Раздел 1. Электрические и магнитные цепи

Практическое занятие по теме: «Магнитные цепи»

Цель: Приобрести практические навыки решений задач по расчету магнитных цепей и в изучении методов измерений тока, напряжения, мощности и сопротивления с помощью электроизмерительных приборов.
Оснащение: Схемы, измерительные приборы.
В процессе выполнения практической работы обучающийся должен знать основные формулы расчета, единицы измерения физических величин, математическое преобразование формул, обозначение физических величин, уметь составлять элементарные электрические схемы, определять показания измерительных приборов.

Основные определения, формулы и соотношения

Магнитная индукция, Вб/м^2 = Тл (тесла): $B = \Phi/S$, где Ф — магнитный поток, Вб; S — площадь ферромагнитного сечения магнитопровода, м^2.

Зависимость, отображающая кривую намагничивания ферромагнитных материалов: $B = \mu_a H$, где H — напряженность магнитного поля, А/м; μ_a — абсолютная магнитная проницаемость материала, Гн/м, $\mu_a = \mu_0\mu$ ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ — магнитная постоянная, Гн/м; μ — относительная магнитная проницаемость).

Магнитный поток контура, Вб: $\Phi = LI$, где L — коэффициент самоиндукции или индуктивность контура, Гн; I — сила тока в контуре, А.

Потокосцепление, Вб: $\psi = w\Phi$, где w — число витков контура (катушки).

ЭДС самоиндукции, В: $e_L = -w\Delta\Phi/\Delta t = -L\Delta I/\Delta t$, где w — число витков катушки.

ЭДС самоиндукции при постоянной скорости перемещения v проводника длиной l в магнитном поле с индукцией B: $E = lBv$.

Магнитодвижущая или намагничивающая сила, А: $F_м = Iw$.

Магнитное сопротивление участка цепи, 1/Гн: $R_м = l/(\mu_a S)$, где l — длина однородного участка, м; S — сечение участка, м^2; μ_a — абсолютная магнитная проницаемость участка магнитопровода, Гн/м.

Индуктивность катушки, Гн: $L = w^2\mu_a S/l = w^2/R_м$.

Закон Ома для магнитной цепи: $\Phi = Iw/R_м$.

Закон полного тока (второй закон Кирхгофа) для магнитных цепей: $\sum Iw = \sum Hl = \sum R_м\Phi$.

Формула Ампера: $F_{эм} = B \cdot I \cdot l$, Н, — если проводник длиной l с током I поместить в магнитное поле с индукцией B, то на него действует электромагнитная сила $F_{эм}$.

Электромагнитная сила, Н: $F_{эм} = B^2_{в.р} S_{в.р}/(2\mu_0) = \Phi^2/(2\mu_0 S_{в.р}) = 0{,}5(Iw_{в.р}/\delta_{в.р})^2 \mu_0 S_{в.р}$, действующая в рабочем воздушном зазоре площадью $S_{в.р}$ и длиной $\delta_{в.р}$, индукцией $B_{в.р}$ и намагничивающей силой в воздушном зазоре $Iw_{в.р}$.

4.1. Для поворотного электромагнита, схема которого приведена на рис. 4.1, *а*, известны конструктивные размеры отдельных его участков, материал магнитопровода и величина магнитного потока $\Phi = 1{,}6 \cdot 10^{-5}$ Вб.

Вычислить намагничивающую силу, обеспечивающую заданную величину потока, и электромагнитную силу, действующую на якорь в исходном состоянии.

Даны сечения, длины и материал трех ферромагнитных участков:

$S_1 = 2 \cdot 10^{-5}$ м^2; $l_1 = 3 \cdot 10^{-2}$ м, материал — Э42;

$S_2 = 1 \cdot 10^{-5}$ м^2; $l_2 = 2 \cdot 10^{-2}$ м, материал — Э310;

$S_3 = 6\ 10^{-5}$ м^2; $l_3 = 1 \cdot 10^{-2}$ м, материал — Э42;

и двух воздушных:

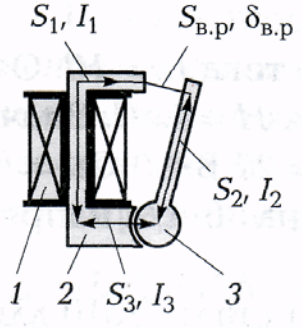
рабочего $S_{в.р} = 2 \cdot 10^{-5}$ м^2; $\delta_{в\ р} = 1 \cdot 10^{-3}$ м;

технологического $S_{в.т} = 6 \cdot 10^{-5}$ м^2; $\delta_{в.т} = 1 \cdot 10^{-4}$ м.

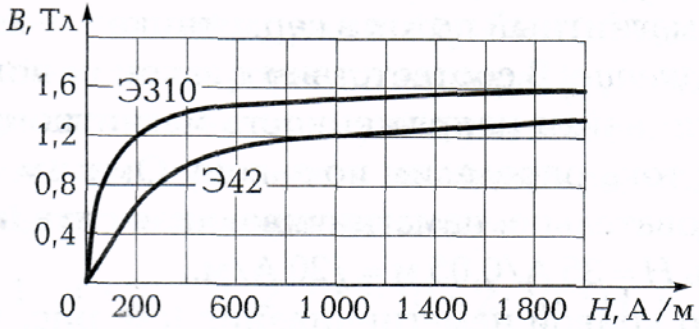
На рис. 4.1, *б* приведена зависимость магнитной индукции B от напряженности магнитного поля H для двух материалов, используемых в конструкции электромагнита.

Алгоритм расчета

1. Вычисляем индукцию на каждом участке магнитопровода:



а



б

$$B_1 = \Phi/S_1 = 1{,}6 \cdot 10^{-5}/2 \cdot 10^{-5} = 0{,}8 \text{ Тл}; B_2 = 1{,}6 \text{ Тл}; B_3 = 0{,}27 \text{ Тл};$$

$$B_{в.р} = 0{,}8 \text{ Тл}; B_{в.т} = 0{,}27 \text{ Тл}.$$

2. Находим по графику (см. рис. 4.1, *б*) для ферромагнитных участков напряженности:

$$H_1 = 270 \text{ А/м}; H_2 = 2\,000 \text{ А/м}; H_3 = 70 \text{ А/м}.$$

Для воздушных участков напряженности:

$$H_{в.р} = 8 \cdot 10^5 B_{в.р} = 8 \cdot 10^5 \cdot 0{,}8 = 6{,}4 \cdot 10^5 \text{ А/м}; H_{в.т} = 2{,}16 \cdot 10^5 \text{ А/м}.$$

3. Вычисляем падения магнитного напряжения на отдельных участках магнитопровода:

$$H_1 l_1 = 270 \cdot 3 \cdot 10^{-2} = 8{,}1 \text{ А}; H_2 l_2 = 40 \text{ А}; H_3 l_3 = 0{,}7 \text{ А}; H_{в.р}\delta_{в.р} = 640 \text{ А};$$

$$H_{в.т}\delta_{в.т} = 21{,}6 \text{ А}.$$

4. Вычисляем в соответствии с законом полного тока суммарную намагничивающую силу, обеспечивающую заданную величину потока:

$$Iw = H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_3 l_3 + H_{в.р}\delta_{в.р} + H_{в.т}\delta_{в.т} = 710 \text{ А}.$$

5. Вычисляем электромагнитную силу, действующую на якорь:

$$F_{эм} = (Iw)^2_{в.р}\mu_0 S_{в.р}/(2\delta^2_{в.р}) = (H_{в.р}\delta_{в.р})^2\mu_0 S_{в.р}/(2\delta^2_{в.р}) =$$

$$= 640^2 \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 2 \cdot 10^{-5}/(2 \cdot 10^{-6}) = 5{,}14 \text{ Н}.$$

Ответ. Расчеты электромагнита с заданными параметрами показывают, что конструктивная схема, размеры отдельных участков магнитопровода и их материал выбраны грамотно, так как практически 90 % всей намагничивающей силы 710 А сосредоточены в воздушном рабочем зазоре, что позволяет получить высокий КПД и значительную величину электромагнитной силы, равную 5,14 Н.

4.3. Вычислить индукцию магнитного поля, обеспечивающую в контуре с числом витков $w = 100$ и активной длиной проводника $l =$ $= 60$ мм ЭДС, равную 4,8 В. Контур движется с линейной скоростью $v = 1\,000$ мм/с. По правилу какой руки определяется направление ЭДС?

Решение. Для вычисления воспользуемся формулой $E = Blwv$, из которой можно найти значение индукции $B = E/(lwv) = 4{,}8$ В/ $/(6 \cdot 10^{-2}$ м $\cdot\, 100$ витков $\cdot\, 1$ м/с$) = 0{,}8$ Тл.

Ответ. Значение индукции магнитного поля должно быть 0,8 Тл.

Направление ЭДС определяется правилом правой руки. Если наводится ЭДС, значит это генерато**Р** — п**Р**авая рука (так проще запомнить): магнитные силовые линии должны входить в ладонь, отогнутый большой палец должен показывать направление движения проводника, тогда четыре пальца укажут направление ЭДС.

4.4. Вычислить индукцию магнитного поля, действующего на проводник длиной $l = 60$ см, по которому течет ток $I = 15$ А, если электромагнитная сила $F_{эм} = 6{,}3$ Н. По правилу какой руки определяется направление силы?

Решение. Для вычисления воспользуемся формулой Ампера $F_{эм} =$ $= BIl$, из которой несложно найти значение индукции $B = F_{эм}/(Il) =$ $= 6{,}3/(15 \cdot 0{,}6) = 0{,}7$ Тл.

Ответ. Значение индукции магнитного поля должно быть 0,7 Тл.

Направление электромагнитной силы определяется правилом левой руки. Если проводник движется, значит — двигате**Л**ь — **Л**евая рука (так проще запомнить): магнитные силовые линии должны входить в ладонь, четыре пальца указывать направление тока, тогда отогнутый большой палец покажет направление силы.

Карточка1

1. Сердечник электромагнитного реле изготовлен из стали Э310 и имеет длину l=5 см и сечение 100 мм^2. Катушка электромагнитного реле с числом витков 120 и сопротивлением R=90 Ом питается от источника постоянного тока напряжением U =27В. Определить магитный поток в сердечнике.

2. Какие из приведенных материалов не являются ферромагнетиками:
1)медь , 2)железо, 3)алюминий , 4) золото, 5) платина, 6) никель, 7) серебро 8) вольфрам, 9) чугун, 10) кобальт, 11) полоний, 12) титан, 14) олово

Карточка2

1. Сердечник электромагнитного реле изготовлен из стали Э310 и имеет длину l=5 см и сечение 100 мм^2. Катушка электромагнитного реле с числом витков 100 и сопротивлением R=80 Ом питается от источника постоянного тока напряжением U =27В. Определить магитный поток в сердечнике.

2. Какие из приведенных материалов являются ферромагнетиками:
1)медь , 2)железо, 3)алюминий , 4) золото, 5) платина, 6) никель, 7) серебро 8) вольфрам, 9) чугун, 10) кобальт, 11) полоний, 12) титан, 14) олово

---

1 вариант

Задача.1.
При изменении напряженности магнитного поля в ферромагнитном магнитопроводе от 700 до 1100 А/м индукция увеличилась линейно от 0,6 до 1,1Тл. Определить диапазон изменения магнитного сопротивления и индуктивности катушки с числом витков W=80, намотанных на магнитопровод, если его длина и сечение соответственно 0,7м и 0,08м^2.

Задача.2.
Определить индуктивность катушки с числом витков 90, площадью поперечного сечения 50мм^{2}и индукцией поля*B*=0,06Тл, если по ней протекает ток 15А.

Задача 3.
Обмотка катушки индуктивности с числом витков W=120 намотана на магнитопровод из литой стали с параметрами: S=4*10^{-5}м^2, l=0,6 м, I=10А. Определить магнитный поток в катушке, магнитное сопротивление. B=1,4Тл

Задача.4.
Вычислить индукцию магнитного поля, обеспечивающую в контуре с числом витков w=150 и активной длиной проводника l=40мм ЭДС, равную 3,5 В. Контур движется с линейной скоростью v = 1000 см/с.

Задача 5.
Определить энергию катушки, если в ней протекает ток 20А, а индуктивность равна 50мГн.

---

2 вариант

Задача.1.
Какова индуктивность обмотки, имеющей 100 витков, если ток 4 А создает в ней магнитный поток 7*10^{-4}Вб? Определить ток, необходимый для создания в этой катушке магнитного потока 7*10^{-3}Вб?

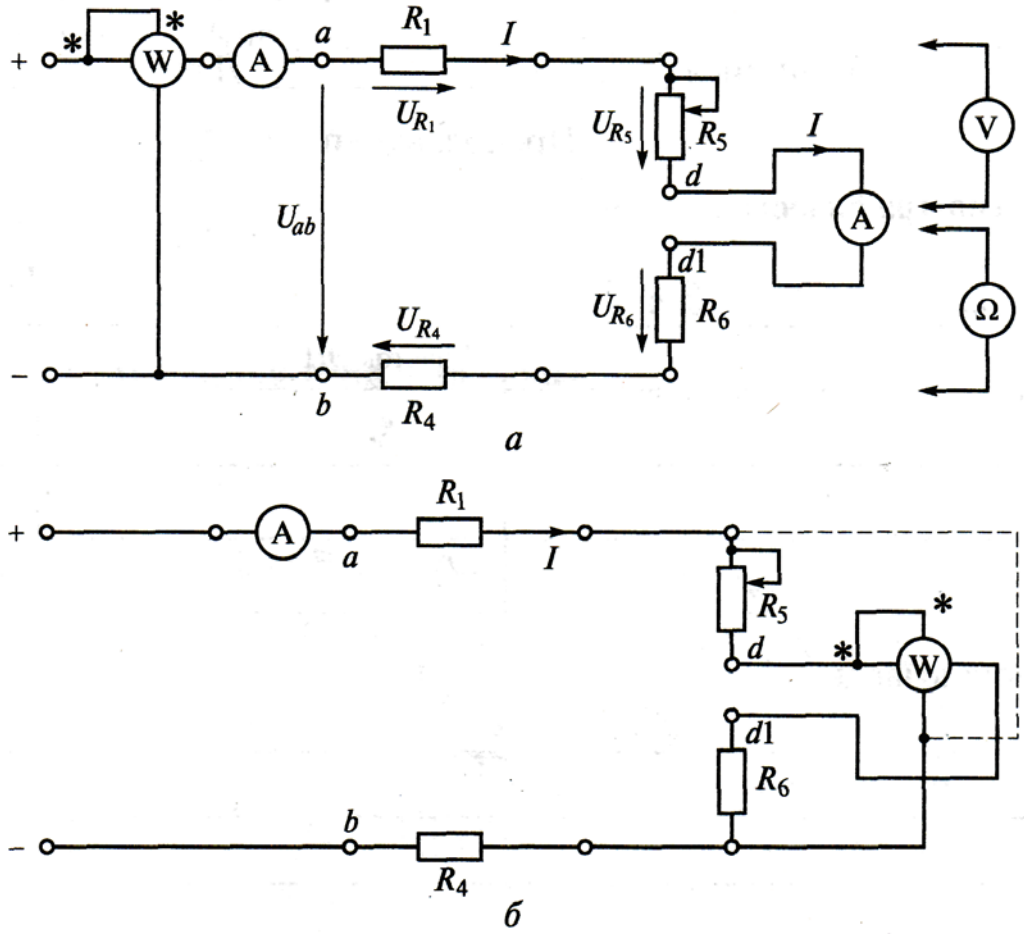
Задача.2.
Определить индуктивность катушки с числом витков 110, площадью поперечного сечения 80мм^2 и индукцией поля B=0,09Тл, если по ней протекает ток 5А.

Задача 3.
Определить энергию катушки, если в ней протекает ток 15А, а индуктивность равна 30мГн.

Задача.4.
При изменении напряженности магнитного поля в ферромагнитном магнитопроводе от 900 до 1200 А/м индукция увеличилась линейно от 0,6 до 0,9 Тл. Определить диапазон изменения магнитного сопротивления и индуктивности катушки с числом витков W=90, намотанных на магнитопровод, если его длина и сечение соответственно 0,9м и 0,08м^2.

Задача.5.
Вычислить индукцию магнитного поля , действующего на проводник длиной l = 60см, по которому течет ток I = 25 А, если электромагнитная сила $F_{эм}$ = 5,3 Н.

Схемы электрических цепей и таблицы



Схемы ЭЦ постоянного тока для проверки:
а — закона Ома и второго правила Кирхгофа; *б* — баланса мощностей

Таблица 2.1

Парамерт	Участок ЭЦ				
	R1	R4	R5	R6	a-b
R, Ом					
U, В					
I, мА					
P, Вт					

Таблица 2.2

Прибор	Тип	Система	Род тока	Класс точности	Цена деления

Расчетно-графическая часть

Таблица 2.3

Параметр	Участок ЭЦ				
	R1	R4	R5	R6	a-b
I, мА					
P, Вт					

Краткие выводы

_____
_____
_____
_____
_____
_____

Контрольные вопросы:

1. Назовите основные формулы расчета магнитных цепей
2. Перечислите единицы измерения основных формул
3. Перечислите обозначения основных физических величин
4. Как с помощью амперметра определить направление тока в цепи?
5. Что такое узел, ветвь, контур?
6. Как рассчитать эквивалентное сопротивление цепи?