

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ СРЕДНЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОЛЛЕДЖ имени И.И.ПОЛЗУНОВА

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

Методические указания и контрольные задания
для студентов заочного обучения
средних специальных учебных заведений

по специальности


**140613 «Техническая эксплуатация и обслуживание электрического
и электромеханического оборудования»**

(по отраслям)

ОДОБРЕНА


Кафедрой промышленного
электромеханического оборудования

Заведующий кафедрой

 Ю.А. Каргапольцев

«10» июля 2012 г.

Составлены в соответствии с рабочей программой «Электрический аппарат» для студентов заочной формы обучения по специальности 140613 «Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования»

Зам. Директора УГК по
учебно-методической работе Е.А. Покошенко

«15» 06 2011

Автор: Литвинов А.И. - преподаватель Уральского государственного колледжа имени И.И. Ползунова

Рецензенты: Каргапольцев Ю.А. - зав. кафедрой промышленного электромеханического оборудования Уральского государственного колледжа имени И.И. Ползунова

Куртова Ю.И. - преподаватель Уральского государственного колледжа имени И.И. Ползунова

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ВВЕДЕНИЕ

Задачи дисциплины, её содержание. Определение электрических аппаратов. Область их применения и функциональное назначение. Классификация электрических аппаратов по назначению, принципу действия. Технические, экономические требования, предъявляемые к электрическим аппаратам. Современное состояние отечественного и зарубежного электроаппаратостроения.

Раздел 1. ОСНОВЫ ТЕОРИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Тема 1.1. Тепловые процессы в электрических и магнитных цепях

Потери в проводниках с током в электрических и магнитных цепях. Нагрев и охлаждение проводника во времени. Уравнение теплового баланса. Нагрев и охлаждение при продолжительном, кратковременном и повторно-кратковременных режимах. Нагрев однородного проводника при коротком замыкании. Нагрев изолированных проводников. Нагрев катушек. Допустимая температура нагрева. Термическая стойкость аппарата. Измерение температуры нагрева.

Тема 1.2. Электромагнитные взаимодействия в электрических аппаратах

Магнитные цепи. Понятие, функциональное назначение, виды, элементы магнитных цепей. Законы магнитных цепей. Схемы замещения. Проводимость воздушных зазоров. Расчет магнитных цепей: однородных, с воздушным зазором, разветвленных, с учетом и без учета потоков рассеяния. Коэффициент рассеяния. Особенности магнитной цепи переменного тока. Постоянные магниты, их характеристики.

Электромагнитные механизмы. Основные понятия. Классификация электромагнитных механизмов. Определение энергии и индуктивности магнитного поля; работа, проводимая якорем при перемещении. Вычисление сил и моментов электромагнита. Особенности электромагнитов переменного тока. Дребезг якоря и способы его устранения. Катушка электромагнитов. Механические характеристики аппаратов. Статические и динамические тяговые характеристики электромагнитов. Замедление и ускорение действия электромагнита. Поляризованные электромагнитные системы.

Электродинамические силы

(ЭДС) в электрических аппаратах. Основы расчета ЭДС в электрических аппаратах. Расчет электродинамических усилий по взаимодействию проводника с током и магнитным полем по изменению запаса электромагнитной энергии контура. Расчет электродинамических усилий между параллельными, взаимоперпендикулярными проводниками. Расчет ЭДС в круговом витке и между витками. ЭДС в проводниках переменного сечения. Силы взаимодействия между проводником с током и ферромагнитной массой. Действие ЭДС в цепях переменного тока.

Тема 1.3. Процессы коммутации в электрических аппаратах

Физические явления в электрических контактах. Поверхность соприкосновения. Типы контактов. Переходное сопротивление. Основные конструкции контактных соединений. Параметры контактных соединений. Износ контактов при замыкании и размыкании. Дребезг контактов. Способы компенсации электродинамических усилий в контакте. Материалы для контактных соединений.

Процессы в дуговом промежутке. Вольт-амперные характеристики электрической дуги. Условие гашения электрической дуги постоянного тока. Особенности гашения электрической дуги постоянного тока. Условия гашения электрической дуги переменного тока. Восстановление электрической прочности дугового промежутка.

Способы гашения электрической дуги. Магнитное гашение. Способы создания магнитного поля дугогашения. Гашение дуги в продольных щелях. Гашение дуги в дугогасительной решетке. Гашение дуги высоким давлением. Плазма дуги и борьба с ним. Бездуговая коммутация цепей.

Раздел 2. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ НИЗКОГО НАПЯЖЕНИЯ

Тема 2.1. Аппараты управления, защиты и автоматики

Основные понятия. Функциональное назначение аппаратов управления, защиты и автоматики. Классификация: резисторы, контроллеры, выключатели, контакторы электромагнитные, командоаппараты, магнитные пускатели, реле. Типы выключателей: кнопочные, универсальные, путевые, конечные. Категории контакторов: контакторы постоянного и переменного тока; контакторы с бездуговой коммутацией. Классификация реле: электромагнитные реле управления; реле тока, напряжения, времени, промежуточные; реле с замедлением, реле защиты энергосистем; поляризованные реле; индукционные; тепловые; реле на герконах. Применение реле в схемах управления, защиты и автоматики.

Тема 2.2. Аппараты распределительных устройств

Назначение, устройство, принцип действия, основные технические характеристики, конструкции предохранителей, рубильников и переключателей, автоматических воздушных выключателей, распределителей автоматов. Комплексные устройства, их назначение, виды.

Раздел 3. ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ АППАРАТЫ

Назначение, область применения, устройство, основные технические характеристики, принцип работы и основные элементы конструкции короткозамыкателей, отделителей, высоковольтных выключателей, токоограничивающих реакторов и разрядников, комплексных распределительных устройств.

Раздел 4. БЕСКОНТАКТНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

Назначение и область применения бесконтактных электрических аппаратов. Классификация, устройство, принцип действия, основные технические характеристики, схемы. Физические явления в бесконтактных аппаратах.

Раздел 5. ВЫБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОННЫХ АППАРАТОВ ПО ЗАДАНЫМ ТЕХНИЧЕСКИМ УСЛОВИЯМ И ПРОВЕРКА ИХ НА СООТВЕТСТВИЕ ЗАДАНЫМ РЕЖИМАМ РАБОТЫ

Основные типы электрических и электронных аппаратов управления, защиты и автоматики. Выбор электрических и электронных аппаратов по заданным техническим условиям и проверка их на соответствие заданным режимам работы.

Методические указания к теме 1.1.

Тепловые процессы в электрических и магнитных цепях

Основные вопросы, составляющие содержание данной темы, являются общими для изучения большинства электрических аппаратов постоянного и переменного тока.

В принципе, подавляющее число электрических аппаратов содержат в своей конструкции две основные составляющие - это катушка или проводники различной формы, по которым протекает постоянный или переменный ток, и магнитная система, состоящая из одного или нескольких ферромагнитных тел, по которым замыкается переменный или постоянный магнитный поток.

Из физики известно, что при протекании электрического тока по проводнику проводник нагревается и мощность, теряемая на это нагревание, определяется по формуле $P = I^2 \cdot R$. Но при переменном токе потери больше, чем при постоянном, так как сказываются два явления, называемые "поверхностным эффектом" и "эффектом близости". В сущности этих явлений и их влияния на величину потерь на нагревание следует разобраться [1] с 8-9.

В магнитных материалах магнитопроводов электрических аппаратов, в которых создается постоянное магнитное поле, потери не возникают. Но переменное магнитное поле вызывает нагревание магнитопровода, обусловленное появлением вихревых токов и явлением гистерезиса. Следует разобраться в этих явлениях и способах уменьшения потерь на нагревание [1] с 9-10.

Наряду с нагреванием происходит охлаждение элементов электрических аппаратов. Поэтому необходимо усвоить такие понятия как теплопроводность, конвекция и тепловое излучение. Процесс нагревания и охлаждения зависит от многих факторов (размеров, формы и числа проводников режима работы аппарата и др.). Поэтому следует разобраться в этих явлениях [1] с 10-21.

Методические указания к теме 1.2.

Электромагнитные взаимодействия в электрических аппаратах

При изучении данной темы необходимо получить понятие о назначении магнитных цепей в электрических аппаратах, их конструкциях и отдельных элементах.

Зная законы электрических цепей (Ома, Кирхгофа и др.) необходимо ознакомиться с одноименными законами для магнитной цепи и разобраться с аналогией между этими законами, а так же схемами замещения магнитных цепей электрическими [1] с 114-118.

Используя формулы и законы магнитной цепи, рассмотреть порядок расчета магнитной цепи при постоянном и переменном токе, с учетом и без учета воздушного зазора [1] с 119-126. Пример расчета магнитной цепи прилагается к данным методическим указаниям.

Электромагнитный механизм - это устройство, состоящее из ферромагнитного магнитопровода и катушки и предназначенное для приведения в действие электрического аппарата. Необходимо познакомиться с классификацией этих механизмов, определением сил, моментов и работой, производимой якорем электромагнита, уяснить особенности электромагнитов переменного тока.

Уяснить, что делается для замедления или ускорения действия электромагнита, для чего применяется короткозамкнутый виток [1] с 131-144.

При работе электрического аппарата, возникают силы между проводниками катушки и ферромагнитной массой. Они называются электродинамическими усилиями (ЭДУ). Следует учесть, что при нормальных условиях работы эти силы незначительны, но при коротких замыканиях они достигают таких больших значений, что могут вызвать деформацию и даже разрушение аппарата.

Поэтому следует усвоить методы расчета ЭДУ для проводников разных форм при постоянном и переменном токах.

Методические указания к теме 1.3.

Процессы коммутации электрических цепей

Важной составной частью конструкции электрических аппаратов являются контакты. При изучении этой темы необходимо изучить типы контактов и конструкции контактных соединений, разобраться в таких понятиях как "переходное сопротивление", "дребезг контактов", износ контактов.

Особое место в изучении работы контактов занимает такое явление как "Электрическая дуга". Поэтому следует разобраться в процессе возникновения электрической дуги, особенностях её горения при постоянном и переменном токах и способах её гашения [1] с 68-106.

Методические указания к теме 2.1.

Аппараты управления, защиты, автоматики

При изучении этой темы следует иметь в виду большое разнообразие аппаратов, которые отличаются по назначению, конструкции, принципу действия и другим признакам. Поэтому следует уяснить, в чем заключается особенность того или иного аппарата, чем отличаются аппараты управления от аппаратов защиты, в каких аппаратах совмещаются функции тех и других аппаратов. Необходимо разобраться в конструкциях и принципах действия аппаратов, предусмотренных программой, устройствами, обеспечивающими функции защиты от перегрузки, короткого замыкания, понижения напряжений, создания выдержки времени [1] с 164-190.

Методические указания к теме 2.2. Аппараты распределительных устройств

Сам термин "Распределенное устройство" говорит о назначении аппаратов, входящих в его состав, т.е. они должны участвовать в распределении потоков электроэнергии между потребителями. Поэтому к данной группе аппаратов относятся рубильники, переключатели, ключи управления. Но вместе с ними в распределительных устройствах должна быть предусмотрена защита в первую очередь от коротких замыканий. Эту функцию выполняют предохранители, автоматические выключатели. Поэтому следует разобраться в конструкциях этих аппаратах, их работе и назначении [1] с 203-215.

Методические указания к теме 3.

Высоковольтные аппараты

К высоковольтным аппаратам относятся аппараты на напряжениях 3 кВ и выше (ГОСТ 687-78). Разрабатываются и внедряются аппараты напряжением 1150 кВ. Высоковольтные аппараты являются, в основном, аппаратами распределительных устройств и служат для распределения мощных потоков электроэнергии. При высоких напряжениях эти аппараты предназначены отключать цепи с токами 8-50 кА, а при коротких замыканиях до 180 кА.

Основными аппаратами высокого напряжения являются высоковольтные выключатели, предназначенные для включения и отключения цепей и защиты от коротких замыканий.

К высоковольтным аппаратам относятся разъединители, реакторы, разрядники, предохранители, выполняющие свои определенные задачи. Следует ознакомиться и разобраться в конструкциях, назначении и работе этих аппаратов [1] с 148-184.

Методические указания к теме 4.

Бесконтактные электрические аппараты

В основу создания бесконтактных электрических аппаратов положено использование свойств полупроводниковых приборов.

Такие приборы как транзисторы и тиристоры пригодны для включения и отключения электрических цепей. Управление этими устройствами осуществляется подачей соответствующих импульсов на управляющий электрод.

С учетом особенностей постоянного и переменного токов в качестве коммутирующего прибора в цепях постоянного тока применяются транзисторы, а в цепях переменного тока - тиристоры.

С помощью указанных приборов разрабатываются схемы бесконтактных выключателей, в том числе контакторы (пускатели), автоматы, промежуточные реле и др.

Следует ознакомиться и разобрать работу схем бесконтактных электронных аппаратов [1] с 288-294.

**Методические указания к теме 5.
Выбор электрических и электронных аппаратов по заданным
техническим условиям**

Для нормального и длительного выполнения функций каждым аппаратом необходим правильный выбор, при котором применяемые устройства должны полностью обеспечивать выполнение всех возлагаемых на них функций и соответствовать условиям работы электропотребителя.

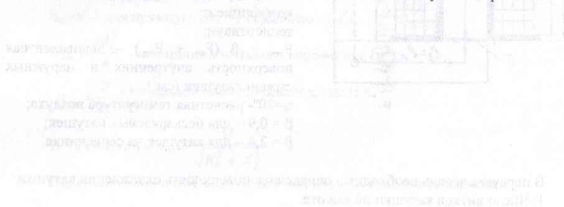
Основой для выбора аппаратов коммутации, управления и защиты электропотребителя являются номинальные (паспортные) данные этого потребителя, режимы и условия его работы.

При изучении этого раздела необходимо уяснить порядок расчета и выбора таких аппаратов как автоматические выключатели, реле, контакторы, магнитные пускатели, предохранители.

**КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ, МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ИХ ВЫПОЛНЕНИЮ, ПРимеры РАСЧЕТОВ
И СПИски ВАРИАНТОВ ЗАДАНИЙ**

Общие методические указания по выполнению контрольной работы

1. Учебным планом специальности 140613 предусмотрена одна контрольная работа по дисциплине "Электрические аппараты". В работу включены 4 задачи, которые даны в 20 вариантах. Вариант задания студент выбирает по двум последним цифрам своего шифра.
2. Контрольная работа выполняется в отдельной учебной тетради с полями 3 см.
3. В тетради должен быть указан номер варианта и записано условие задачи.
4. При решении задачи формулы необходимо писать вначале в буквенном выражении, затем подставлять численные значения без промежуточных вычислений и далее ответ с указанием единицы измерения в системе СИ. Решение задач должно сопровождаться пояснениями.
5. Ответы на теоретические вопросы должны быть четкими, краткими, научно обоснованными.
6. Все графические работы должны выполняться с применением чертежных инструментов и соблюдением ГОСТов.
7. Используемая литература указывается в конце контрольной работы.



Расчет

Определяем величины, входящих в расчетную формулу:

$$\tau_y = \frac{I_0^2 \cdot R_0}{K_T \cdot F_{\text{зас}} \left(1 + \frac{I_0^2 \cdot R_0}{K_T \cdot F_{\text{зас}} \cdot t_0} \right)}, \quad \text{где}$$

$K_T = (1,0 + 1,25) \cdot 10^{-2}$ – коэффициент теплоотдачи;

$t_0 = 20^\circ$ – температура окружающей среды.

1. Число витков катушки по высоте $W' = \frac{H}{d'_{\text{пр}}} = \frac{40}{0,55} = 72,7$

где $d' = 0,55$ диаметр провода с изоляцией (см. Приложение 1).

2. Число витков катушки в одном горизонтальном слое:

$$N = \frac{W'}{W} = \frac{580}{72,7} = 8$$

3. Толщина горизонтального слоя витков «в» (см. рисунок)

$$b = N \cdot d_{\text{пр}} = 8 \cdot 0,55 \cdot 10^{-1} = 0,44 \text{ см}$$

4. Внутренняя поверхность катушки:

$$F_{\text{вн}} = \pi \cdot d_1 \cdot H (\text{см}^2) = 3,14 \cdot 2,5 \cdot 4 = 31,4 \text{ см}^2$$

$$\text{где } d_1 = d_c + \delta = 2,1 + 2 \cdot 0,2 = 2,5 \text{ см}$$

5. Наружная поверхность катушки:

$$F_{\text{нар}} = \pi \cdot (d_1 + 2\delta) \cdot H = 3,14 \cdot (2,5 + 2 \cdot 0,44) \cdot 4 = 42,4 \text{ см}^2$$

6. Эквивалентная площадь поверхности:

$$F_{\text{зас}} = \beta(F_{\text{вн}} + F_{\text{нар}}) = 2,4(31,4 + 42,4) = 177,1 \text{ см}^2$$

7. Активное сопротивление катушки:

$$R_0 = \frac{l_{\text{сп}} \cdot W}{\lambda \cdot S_{\text{пр}}} = \frac{0,0923 \cdot 580}{57 \cdot 0,196} = 4,79 (\text{Ом})$$

где $l_{\text{сп}} = \pi (d_1 + b) = 3,14 (2,5 + 0,44) = 9,23 \text{ см} = 0,0923 \text{ м}$

$l_{\text{сп}}$ – средняя длина одного витка

$$S_{\text{пр}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{пр}}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,5^2}{4} = 0,196 \text{ мм}^2$$

$$\gamma = 57 \left(\frac{\text{М}}{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2} \right)^4 \text{ – удельная проводимость меди.}$$

8. Индуктивность катушки:

$$L = \frac{W^2 \cdot S_{\text{СТ}} \cdot \mu_{\text{СТ}}}{L_{\text{СТ}}} = \frac{580^2 \cdot 3,46 \cdot 10^{-4} \cdot 0,1 \cdot 10^{-3}}{0,18} = 0,065 \text{ Гн}, \quad \text{где}$$

$$S_{\text{СТ}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{СТ}}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 2,1^2}{4} = 3,46 \text{ см}^2 = 3,46 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

9. Индуктивное сопротивление катушки:

$$\omega \cdot L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 0,065 = 20,4 (\text{Ом})$$

10. Ток катушки:

$$I_0 = \frac{U}{\sqrt{R_0^2 + x_L^2}} = \frac{110}{\sqrt{4,79^2 + 20,4^2}} = 5,26 (\text{А})$$

11. Температура перегрева катушки.

$$\tau_y = \frac{I_0^2 \cdot R_0}{K_T \cdot F_{\text{зас}} \left(1 + \frac{I_0^2 \cdot R_0}{K_T \cdot F_{\text{зас}} \cdot t_0} \right)} = \frac{5,26^2 \cdot 4,79}{1,1 \cdot 10^{-2} \cdot 177,1 \left(1 + \frac{5,26^2 \cdot 4,79}{1,1 \cdot 10^{-2} \cdot 177,1 \cdot 20} \right)} = 24,8^\circ \text{ C},$$

где $K_T = (1,0 + 1,25) \cdot 10^{-2}$ – коэффициент теплоотдачи.

13. Допустимая температура нагрева катушки $+65^\circ$.

Расчетная температура воздуха $+20^\circ$. Допустимая температура перегрева $\tau_{\text{доп}} = 65^\circ - 20^\circ = 45^\circ \text{ C}$, следовательно данная катушка не перегревается.

Варианты расчетного задания №1

Тема: Определение температуры перегрева катушки электрического аппарата

№ вариантов	Напряжение, U (В)	Высота катушки Н (мм)	Длина L ₁ (мм)	Длина L ₂ (мм)	Число витков W	Диаметр сердечника d _c (мм)	Диаметр провода ПЭВ-1 d _{пр} (мм)	Магнитная проницаемость μ
1	36	70	160	50	880	2,2	0,28	0,2·10 ⁻³
2	110	60	140	50	720	2,25	0,45	0,28·10 ⁻³
3	36	80	180	60	740	2,2	0,8	0,3·10 ⁻³
4	110	60	130	50	680	2,1	0,45	0,18·10 ⁻³
5	36	50	100	40	600	2	0,355	0,15·10 ⁻³
6	36	40	90	30	400	2,25	0,18	0,12·10 ⁻³
7	24	80	160	50	920	2,3	0,28	0,15·10 ⁻³
8	110	60	130	50	760	2,1	0,5	0,2·10 ⁻³
9	36	50	90	40	520	2	0,45	0,12·10 ⁻³
10	36	60	100	40	420	2	0,63	0,15·10 ⁻³
11	24	80	170	50	860	2,25	0,4	0,13·10 ⁻³
12	36	60	120	40	780	2,1	0,45	0,18·10 ⁻³
13	36	40	80	30	500	2	0,4	0,12·10 ⁻³
14	24	70	170	50	800	2,1	0,25	0,11·10 ⁻³
15	110	60	130	50	500	2,1	0,4	0,14·10 ⁻³
16	110	50	120	50	720	2	0,75	0,13·10 ⁻³
17	36	60	110	30	860	2,1	0,8	0,12·10 ⁻³
18	24	70	120	40	820	2	0,4	0,16·10 ⁻³
19	36	60	120	50	780	2	0,25	0,18·10 ⁻³
20	24	60	110	40	720	2,1	0,5	0,2·10 ⁻³

Методические рекомендации по выполнению задачи № 2
контрольного задания на тему «Расчет магнитной цепи аппарата»

В задании на выполнение этой задачи предусмотрено два варианта:

1 – Расчет магнитной цепи с сердечником типа «Торойд».

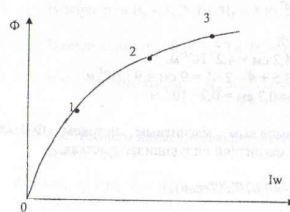
2 – Расчет магнитной цепи с сердечником прямоугольного сечения.

В первом варианте отсутствует воздушный промежуток, а сердечник имеет два участка с разными по величине площадями поперечного сечения.

Во втором варианте кроме двух участков магнитопровода (сердечника и якоря) с разными поперечными сечениями, имеются два воздушных промежутка, и если напряженность магнитного поля «Н» для участков с ферромагнитным материалом находится по кривым начального намагничивания (Приложение 3), то напряженность «Н₀» для воздушного зазора определяется по формуле:

$$H_0 = \frac{B_0}{\mu_0} = \frac{B_0}{4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}} \left(\frac{A}{M} \right), \text{ а } B_0 \text{ в Тесла.}$$

Во-вторых, задание предусматривает построение магнитной характеристики заданной магнитной цепи. Для ее построения необходимо иметь не менее четырех точек. Одной точкой является начало координат. Еще три точки находятся так, как это показано в приведенном примере. Не имея опыта, студенты испытывают при этом затруднение. Следует понимать, что четыре точки должны дать при изображении по ним магнитной характеристики кривую, имеющую как прямолинейный участок 0-1, так и участок насыщения 1,2,3.

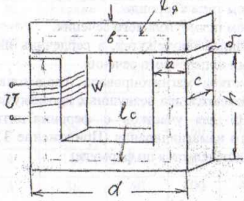


Для этого важно выбрать и рассчитать точку «3». Для этого на кривой начального намагничивания (Приложение 3) для соответствующей стали для этой точки берут значение магнитной индукции «В» в пределах 1,6-1,9 Тл и делают расчет, приведенный в примере. Значения магнитной индукции для точек 1 и 2 берут произвольно из числа значений «В» расположенных ниже.

Смысл этой работы в задании « 2 заключается в определении величины магнитного потока «Ф» при заданном значении Iw. Величина задаваемого значения Iw определяется как среднее значение этой величины на горизонтальной оси графика магнитной характеристики, построенной по результатам расчета.

Пример расчета задачи 2

Тема: Определение величины магнитного потока по заданному значению намагничивающей силы Iw .



Расчет

1. Определяем площади поперечных сечений отдельных участков магнитной цепи

$$\text{якоря } S_a = b \cdot c = 1,2 \cdot 1 = 1,2 \text{ см}^2 = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$\text{сердечника } S_c = a \cdot c = 1 \cdot 1 = 1 \text{ см}^2 = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$\text{воздушного зазора } S_0 = S_c = 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

2. Длины средних магнитных линий.

$$\text{В якоре } l_a = b + d - a = 1,2 + 4 - 1 = 4,2 \text{ см} = 4,2 \cdot 10^{-2} \text{ м.}$$

$$\text{В сердечнике } l_c = 2h + d - 2a = 2 \cdot 3,5 + 4 - 2 \cdot 1 = 9 \text{ см} = 9 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$\text{В воздушном зазоре } l_0 = 2\delta = 2 \cdot 1 = 0,2 \text{ см} = 0,2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

3. Задается максимально возможным магнитным потоком $\Phi = 0,0002$ Вебер $= 2 \cdot 10^{-4}$ Вебер и находим значения магнитной индукции на участках.

$$3.1. \text{ В якоре } B_a = \frac{\Phi}{S_a} = \frac{2 \cdot 10^{-4}}{1,2 \cdot 10^{-4}} = 1,67 \text{ Тл (Тесла)}$$

$$\text{В воздушном зазоре } B_0 = B_c = 2 \text{ Тл}$$

3.2. По кривым намагничивания (Приложение 2) находим напряженность (кривая для стали Э41) на участках:

$$\text{В якоре при } B_a = 1,67 \text{ Тл } H_a = 1000 \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

$$\text{В сердечнике при } B_c = 2 \text{ Тл } H_c = 20000 \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

В воздушном зазоре по формуле:

$$H_0 = \frac{B_0}{\mu_0} = \frac{2}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 0,159 \cdot 10^7 \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

3.3. Находим намагничивающую силу Iw при магнитном потоке $\Phi = 2 \cdot 10^{-4}$ Вб

$$Iw = H_a \cdot l_a + H_c \cdot l_c + H_0 \cdot l_0 = 1000 \cdot 4,2 \cdot 10^{-2} + 20000 \cdot 9 \cdot 10^{-2} + 0,159 \cdot 10^7 \cdot 0,2 \cdot 10^{-2} = 6822 \text{ А}$$

4. Задается другим значением магнитного потока $\Phi = 1,5 \cdot 10^{-4}$ Вебер и повторяем расчет.

4.1. Магнитная индукция

$$\text{В якоре } B_a = \frac{\Phi}{S_a} = \frac{1,5 \cdot 10^{-4}}{1,2 \cdot 10^{-4}} = 1,25 \text{ Тл}$$

$$\text{В сердечнике } B_c = \frac{\Phi}{S_c} = \frac{1,5 \cdot 10^{-4}}{1 \cdot 10^{-4}} = 1,5 \text{ Тл}$$

$$\text{В воздушном зазоре } B_0 = B_c = 1,5 \text{ Тл}$$

4.2. По кривой намагничивания для стали Э41 находим напряженность

$$\text{В якоре при } B_a = 1,25 \text{ Тл } H_a = 500 \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

$$\text{В сердечнике при } B_c = 1,5 \text{ Тл } H_c = 1400 \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

$$\text{В воздушном зазоре } H_0 = \frac{B_0}{\mu_0} = \frac{1,5}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 0,119 \cdot 10^7 \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

4.3. Находим намагничивающую силу Iw при магнитном потоке $\Phi = 1,5 \cdot 10^{-4}$ Вб

$$I \cdot w = H_a \cdot l_a + H_c \cdot l_c + H_0 \cdot l_0 = 500 \cdot 4,2 \cdot 10^{-2} + 1400 \cdot 9 \cdot 10^{-2} + 0,119 \cdot 10^7 \cdot 0,2 \cdot 10^{-2} = 2527 \text{ А}$$

5. Задается величиной магнитного потока $\Phi = 1 \cdot 10^{-4}$ Вебер и вновь повторяем расчет.

5.1 Магнитная индукция

$$\text{В якоре } B_a = \frac{\Phi}{S_a} = \frac{1 \cdot 10^{-4}}{1,2 \cdot 10^{-4}} = 0,83 \text{ Тл}$$

$$\text{В сердечнике } B_c = \frac{\Phi}{S_c} = \frac{1 \cdot 10^{-4}}{1 \cdot 10^{-4}} = 1 \text{ Тл}$$

$$\text{В воздушном зазоре } B_0 = B_c = 1 \text{ Тл}$$

5.2. По кривым намагничивания для стали Э41 находим напряженность.

$$\text{В якоре при } B_n = 0,93 \text{ Тл } H_n = 150 \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

$$\text{В сердечнике при } B_c = 1 \text{ Тл } H_c = 400 \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

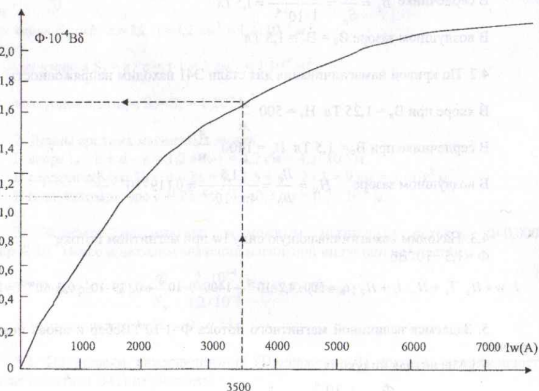
В воздушном зазоре

$$H_0 = \frac{B_0}{\mu_0} = \frac{1}{4\pi \cdot 10^{-7}} = 796 \cdot 10^3 \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

5.3. Находим намагничивающую силу $I \cdot w$ при магнитном потоке $\Phi = 1 \cdot 10^{-4}$ Вебер.

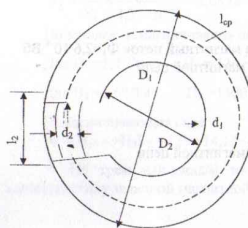
$$I \cdot w = H_n \cdot l_n + H_c \cdot l_c + H_0 \cdot l_0 = 150 \cdot 4,2 \cdot 10^{-2} + 400 \cdot 9 \cdot 10^{-2} + 796 \cdot 10^3 \cdot 0,2 \cdot 10^{-2} = 1634 \text{ А}$$

6. По найденным трем точкам и началу координат строим магнитную характеристику.



При среднем значении $Iw = 3500$ А находим величину магнитного потока по кривой намагничивания. $\Phi = 1,65 \cdot 10^{-4}$ Вебер.

Пример расчета магнитной цепи с сердечником типа «Торойд» (Задача 2)



Дано: материал сердечника
холоднокатаная сталь Э330

$$D_1 = 65 \text{ мм } D_2 = 35 \text{ мм } d_2 = 1,4 \text{ см}$$

$$L_1 = 0,9 \cdot L_{cp} \quad L_2 = 0,1 \cdot L_{cp}$$

Определить магнитный поток Φ при среднем значении намагничивающей силы Iw

Расчет

1. Определяем геометрические размеры магнитной цепи.

1. Диаметр средней магнитной линии

$$D_{cp} = \frac{D_1 + D_2}{2} = \frac{65 + 35}{2} = 50 \text{ мм} = 5 \text{ см}$$

2. Длина средней магнитной линии (пунктирная линия)

$$L_{cp} = \pi \cdot D_{cp} = 3,14 \cdot 5 = 15,7 \text{ см}$$

3. Часть длины средней магнитной линии в пределах диаметра d_1

$$L_1 = 0,9 \cdot L_{cp} = 0,9 \cdot 15,7 = 14,13 \text{ см}$$

4. Часть длины средней магнитной линии в пределах диаметра d_2

$$L_2 = 0,1 \cdot L_{cp} = 0,1 \cdot 15,7 = 1,57 \text{ см}$$

5. Площадь поперечного сечения сердечника

$$\text{при } d_1 = \frac{D_1 - D_2}{2} = \frac{65 - 35}{2} = 15 \text{ мм} = 1,5 \text{ см}$$

$$S_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,5^2}{4} = 1,76 \text{ см}^2$$

6. Площадь поперечного сечения сердечника при $d_2 = 1,4$ см

$$S_2 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 1,5^2}{4} = 1,737 \text{ см}^2$$

II. Расчет намагничивающей силы Iw при различных произвольно заданных значениях магнитного потока Φ .

Решение выполняем в Международной системе единиц СИ, в которой площадь сечения в м^2 , магнитный поток в Веберах (Вб), магнитная индукция в Тесла (Тл), напряженность в $\frac{\text{А}}{\text{м}}$.

1. Принимаем для первой точки графика магнитный поток $\Phi_1 = 2,6 \cdot 10^{-4}$ Вб
Магнитная индукция на первом участке магнитной цепи

$$B_1 = \frac{\Phi_1}{S_1} = \frac{2,6 \cdot 10^{-4}}{1,76 \cdot 10^{-4}} = 1,48 \text{ Тл}$$

Магнитная индукция на втором участке магнитной цепи

$$B_2 = \frac{\Phi_1}{S_2} = \frac{2,6 \cdot 10^{-4}}{1,37 \cdot 10^{-4}} = 1,9 \text{ Тл}$$

По кривой намагничивания для стали Э330 (Приложение 3) находим величину напряженности

$$\text{Для } B_1 = 1,48 \text{ Тл} \quad H_1 = 400 \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

$$\text{Для } B_2 = 1,9 \text{ Тл} \quad H_2 = 7000 \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

Составляем уравнение для определения намагничивающей силы Iw при $\Phi_1 = 2,6 \cdot 10^{-4}$ Вб

$$Iw = H_1 L_1 + H_2 L_2 = 400 \cdot 14,13 \cdot 10^{-2} + 7000 \cdot 1,57 \cdot 10^{-2} = 166,4 \text{ А}$$

2. Принимаем для второй точки графика магнитный поток $\Phi_2 = 2,5 \cdot 10^{-4}$ Вб
Магнитная индукция на первом участке магнитной цепи

$$B_1 = \frac{\Phi_2}{S_1} = \frac{2,5 \cdot 10^{-4}}{1,76 \cdot 10^{-4}} = 1,42 \text{ Тл}$$

Магнитная индукция на втором участке магнитной цепи

$$B_2 = \frac{\Phi_2}{S_2} = \frac{2,5 \cdot 10^{-4}}{1,37 \cdot 10^{-4}} = 1,82 \text{ Тл}$$

По кривым намагничивания находим напряженность магнитного поля

$$\text{Для } B_1 = 1,42 \text{ Тл} \quad H_1 = 220 \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

$$\text{Для } B_2 = 1,82 \text{ Тл} \quad H_2 = 2000 \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

Намагничивающая сила

$$Iw = H_1 L_1 + H_2 L_2 = 220 \cdot 14,13 \cdot 10^{-2} + 2000 \cdot 1,57 \cdot 10^{-2} = 62,5 \text{ А}$$

3. Принимаем для третьей точки графика магнитный поток $\Phi_3 = 2,3 \cdot 10^{-4}$ Вб
Магнитная индукция на первом участке магнитной цепи

$$B_1 = \frac{\Phi_3}{S_1} = \frac{2,3 \cdot 10^{-4}}{1,76 \cdot 10^{-4}} = 1,3 \text{ Тл}$$

Магнитная индукция на втором участке магнитной цепи

$$B_2 = \frac{\Phi_3}{S_2} = \frac{2,3 \cdot 10^{-4}}{1,37 \cdot 10^{-4}} = 1,68 \text{ Тл}$$

По кривым намагничивания находим напряженность магнитного поля

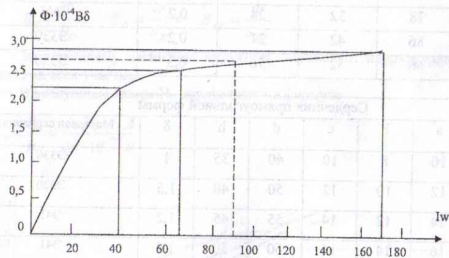
$$\text{Для } B_1 = 1,3 \text{ Тл} \quad H_1 = 130 \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

$$\text{Для } B_2 = 1,68 \text{ Тл} \quad H_2 = 1400 \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

Намагничивающая сила

$$Iw = H_1 L_1 + H_2 L_2 = 130 \cdot 14,13 \cdot 10^{-2} + 1400 \cdot 1,57 \cdot 10^{-2} = 40,4 \text{ А}$$

4. По трем найденным точкам и началу координат строим магнитную характеристику заданной магнитной цепи



Берем на оси Iw среднюю точку $Iw = 90 \text{ А}$ и находим для нее на вертикальной оси магнитный поток $\Phi \approx 2,55 \cdot 10^{-4}$ Вб

Варианты расчетного задания № 2

Тема: Расчет магнитной цепи аппарата

Форма сердечника-тороид					
№ варианта	D ₁	D ₂	d ₂	l ₂	Материал сердечника
1	60	30	14,5	0,2	Э330
2	80	40	18	0,1	Э330
3	85	45	19	0,3	Э41
4	82	40	20	0,2	Э41
5	64	32	17	0,3	Э330
6	58	28	16	0,2	Э330
7	76	34	15	0,1	Э41
8	78	32	24	0,2	Э41
9	86	42	21	0,2	Э330
10	66	32	16	0,3	Э330

Сердечник прямоугольной формы							
№ варианта	a	b	c	d	h	δ	Материал сердечника
11	10	8	10	40	35	1	Э330
12	12	10	12	50	40	1,5	Э330
13	14	12	14	55	45	1,2	Э41
14	16	14	16	60	50	1,4	Э41
15	10	9	10	35	30	1,2	Э330
16	12	11	12	40	35	1,4	Э330
17	14	13	14	45	40	1,5	Э41
18	16	15	16	50	45	1,1	Э41
19	10	9	10	35	40	1,2	Э330
20	12	11	12	45	50	1	Э330

Методические рекомендации по выполнению задачи № 3
контрольного задания на тему
«Расчет катушки электромагнитного реле»

1. Расчет магнитной цепи

Так как на практике чаще задают тяговое усилие F , то величину магнитной индукции в воздушном зазоре можно определить по формуле:

$$B_0 = 1,6 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{F}{S}} \sqrt{\frac{L}{\mu}}, \text{ где}$$

F – тяговое усилие в Н;

S – площадь поперечного сечения в м² (определяется по площади сердечника).

Зная магнитную индукцию B_0 находят величину магнитного потока по формуле: $\Phi = B_0 \cdot S$ (Вб).

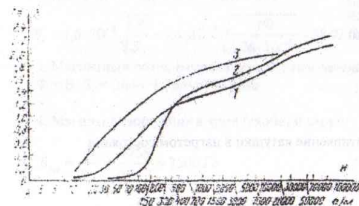
Этот поток проходит по всем участкам магнитной цепи. Поэтому магнитную индукцию на всех участках можно определить по формулам:

$$B_C = \frac{\Phi}{S_C} \quad B_{Я} = \frac{\Phi}{S_{Я}} \quad B_{ЯР} = \frac{\Phi}{S_{ЯР}}$$

Зная величину магнитной индукции, определяют напряженность магнитного поля H на всех участках.

В воздушном зазоре H_0 определяют по формуле

$$H_0 = \frac{B_0}{\mu_0} = \frac{B_0}{4\pi \cdot 10^{-7} \text{ м}}$$



Кривые зависимости магнитной индукции

На участках якоря, сердечника и ярма напряженность определяется по кривым намагничивания для соответствующих марок стали (в конце методических указаний кривые показаны в увеличенном виде. Приложение 3).

Подсчитав длины участков средней силовой линии на отдельных элементах магнитной цепи ($l_c, l_{Я}, l_{ЯР}$) определяют намагничивающую силу по формуле:

$$Iw = H_{Я} \cdot l_{Я} + H_C \cdot l_C + H_{ЯР} \cdot l_{ЯР} + H_0 \cdot l_0 \text{ (А)}$$

Напряженность H в $\frac{А}{М}$, размеры в м

II Расчет обмоточных параметров катушки

Внутренний диаметр катушки $d_1 = d_c + 2\delta_1$ (мм)

Наружный диаметр катушки

$$d_2 = 2 \left(c + \frac{d_c}{2} - 4 \right) \text{ (мм)}$$

Радиальный размер катушки (толщина)

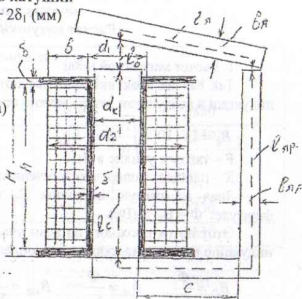
$$b = \frac{d_2 - d_1}{2} \text{ (мм)}$$

Осевой размер катушки (высота)

$h = H - 2\delta_2$ (мм)

Геометрическое сечение катушки

$$S_K = \frac{d_2 - d_1}{2} \cdot h \text{ (мм}^2\text{)}$$



Так как часть площади сечения катушки занята изоляцией провода, то вводится коэффициент заполнения катушки K_3 , который берется из Таблицы 1 в зависимости от диаметра провода $d_{пр}$.

$S_K \cdot K_3 = q \cdot W$,

где q сечение провода в мм^2 ;

W – число витков катушки.

Средняя длина витков катушки

$$l_{cp} = \frac{d_1 + d_2}{2} \cdot \pi \text{ (м)}$$

Число витков катушки

$$W = \frac{b \cdot h \cdot K_3}{q}$$

Ток катушки $I = \frac{IW}{W}$

Электрическое сопротивление катушки в нагретом состоянии

$$R = \rho \frac{l_{cp} \cdot W}{q}, \text{ где}$$

$$\rho = \rho_0 [1 + \alpha (75^\circ - 20^\circ)]$$

$$\rho_0 = 0,0175 \frac{\text{Ом}}{\text{мм}^2 \cdot \text{м}}$$

$$\alpha = 0,004 \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

Пример расчета катушки электромагнитного реле постоянного тока (к задаче 3)

Эскиз электромагнитного реле прилагается с указанием размеров

Дано: напряжение катушки $U = 220 \text{ В}$

Марка стали магнитной цепи Сталь Э330

Сила притяжения $F = 100 \text{ Н}$

Высота катушки $H = 50 \text{ мм}$

Ширина окна $C = 13 \text{ мм}$

Диаметр сердечника $d_c = 15 \text{ мм}$

Толщина ярма (скобы) $\delta_{яр} = 3 \text{ мм}$

Толщина якоря $\delta_2 = 2 \text{ мм}$

Ширина ярма (скобы) и якоря $B = 30 \text{ мм}$

Размер воздушного промежутка $l_0 = 12 \text{ мм}$

Толщина стенок катушки $\delta = 2 \text{ мм}$

Определить размеры катушки, сечение провода и число витков катушки

Расчет

I Определение намагничивающей силы:

1. Площадь поперечного сечения сердечника

$$S_c = \frac{\pi d_c^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 15^2}{4} = 1,76 \text{ см}^2$$

2. Магнитная индукция в сердечнике

$$B_c = 1,6 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{F}{S_c}} = 1,6 \cdot 10^{-3} \sqrt{\frac{100}{1,76 \cdot 10^{-4}}} = 3840 \text{ Гс}$$

3. Магнитный поток в сердечнике и, следовательно, во всей магнитной цепи $\Phi = B_c S_c = 3840 \cdot 1,76 = 6758 \text{ Мкс}$

4. Магнитная индукция в ярме (скобе) и якоря

$$B_{яр} = \frac{\Phi}{S_{яр}} = \frac{6758}{0,3 \cdot 3} = 7500 \text{ Гс}$$

$$B_0 = B_c = 3840 \text{ Гс}$$

$$B_{яр} = \frac{\Phi}{S_{яр}} = \frac{6758}{0,9 \cdot 3} = 11960 \text{ Гс}$$

5. По кривым намагничивания находим величину напряженности на всех участках магнитной цепи

$$H_c = 15 \frac{\text{А}}{\text{М}} = 0,15 \frac{\text{А}}{\text{см}} \quad H_{яр} = H_{я} = 30 \frac{\text{А}}{\text{М}} = 0,3 \frac{\text{А}}{\text{см}}$$

6. Находим длины средней силовой линии на отдельных участках

$$L_{\text{Я}} = b_{\text{Я}} + \frac{d_c}{2} + C - \frac{b_{\text{ЯР}}}{2} = 2 + 7,5 + 13 - 1,5 = 21 \text{ мм} = 2,1 \text{ см}$$

$$L_{\text{ЯР}} = b_{\text{ЯР}} + \frac{d_c}{2} + C + H = 3 + 7,5 + 13 + 50 = 73,5 \text{ мм} = 7,35 \text{ см}$$

$$L_c = 50 \text{ мм} = 5 \text{ см}$$

7. Находим намагничивающую силу

$$IW = H_1 l_1 + H_2 l_2 + H_{\text{ЯР}} \cdot l_{\text{ЯР}} + 0,8 B_c l_c = 0,3 \cdot 2,1 + 0,15 \cdot 5 + 0,3 \cdot 7,35 + 0,8 \cdot 3840 \cdot 1,2 = 0,63 + 0,75 + 2,1 + 3686 = 3689 \text{ А}$$

II Расчет обмоточных данных катушки

1. Внутренний диаметр катушки

$$D_1 = d_c + 2\delta = 15 + 2 \cdot 2 = 19 \text{ мм}$$

2. Наружный диаметр катушки

$$D_2 = 2 \left(C + \frac{d_c}{2} - 4 \right) = 2 \left(13 + \frac{15}{2} - 4 \right) = 33 \text{ мм}$$

3. Поперечное сечение катушки

$$S_k = b \cdot h = \left(\frac{d_2 - d_1}{2} \right) (H - 2\delta) = \left(\frac{33 - 19}{2} \right) (50 - 2 \cdot 2) = 322 \text{ мм}^2$$

4. Длина среднего витка катушки

$$l_{\text{ср}} = \frac{(d_2 + d_1) \pi}{2} = \frac{(19 + 33) \cdot 3,14}{2} = 81,6 \text{ мм} = 8,16 \text{ см}$$

5. Сечение провода катушки

$$q = \frac{S \cdot I_{\text{ср}} \cdot W}{R} = \frac{S \cdot I_{\text{ср}} \cdot (IW)}{U} = \frac{0,0175 \cdot 0,0816 \cdot 3689}{220} = 0,024 \text{ мм}^2$$

6. Диаметр провода $d_{\text{пр}}$

$$= \sqrt{\frac{4 \cdot q}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,024}{3,14}} = 0,17 \text{ мм} \quad \text{Провод ПЭВ-1}$$

По справочнику подбираем стандартный диаметр $d_{\text{ср}} = 0,18 \text{ мм}$ (Приложение 1)

$$q_{\text{ср}} = \frac{\pi d_{\text{ср}}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,18^2}{4} = 0,25 \text{ мм}^2$$

7. По справочнику подбираем коэффициент заполнения катушки $K_3 = 0,64$ (Приложение 1).

8. Из равенства $S_k K_3 = q_{\text{ср}} W$ находим число витков катушки

$$W = \frac{S_k K_3}{q_{\text{ср}}} = \frac{322 \cdot 0,64}{0,025} = 8243$$

$$9. \text{ Ток катушки } I = \frac{I \cdot W}{W} = \frac{3689}{8243} = 0,45 \text{ А}$$

Варианты расчетного задания № 3
Тема: Расчет катушки электромагнитного реле на постоянном токе

№ п/п	Марка стали магнитной цепи	Напря-жение катушки U	Тяговое усилие F (Н)	Высота катушки Н (мм)	Диаметр сердечника d_c (мм)	Толщина ядра и якоря $b_{як}=b_{як}$ (мм)	Ширина ядра и якоря $B_{як}=B_{як}$ (мм)	Размер окна С (мм)	Толщина воздушного зазора l_0 (мм)	Толщина слоя катушки b (мм)	Толщина стенок катушки $b_1=b_2$ (мм)
1	Э41	36	80	70	25	9	30	25	8	28	2
2	Э30	24	65	60	24	8	26	24	6	26	2
3	Э41	110	90	80	30	10	36	30	10	32	2
4	С10	36	70	72	26	9	28	24	8	28	2
5	Э41	24	80	58	22	8	24	23	8	26	2
6	Э330	110	90	78	30	10	40	32	12	32	3
7	С10	36	65	68	28	8	27	26	9	30	2
8	Э41	24	60	56	26	7	23	24	8	28	2
9	Э330	110	100	82	32	9	38	34	10	34	3
10	С10	36	68	70	30	7,5	28	28	8	30	2
11	Э41	24	62	60	28	6	24	24	7	28	2
12	Э330	110	95	80	32	8	36	32	9	34	3
13	С10	36	68	72	28	7	29	28	8	30	2
14	Э41	24	60	64	26	6	23	24	6	27	2
15	Э330	110	92	84	34	9	38	32	10	36	3
16	С10	110	88	86	32	10	36	34	9	28	3
17	Э41	36	58	72	28	8	30	26	8	26	2
18	Э330	24	56	62	22	7	26	22	10	32	2
19	С10	110	98	84	30	9	38	34	12	29	2
20	С10	24	64	60	22	6	24	23	7	26	2

Методические указания к заданию № 4

В задании № 4 необходимо, пользуясь рекомендуемой литературой, найти соответствующий материал по одному из требуемых аппаратов и выполнить следующее:

1. Изобразить с помощью чертежных инструментов (или копированием) чертеж конструктивного исполнения аппарата или его принципиальную схему.
2. Пояснить устройство аппарата с указанием отдельных элементов, их назначением. Объяснить порядок работы аппарата и назначение данного аппарата.

Варианты вопросов к заданию № 4

1. Пояснить конструкцию и принцип действия предохранителей общего назначения серии ПН-2.
2. Пояснить назначение, устройство и работу контактора постоянного тока.
3. Пояснить назначение, устройство и работу контактора переменного тока.
4. Пояснить назначение, устройство и работу магнитных пускателей.
5. Устройство, назначение и типы автоматических выключателей.
6. Назначение, устройство и работа кулачкового контактора.
7. Назначение, устройство и работа магнитного контроллера.
8. Назначение, устройство электромагнитного реле.
9. Назначение, устройство и работа промежуточного реле.
10. Назначение, конструкция, разновидности тепловых реле.
11. Электромагнитные реле времени с гильзой.
12. Электромагнитные реле времени с часовым механизмом.
13. Назначение, устройство высоковольтных баковых выключателей.
14. Назначение, устройство высоковольтных маломастных выключателей.
15. Назначение, устройство высоковольтного разъединителя.
16. Назначение, устройство выключателей нагрузки.
17. Назначение, устройство, типы реакторов.
18. Назначение, устройство разрядников.
19. Отделители и короткозамыкатели. Назначение и работа.
20. Воздушные выключатели высокого напряжения.

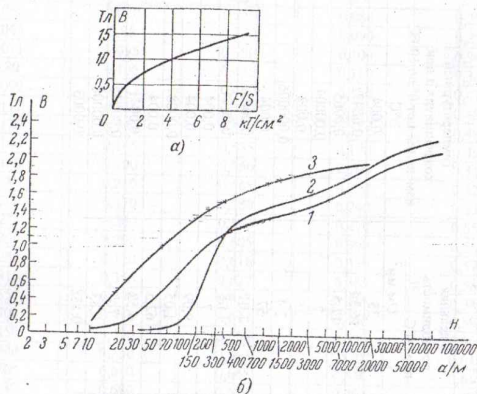
Приложение 1
Диаметры и коэффициенты заполнения обмотки для проволоки
из красной меди с эмалевой изоляцией

$d, \text{ м} \cdot 10^{-3}$	ПЭВ-1		ПЭВ-2	
	$d_i, \text{ м} \cdot 10^{-3}$	k_{2M}	$d_i, \text{ м} \cdot 10^{-3}$	k_{2M}
0,050	0,070	0,280	0,080	0,250
0,063	0,85	0,330	0,090	0,290
0,071	0,095	0,380	0,100	0,340
0,80	0,105	0,430	0,110	0,380
0,090	0,115	0,460	0,120	0,410
0,112	0,135	0,510	0,140	0,460
0,125	0,150	0,520	0,155	0,480
0,140	0,165	0,535	0,170	0,495
0,160	0,190	0,550	0,200	0,510
0,180	0,210	0,568	0,220	0,527
0,200	0,230	0,580	0,240	0,538
0,224	0,260	0,594	0,270	0,550
0,250	0,290	0,605	0,300	0,560
0,280	0,320	0,616	0,330	0,572
0,315	0,355	0,627	0,365	0,580
0,355	0,395	0,637	0,415	0,589
0,400	0,440	0,647	0,460	0,597
0,450	0,490	0,656	0,510	0,605
0,500	0,550	0,663	0,570	0,612
0,560	0,610	0,668	0,630	0,618
0,630	0,680	0,674	0,700	0,625
0,710	0,760	0,679	0,790	0,631
0,750	0,810	0,680	0,840	0,634
0,800	0,860	0,682	0,890	0,637
0,950	0,910	0,684	0,940	0,640
0,900	0,960	0,685	0,990	0,643
0,950	1,010	0,686	1,040	0,646
1,000	1,070	0,687	1,100	0,648
1,060	1,130	0,688	1,160	0,650
1,120	1,190	0,689	1,220	0,651
1,180	1,260	0,690	1,280	0,651
1,250	1,330	0,690	1,350	0,652

Приложение 2

Удельные электрические сопротивления, проводимость,
температурные коэффициенты проводниковых материалов

Материал проводника	Удельное сопротивление при 20°C $\frac{\text{м} \cdot \text{мм}^2}{\text{Ом}}$	Удельная проводимость при 20°C $\frac{\text{м}}{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}$	Температурный коэффициент α при изменении t от 0° до 100°C $\frac{1}{\text{°C}}$	Температура плавления °C
Алюминий	0,0278	35	0,004	657
Вольфрам	0,06	16,34	0,0047	3300
Железо	0,098	12,5	0,0065	
Константан	0,49	2	0,00004	
Латунь	0,04	25	0,002	900
Манганин	0,42	2,4	0,000006	
Медь проволочная	0,0176	57	0,004	1084
Нихром	0,98	1,01	0,0003	
Никель	0,072	13,8	0,0044	
Олово	0,143	7	0,004	232
Платина	0,11	9,09	0,004	
Ртуть	0,95	1,05	0,00087	39
Серебро	0,016	62,5	0,004	327
Свинец	0,221	4,52	0,0041	1400
Стальная проволока	0,13	7,7	0,00625	
Фехраль	1,2	0,83	0,00008	
Уголь	7,25	0,138	0,0003	



Кривые зависимости магнитной индукции.

a — от удельного электромагнитного усилия; b — от напряженности поля; 1 — сталь конструкционная марки Ст. 10; 2 — сталь электротехническая листовая толщиной 0,35 мм марки Э41; 3 — то же холоднокатаная марки Э330.

На рис. 7-4, a дана кривая зависимости магнитной индукции от удельного усилия.

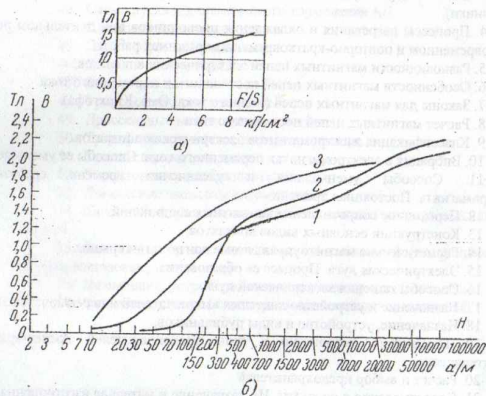


Рис. 7-4. Кривые зависимости магнитной индукции.

a — от удельного электромагнитного усилия; b — от напряженности поля; 1 — сталь конструкционная марки Ст. 10; 2 — сталь электротехническая листовая толщиной 0,35 мм марки Э41; 3 — то же холоднокатаная марки Э330.

На рис. 7-4, b приведены кривые намагничивания для стали. Кривая 1 представляет собой зависимость $B = f(H)$

Вопросы для экзаменационных билетов по предмету
«Электрические аппараты»

1. Классификация электрических аппаратов.
2. Основные требования, предъявляемые к электрическим аппаратам.
3. Виды потерь в различных элементах электрических аппаратов (катушки, сердечники).
4. Процессы нагревания и охлаждения проводников при длительном режиме, кратковременном и повторно-кратковременном режимах работы.
5. Разновидности магнитных цепей электрических аппаратов.
6. Особенности магнитных цепей постоянного и переменного тока.
7. Законы для магнитных цепей (полного тока, Ома, Кирхгофа).
8. Расчет магнитных цепей постоянного тока.
9. Классификация электромагнитов электрических аппаратов.
10. Вибрация в электромагнитах переменного тока. Способы ее уменьшения.
11. Способы уменьшения и увеличения времени срабатывания электромагнита. Постоянная времени.
12. Переходное сопротивление контактных соединений.
13. Конструкции основных видов контактов.
14. Герметические магнитоуправляемые контакты – герконы.
15. Электрическая дуга. Процесс ее образования.
16. Способы гашения электрической дуги.
17. Назначение и устройство пакетных выключателей и переключателей.
18. Назначение, устройство и виды рубильников.
19. Назначение, устройство и типы предохранителей. Ампер-временная характеристика.
20. Расчет и выбор предохранителей.
21. Сопротивления и реостаты. Их назначение и материал изготовления.
22. Назначение и устройство барабанных контроллеров.
23. Назначение и устройство кулачковых контроллеров.
24. Назначение и устройство командоконтроллеров.
25. Назначение и устройство контакторов.
26. Назначение и устройство магнитных пускателей.
27. Назначение, устройство и работа тепловых реле.
28. Назначение, типы путевых и конечных выключателей.
29. Устройство и работа электромагнитного реле.
30. Назначение и устройство промежуточного реле.
31. Рассказать о схеме кулачкового контроллера, о порядке его работы.
32. Электромагнитное реле времени с медной гильзой. Назначение и принцип действия.
33. Реле времени с часовым механизмом.
34. Моторное многоцепное реле времени.
35. Назначение, устройство и работа реле напряжения.
36. Назначение, устройство и работа реле тока.
37. Назначение, устройство и работа автоматического выключателя (автомата).

38. Условные обозначения элементов электрических цепей.
39. Работа схемы автоматического пуска ДПТ.
40. Работа схемы автоматического пуска и динамического торможения ДПТ.
41. Работа схемы автоматического пуска ДПТ с последовательным возбуждением.
42. Схема реверсивного управления асинхронного двигателя.
43. Схема пуска и динамического торможения АД.
44. Потенциометрические датчики.
45. Пьезометрические датчики.
46. Индуктивные датчики.
47. Емкостные датчики.
48. Трансформаторные датчики.
49. Дроссельные магнитные усилители.
50. Трансформаторные магнитные усилители.
51. Транзисторные усилители.
52. Тиристорные преобразователи.
53. Логические элементы автоматики.
54. Назначение, устройство и работа высоковольтных масляных выключателей.
55. Разновидности высоковольтных выключателей (воздушные, электромагнитные, элегазовые, вакуумные).
56. Назначение, устройство высоковольтных разъединителей.
57. Назначение, устройство короткозамыкателей-отделителей.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Родштейн Л.А. Электрические аппараты Ленинград Энергоатомиздат, 1980.
2. Чупихин А.А. Электрические аппараты М.Энергоиздат, 1988.
3. Буткевич Г.В. и др. Задачник по электрическим аппаратам -М., Высшая Школа, 1987.
4. Алиев И.И. Электротехнический справочник. М., РадиоСофт, 2009, том 3.
5. Годжелло А.Н. Электрические и электронные аппараты. М., Академия, 2008.