надо проработать по [1], §§ 9.1, 9.2 и рассмотреть решение примеров 5 и 6.

В примере 5 рассмотрен режим работы электродвигателя.

Пример 5

Прямой проводник длиной $l=0,5$ м присоединен к зажимам источника питания с напряжением $U=5$ В и находится в однородном магнитном поле с индукцией $B=1,4$ Т, сопротивление проводника $R_0=0,1$ Ом. В результате взаимодействия с однородным магнитным полем проводник движется перпендикулярно направлению поля со скоростью $v=5$ м/с. Определить пусковой ток в проводнике I_p , электромагнитную силу $F_{эм}$, действующую на проводник, и ток в движущемся проводнике I .

Направление ЭДС E , тока I и силы $F_{эм}$ показать на рис.11.

Составить уравнение баланса мощностей цепи.

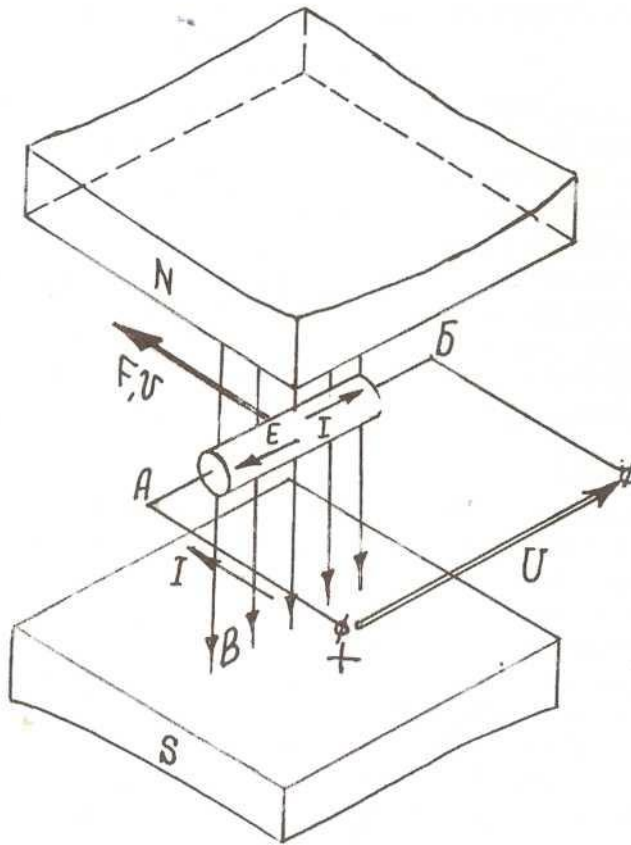


Рис.11

Краткая запись условия:

Дано: $l=0,5$ м
 $U=5$ В
 $B=1,4$ Т
 $R_0=0,1$ Ом
 $v=5$ м/с

Определить: $I_{п}$, $F_{эм}$, I .
 Составить баланс мощностей.

Решение Ток двигателя при пуске ($v=0$, $E=0$):

$$I_n = \frac{U}{R_0} = \frac{5}{0,1} = 50 \text{ A.}$$

- 1) Под действием электромагнитной силы проводник будет двигаться, в нем возникнет ЭДС:

$$E = B \cdot l \cdot v = 1,4 \cdot 0,5 \cdot 5 = 3,5 \text{ B.}$$

- 2) Ток в движущемся проводнике:

$$I = \frac{U - E}{R_0} = \frac{5 - 3,5}{0,1} = 15 \text{ A.}$$

Направление тока совпадает с направлением напряжения.

- 3) Электромагнитная сила, под действием которой проводник движется:

$$F_{эм} = B \cdot I \cdot l = 1,4 \cdot 15 \cdot 0,5 = 10,5 \text{ H.}$$

На рис.11 $F_{эм} = F$.

Направление силы $F_{эм}$ определено по правилу левой руки, направление движения (скорости v) проводника совпадает с направлением силы $F_{эм}$. Направление ЭДС E определено по правилу правой руки, оно противоположно направлению напряжения источника питания, поэтому эта ЭДС называется противоэлектродвижущей силой – противоЭДС. Направления тока I , силы $F_{эм}(F)$ и противоЭДС E показаны на рис.11.

- 4) Уравнение баланса мощностей цепи имеет вид:

$$P_{эл} = P_{мех} + P_{тепл}.$$

Электрическая мощность, подводимая к проводнику:

$$P_{эл} = U \cdot I = 5 \cdot 15 = 75 \text{ Вт.}$$

Механическая мощность, развиваемая проводником:

$$P_{мех} = F_{эм} \cdot v = 10,5 \cdot 5 = 52,5 \text{ Вт.}$$

Потери мощности в проводнике (тепловые потери):

$$P_0 = I^2 \cdot R_0 = 15^2 \cdot 0,1 = 22,5 \text{ Вт.}$$

Уравнение баланса мощностей в цифрах:

$$75 = 52,5 + 22,5$$

$$75 \text{ Вт} = 75 \text{ Вт}.$$

Баланс мощности сошелся.

В примере 6 рассмотрен режим работы электрического генератора.

Пример 6

В однородном магнитном поле с индукцией $B=1,25 \text{ Т}$ перпендикулярно направлению магнитного поля движется проводник длиной $l=36 \text{ см}$ со скоростью $v=16 \text{ м/с}$. Проводник замкнут на резистор, сопротивление которого $R=0,72 \text{ Ом}$, сопротивление самого проводника $R_0=0,08 \text{ Ом}$.

Определить ЭДС E , наводимую в проводнике, ток I в цепи и электромагнитную тормозную силу $F_{\text{эм}}$, действующую на проводник.

Направление ЭДС E , тока I и силы $F_{\text{эм}}$ показать на рис.12.

Составить уравнение баланса мощностей цепи.

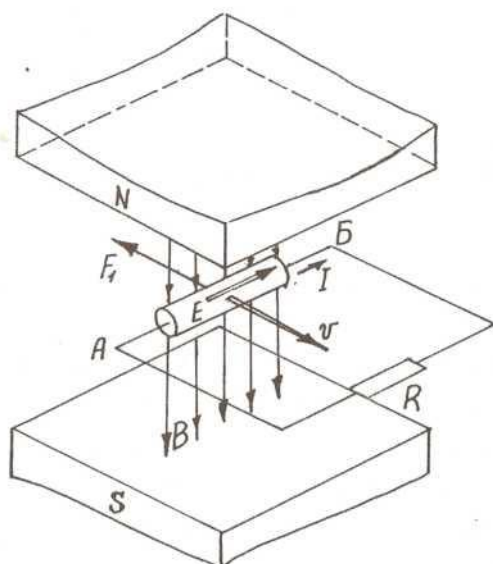


Рис.12

Краткая запись условия:

Дано: $B=1,25 \text{ Т}$
 $l=0,36 \text{ м}$
 $v=16 \text{ м/с}$
 $R=0,72 \text{ Ом}$
 $R_0=0,08 \text{ Ом}$

Определить: $E, I, F_{эм}$.

Составить баланс мощностей.

Решение

1) ЭДС в проводнике (согласно закону электромагнитной индукции):

$$E = B \cdot l \cdot v = 1,25 \cdot 0,36 \cdot 16 = 7,2 \text{ В.}$$

2) Ток в цепи, возникший под действием ЭДС:

$$I = \frac{E}{R + R_0} = \frac{7,2}{0,72 + 0,08} = 9 \text{ А.}$$

3) Электромагнитная сила, действующая на проводник:

$$F_{эм} = B \cdot I \cdot l = 1,25 \cdot 9 \cdot 0,36 = 4,05 \text{ Н.}$$

Направление ЭДС E определено по правилу правой руки. Так как в примере рассматривается режим работы генератора, то направление тока совпадает с направлением ЭДС. Направление силы $F_{эм}$, определенное по правилу левой руки, противоположно направлению скорости v , т.е. сила носит тормозной характер: $F_{эм} = F_{\text{торм}}$; она уравнивает внешнюю механическую силу.

Направления ЭДС E , тока I , силы $F_{эм}(F)$ показаны на рис.12.

4) Уравнение баланса мощностей цепи имеет вид:

$$P_{эл} = P_{мех} = P_{\text{тепл}}.$$

Механическая мощность:

$$P_{мех} = F_{эм} \cdot v = 4,05 \cdot 16 = 64,8 \text{ Вт.}$$

Электрическая мощность:

$$P_{эл} = E \cdot I = 7,2 \cdot 9 = 64,8 \text{ Вт.}$$

Мощность тепловых потерь:

$$P_0 = I^2 \cdot (R + R_0) = 9^2 \cdot (0,72 + 0,08) = 64,8 \text{ Вт.}$$

Таким образом, баланс мощности сошелся:

$$64,8 \text{ Вт} = 64,8 \text{ Вт} = 64,8 \text{ Вт.}$$