Министерство образования и науки Самарской области

Государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение

Самарской области «Самарский политехнический колледж»

**ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

**Учебно-методическое пособие**

**по выполнению самостоятельных и контрольных работ**

|  |  |
| --- | --- |
|  | Работу выполнил преподаватель Самарского политехнического колледжа  МИХАЛЁВ Владимир Николаевич |

**Самара 2017**

**Введение**

Учебная дисциплина «Электротехника» является общепрофессиональной дисциплиной, устанавливающей базовые знания, соответствующие программе курса подготовки студентов по электротехническим специальностям. Освоение дисциплины предполагает практическое осмысление её разделов и тем на всех видах занятий, в процессе которых студент должен закрепить и углубить теоретические знания, приобрести необходимые умения.

Большой объём и сложность учебной информации по электротехнике при ограниченном количестве часов, выделяемых на изучение этой дисциплины, делает необходимым вынести не только часть учебных вопросов на внеаудиторное, самостоятельное изучение, но и выполнение контрольных заданий.

С этой целью программой дисциплины предусматривается проведение самостоятельной внеаудиторная работы, которая выполняется студентом по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия. Объём времени, отведенный на самостоятельную внеаудиторную работу, определяется рабочей программой учебной дисциплины.

Самостоятельная работа студентов проводится с целью:

- развития познавательных способностей и активности студентов в учебном процессе;

- развития творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;

- формирования самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;

- формирования умений использовать нормативную, правовую, справочную и специальную литературу;

- контроля и оценки уровня освоения студентом учебного материала.

Содержание самостоятельной внеаудиторной работы определяется в соответствии с рекомендуемыми видами заданий согласно рабочей программе учебной дисциплины. Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами студентов в зависимости от цели, объёма, конкретной тематики работы, уровня сложности задания и уровня умений студентов выполнять эти работы.

Критериями оценки результатов самостоятельной внеаудиторной работы студента являются:

- уровень освоения студентом учебного материала;

- умения студента использовать теоретические знания при выполнении практических задач;

- обоснованность и четкость изложения ответа;

- оформление материала в соответствии с требованиями.

В результате выполнения работ студент должен овладеть навыками и приобрести опыт работы с нормативными документами, технической и технологической документацией.

Работа содержит шесть заданий, в каждом из которых рассмотрен пример решения задания и основные элементы теории расчёта.

Предлагаемое учебно-методическое пособие может являться руководством по решению задач учебной дисциплины и всей программы курса подготовки студентов по электротехническим специальностям.

Учебно-методическое пособие может быть использовано и при освоении учебных программ дополнительного образования, повышения квалификации и профессиональной переподготовке обучаемых по электротехническим специальностям.

Работа адресована преподавателям электротехнических дисциплин в качестве учебного пособия для подготовки и проведения, факультативных и кружковых занятий.

**Методические указания**

**по выполнению самостоятельных и контрольных работ**

Выполнение самостоятельных и контрольных работ является одним из основных видов учебной работы обучающихся. Самостоятельные и контрольные работы содержат решение нескольких заданий, которые охватывают значительную часть изучаемой дисциплины. Каждый обучающийся должен выполнить один из вариантов работы в сроки, предусмотренные учебным графиком.

Рецензирование контрольных работ производит преподаватель. В случае, если контрольная работа не зачтена, все исправления, которые выполняются обучающимся, приводятся в той же контрольной работе после подписи

рецензента без исправления первоначального текста и вновь представляются на проверку.

В каждом задании приведена таблица с вариантами. Номер варианта для обучающегося определяется предпоследними и последними цифрами (шифра) номера его зачетной книжки или порядковым номером списка учебной группы в журнале.

К представленным на проверку контрольным работам предъявляются следующие требования:

- в отчёте по работе необходимо указать: номер и название работы, дату выполнения, исходные теоретические положения, электрические схемы и графики, расчёты и выводы;

- все основные пункты на проверку решения задачи должны быть

подробно объяснены;

- работы выполняются от руки чернилами в тетради или набираются с применением ЭВМ на листах белой бумаги формата А4;

- в работе оставляются поля не менее 4 см для замечаний рецензента;

- рисунки, графики, схемы, в том числе и заданные условием задачи, должны быть выполнены аккуратно и в удобном для чтения масштабе;

- вычисления должны производиться с точностью до второго

десятичного знака;

- расчёт каждой исходной величины следует выполнить сначала в

общем виде, а затем в полученную формулу подставить числовые значения;

- при построении графиков оси координат следует обозначать

символами, общепринятыми для соответствующих величин, на осях наносятся масштабы выбранных единиц.

Контрольная работа засчитывается, если решения всех заданий

не содержат ошибок принципиального характера, и отвечают всем вышеперечисленным требованиям.

**Задание 1**

**Расчёт электрической цепи постоянного тока**

**Задание и условия его выполнения**

По данным табл. 1.1 определите направления и значения токов в ветвях электрической цепи постоянного тока и падения напряжений на каждом резисторе методом непосредственного применения закона Ома для участка электрической цепи, первого и второго законов Кирхгофа. Внутреннее сопротивление источников электрической энергии не учитывать.

Таблица 1.1

**Варианты заданий**

|  |  |
| --- | --- |
| Вариант 1 | |
| **D**  **C**  **B**  **A**  **ξ3**  **ξ4**  **ξ2**  **ξ1**  **R4**  **R3**  **R2**  **R1** | Определите направления и значения токов в ветвях электрической цепи постоянного тока и падения напряжений на каждом резисторе, сопротивления которых  **R1** и ЭДС источников электрической энергии **ξ** 30 В, **ξ**В, **ξ** 8 В, **ξ**В. |
| Вариант 6 | |
| **D**  **C**  **B**  **A**  **ξ3**  **ξ2**  **ξ1**  **R2**  **R1**  **R3** | Определите направления и значения токов в ветвях электрической цепи постоянного тока и падения напряжений на каждом резисторе, если **R1**  **R2** **R3**  **ξ1** **ξ2 ξ3** |
| Вариант 11 | |
| **R6**  **R5**  **R4**  **R3**  **R2**  **R1**  **ξ1**  **ξ2** | Определите направления и значения токов в ветвях электрической цепи постоянного тока и падения напряжений на каждом резисторе, сопротивления которых  **R1**  **R5** = 1,25 Ом, **R6** = 0,75 Ом и ЭДС источников электрической энергии **ξ** 10 В, **ξ**В. |
| Вариант 16 | |
| **ξ2**  **ξ1**  **R5**  **R4**  **R3**  **R2**  **R1** | Определите направления и значения токов в ветвях электрической цепи постоянного тока и падения напряжений на каждом резисторе, сопротивления которых  **R1** = 0,5 Ом, **R2** = **R3** = 4 Ом, **R4** = 1,5 Ом **R5** = 2 Ом. ЭДС источников электрической энергии **ξ1** = 20 В, **ξ2** = 25 В. |
| Вариант 21 | |
| **ξ2**  **ξ1**  **R6**  **R5**  **R4**  **R3**  **R2**  **R1** | Определите направления и значения токов в ветвях электрической цепи постоянного тока и падения напряжений на каждом резисторе, сопротивления которых  **R1** = 7 Ом, **R2** = 1,75 Ом, **R3** = 0,25 Ом,  **R4** = 3 Ом, **R5** = 3 Ом, **R6** = 2 Ом,  ЭДС источников электрической энергии  **ξ1** = 15 В, **ξ2** = 20 В. |

**Пример решения задания и** о**сновные элементы теории расчёта**

Рассмотрим пример решения задания, условия которого показаны на рис. 1.1.

Определите направление и значения токов в ветвях

электрической цепи постоянного тока и падение

напряжения на каждом резисторе,

если **R1**10 Ом, **R2** Ом, **R3**  Ом, и ЭДС

источников электрической энергии

Внутреннее сопротивление источников

электрической энергии не учитывать.

**A**

**D**

**C**

**B**

**ξ3**

**ξ2**

**ξ1**

**R2**

**R3**

**R1**

Рис. 1.1. Схема электрической цепи, задание

Схема электрической цепи содержит 3 ветви, **АВС**, **АС** и **АDС** (***m*** = 3) и два узла, **А** и **С** (***n*** = 2). По каждой ветви проходит свой ток, следовательно, число неизвестных токов равно числу ветвей, и для определения токов необходимо составить ***m***уравнений. При этом по первому закону Кирхгофа составляют уравнения для (***n***–1) узлов. Недостающие ***m***–(***n***–1) уравнения получают по второму закону Кирхгофа, составляя их для ***m****–*(***n***–1) взаимно независимых контуров.

Расчёт электрической цепи постоянного тока рекомендуется выполнять в определенной последовательности.

**I**. Найдём значения токов в ветвях электрической цепи и определим их направление:

1. Выберем условно направление токов в цепи таким образом, чтобы в узлах электрической цепи были токи, подходящие к узлу, и токи, отходящие от узла. (Движение зарядов в цепи происходит так, что ни в одном из узлов они не накапливаются). Пусть в резисторе идёт ток от **В** к **А**, в резисторе идёт ток от **А** к **С** и в резисторе идёт токот **С** к **D**.

2. Составим уравнение токов по первому закону Кирхгофа, согласно которому сумма сил токов, направленных к узлу электрической цепи, равна сумме сил токов, направленных от этого узла. Необходимо составить одно уравнение, например, для узла **А**:

**= +** (1.1)

3. Составим уравнения падений напряжений в замкнутых контурах по второму закону Кирхгофа.

В замкнутом контуре электрической цепи алгебраическая сумма падений напряжений равна алгебраической сумме электродвижущих сил (ЭДС) этого контура.

= или - = 0.

В нашем примере необходимо составить два уравнения. Для этого выберем произвольно направление обхода контуров. Пусть направление обхода определяется последовательностью написания букв, обозначающих контур.

Для определения знака ЭДС источников электрической энергии применим следующие правила:

- если при обходе электрической цепи переходят от отрицательного полюса источника электрической энергии к положительному, то ЭДС берётся со знаком плюс;

- если при обходе электрической цепи переходят от положительного полюса источника электрической энергии к отрицательному, то ЭДС берётся со знаком минус.

Для определения знака падения напряжения падения на каждом резисторе применим следующие правила:

- если направление обхода со направлено с направлением электрического тока в резисторе, то падение напряжения на резисторе берётся со знаком плюс;

- если направление обхода противоположно направлению электрического тока в резисторе, то падение напряжения на резисторе берётся со знаком минус.

Для первого контура **АВСА** уравнение имеет вид:

- **- · + ξ3 - · +ξ2 = 0**.

Подставляя значения известных величин, получаем,

- 10 - 10 **+** 26 - 7+ 25 = 0 и окончательно

10 **+** 7**=** 41 (1.2)

Для второго контура **АСDА** уравнение имеет вид:

**- ξ3+ · +· =** 0.

Подставляя значения известных величин, получаем

- 26 + 7 **+ 4 =** 0 и окончательно

7 **+** 4 **=** 26 (1.3)

4. Составляем систему из уравнений (1.1), (1.2) и (1.3)

(1.4)

Решая систему (1.4) известными математическими методами, получаем (1.5)

Если в результате расчётов численное значение тока получено со знаком «плюс», это означает, что реальное направление тока данной ветви совпадает с направлением принятому в начале расчета. В нашем примере выбранное направление тока совпадает с реальным.

Если в результате расчётов численное значение тока получено со знаком «минус», это означает, что реальное направление тока данной ветви противоположно принятому в начале расчёта.

5. Проверяем правильность расчетов.

Для проверки правильности произведенных расчетов необходимо подставить полученные численные значения токов в полученные ранее уравнения.

**II**. Найдём значения падений напряжений на каждом резисторе по формуле **U= I·R**.

Получаем:

**Задание 2**

**Расчёт параметров однофазной электрической цепи переменного тока**

**Задание и условия его выполнения**

По данным табл. 2.1, 2.2 и 2.3 выполните расчёт электрической цепи переменного тока, содержащей активные сопротивления и , катушку индуктивности **L**и конденсатор **С**, которые соединены последовательно

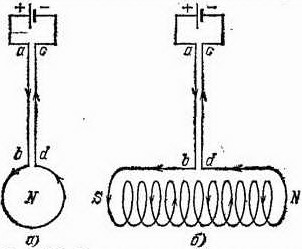
(рис. 2.1). Сила тока в цепи изменяется по закону **i** =

ο

ο

**C**

**L**



1

2

3

4

5

Рис. 2.1. Схема электрической цепи

Определите:

- полное сопротивление электрической цепи **Z**,

- действующее значение силы тока **I**,

- падения напряжений на сопротивленияхи , на катушке индуктивности **L**и конденсаторе **С,**

**-**  коэффициент мощности электрической цепи,

- активную **Р**, реактивную **Q** и полную **S** мощности электрической цепи.

Постройте в масштабе векторную диаграмму напряжений.

Определите напряжения между точками (1; 4) и (2; 4) электрической цепи и углы сдвига по фазе между напряжениями и током на этих участках.

Напишите зависимость мгновенного значения питающего напряжения от времени.

Определите резонансную частоту электрической цепи.

Таблица 2.1

**Варианты заданий**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Последняя цифра шифра | Предпоследняя цифра шифра | | | | | | | | | | | |
| 0 | | | | | | 1 | | | | | |
|  | ,  Ом | **,**  Ом | **L,**  мГн | **C,**  мкФ | **ω,**  рад/с |  | **,**  Ом | **,**  Ом | **L,**  мГн | **C,**  мкФ | **ω,**  рад/с |
| 0 | - | - | - | - | - | - | 120 | 20 | 18 | 300 | 1500 | 628 |
| 1 | 75 | 4 | 6 | 120 | 9000 | 628 | 125 | 20 | 20 | 290 | 1600 | 314 |
| 2 | 80 | 6 | 6 | 130 | 500 | 314 | 130 | 16 | 14 | 280 | 1700 | 628 |
| 3 | 85 | 8 | 4 | 140 | 1100 | 628 | 135 | 14 | 12 | 270 | 1800 | 314 |
| 4 | 90 | 6 | 14 | 150 | 1200 | 314 | 140 | 12 | 10 | 260 | 1900 | 628 |
| 5 | 95 | 10 | 12 | 160 | 6000 | 628 | 145 | 14 | 6 | 250 | 2000 | 314 |
| 6 | 100 | 12 | 14 | 170 | 7000 | 314 | 150 | 4 | 8 | 240 | 2100 | 628 |
| 7 | 105 | 14 | 16 | 180 | 1300 | 628 | 155 | 6 | 6 | 230 | 2200 | 314 |
| 8 | 110 | 18 | 20 | 190 | 1400 | 314 | 160 | 6 | 4 | 220 | 2300 | 628 |
| 9 | 115 | 20 | 20 | 200 | 1500 | 628 | 165 | 4 | 2 | 210 | 2400 | 314 |

Таблица 2.2

**Варианты заданий**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Последняя цифра шифра | Предпоследняя цифра шифра | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | 3 | | | | | |
|  | **,**  Ом | **,**  Ом | **L,**  мГн | **C,**  мкФ | **ω,**  рад/с |  | **,**  Ом | **,**  Ом | **L,**  мГн | **C,**  мкФ | **ω,**  рад/с |
| 0 | 70 | 2 | 4 | 300 | 2500 | 314 | 220 | 20 | 18 | 120 | 3500 | 628 |
| 1 | 75 | 4 | 6 | 290 | 2600 | 628 | 225 | 20 | 20 | 130 | 3600 | 314 |
| 2 | 80 | 6 | 6 | 280 | 2700 | 314 | 230 | 16 | 14 | 140 | 3700 | 628 |
| 3 | 85 | 8 | 4 | 270 | 2800 | 628 | 235 | 14 | 12 | 150 | 3800 | 314 |
| 4 | 90 | 6 | 14 | 260 | 2900 | 314 | 240 | 12 | 10 | 160 | 3900 | 628 |
| 5 | 95 | 10 | 12 | 250 | 3000 | 628 | 245 | 14 | 6 | 170 | 4000 | 314 |
| 6 | 100 | 12 | 14 | 240 | 3100 | 314 | 250 | 4 | 8 | 180 | 4100 | 628 |
| 7 | 105 | 14 | 16 | 230 | 3200 | 628 | 255 | 6 | 6 | 190 | 4200 | 314 |
| 8 | 110 | 18 | 20 | 220 | 3300 | 314 | 260 | 6 | 4 | 200 | 4300 | 628 |
| 9 | 115 | 20 | 20 | 210 | 3400 | 628 | 265 | 4 | 2 | 110 | 4400 | 314 |

Таблица 2.3

**Варианты заданий**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Последняя цифра шифра | Предпоследняя цифра шифра | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | 5 | | | | | |
|  | **,**  Ом | **,**  Ом | **L,**  мГн | **C,**  мкФ | **ω,**  рад/с |  | **,**  Ом | **,**  Ом | **L,**  мГн | **C,**  мкФ | **ω,**  рад/с |
| 0 | 70 | 2 | 4 | 110 | 8000 | 314 | 120 | 20 | 18 | 300 | 1500 | 628 |
| 1 | 75 | 4 | 6 | 120 | 9000 | 628 | 125 | 20 | 20 | 290 | 1600 | 314 |
| 2 | 80 | 6 | 6 | 130 | 500 | 314 | 130 | 16 | 14 | 280 | 1700 | 628 |
| 3 | 85 | 8 | 4 | 140 | 1100 | 628 | 135 | 14 | 12 | 270 | 1800 | 314 |
| 4 | 90 | 6 | 14 | 150 | 1200 | 314 | 140 | 12 | 10 | 260 | 1900 | 628 |
| 5 | 95 | 10 | 12 | 160 | 6000 | 628 | 145 | 14 | 6 | 250 | 2000 | 314 |
| 6 | 100 | 12 | 14 | 170 | 7000 | 314 | 150 | 4 | 8 | 240 | 2100 | 628 |
| 7 | 105 | 14 | 16 | 180 | 1300 | 628 | 155 | 6 | 6 | 230 | 2200 | 314 |
| 8 | 110 | 18 | 20 | 190 | 1400 | 314 | 160 | 6 | 4 | 220 | 2300 | 628 |
| 9 | 115 | 20 | 20 | 200 | 1500 | 628 | 165 | 4 | 2 | 210 | 2400 | 314 |

**Пример решения задания и** о**сновные элементы теории расчёта**

Порядок расчёта, установленный для электрической цепи при последовательном соединении катушки индуктивности и конденсатора, можно применить и для цепи, содержащей произвольное число катушек и конденсаторов, соединённых последовательно.

На рис. 2.1 дана схема неразветвленной электрической цепи, состоящей из четырёх участков:, **L**, и **С**.

Для примера, дано:

- сила тока в цепи изменяется по закону **i** =

- циклическая частота **ω =** 314

- питающее напряжение **u** изменяется по косинусоидальному закону,

- амплитуда питающего напряжения = 56,57 В,

- активные сопротивления **= =** 3 Ом,

**-** индуктивность катушки **L =** 6,37· Гн,

**-** ёмкость конденсатора **С =** 3,16· Ф.

Расчёт электрической цепи рекомендуется выполнять в следующей последовательности.

1. Найдём значения реактивных сопротивлений, индуктивного и емкостного .

Индуктивное сопротивление определяется по формуле

= **ω L** (2.1)

Подставляя значения известных величин, получаем 2 Ом.

Емкостное сопротивление определяется по формуле:

= (2.2)

Подставляя значения известных величин, получаем10 Ом.

2. Найдём полное сопротивление электрической цепи **Z** по формуле:

**Z =** . (2.3)

Подставляя значения известных величин, получаем **Z =** 10 Ом.

3. Найдём действующее значение питающего напряжения по формуле:

**U =** . (2.4)

Подставляя значения известных величин, получаем **U =** 40 В.

4. По закону Ома найдём действующее значение силы тока **I** в электрической цепи:

**I =** ,(2.5)

Подставляя значения известных величин, получаем **I =** 4 А.

5. Найдём действующие значения падений напряжений на каждом участке электрической цепи, которые определяются произведением действующего значения силы тока на соответствующее сопротивление:

= **I**·**𝚁**; = **I**·; = **I**·. (2.6)

Подставляя значения известных величин в формулы (2.6) получаем

= = 12 В, **=** 8 В, = 40 В.

6. Построим в масштабе векторную диаграмму напряжений.

Общее мгновенное значение питающего напряжения в последовательной электрической цепи **u**, в соответствии со вторым законом Кирхгофа, можно представить суммой мгновенных значений падений напряжений на отдельных участках цепи:

**u = + + +** (2.7)

Принимая во внимание несовпадения по фазе падений напряжений на активных и реактивных сопротивлениях, общее действующее значение питающего напряжения получим векторным сложением:

= + + + . (2.8)

Для построения векторной диаграммы напряжений:

- проведём горизонтально ось токов, которая будет началом отсчёта фазовых соотношений падений напряжений на отдельных участках цепи;

- все вектора падений напряжений на активных сопротивлениях проведём горизонтально, параллельно оси токов (колебания силы тока и напряжения на активных участках электрической цепи совпадают по фазе);

- вектора падений напряжений на индуктивных сопротивлениях проведём

вертикально вверх (колебания напряжения на индуктивных участках электрической цепи опережают по фазе колебания силы тока в них на 90

градусов);

- вектора падений напряжений на емкостных сопротивлениях проведём вертикально вниз (колебания напряжения на емкостных участках электрической цепи отстают по фазе от колебания силы тока в них на 90 градусов).

**С**

**В**

**А**

= = 12 В,

= = 12 В,

= = 40 В.

**U =**  = 40 B,

= 24 В,

= 32 В.

**I**

**40 В**

40 В

8 В

12 В

12 В

**5**

**4**

**3**

**2**

**1**

Рис. 2.2. Векторная диаграмма напряжений

7. Определение напряжений между заданными точками электрической цепи и углов сдвига по фазе между напряжениями и током на этих участках.

При таком построении векторной диаграммы напряжений можно найти напряжение по величине и фазе между любыми точками электрической цепи, проведя вектор на диаграмме, соединяющий эти точки.

Модуль этого вектора находится по теореме Пифагора, как длина гипотенузы соответствующего прямоугольного треугольника. Угол сдвига по фазе между напряжением и током на участке электрической цепи находится, применяя понятия тригонометрических функций острого угла прямоугольного треугольника.

Например,

- = 25,3 (В),  = ;

- = 14,4 (В), = .

8. Определение активной **Р**, реактивной **Q** и полной **S** мощности электрической цепи.

Рассмотрим треугольник **АВС**, выделенный на векторной диаграмме напряжений, который представляет собой треугольник напряжений, характеризующих электрическую цепь в целом.

Модуль вектора действующего значения падения напряжения на активных сопротивлениях электрической цепи = 24 В соответствует длине отрезка **АВ**.

Модуль вектора действующего значения падения напряжения на реактивных сопротивлениях электрической цепи = 32 В соответствует длине отрезка **ВС**.

Модуль вектора действующего значения питающего напряжения электрической цепи **U =**  = 40 B соответствует длине отрезка **АС**.

Угол ВАС, угол , характеризует фазовые соотношения колебаний силы тока и питающего напряжения. В нашем примере

угол  **=** ).

Угол отсчитывается по часовой стрелке, 0, это свидетельствует о том, что емкостное сопротивление больше индуктивного.

Если умножить эти действующие значения напряжений и **U** на действующее значение силы тока **I**, то получим соответствующие значения мощностей электрической цепи:

- активная мощность электрической цепи **P** = · **I**, **P** = 96 Вт;

- реактивная мощность электрической цепи **Q** = · **I**, **Q** = 128 вар;

- полная мощность электрической цепи **S** = **U· I**, **S** = 160 ВА.

Построив треугольник, стороны которого будут равны значениям **P**, **Q** и **S**, получим треугольник мощностей, характеризующих электрическую цепь в целом.

Если разделить эти действующие значения напряжений и **U** на действующее значение силы тока **I**, то получим соответствующие значения сопротивлений электрической цепи:

- активное сопротивление электрической цепи **R =**, **R =** 6 Ом,

- реактивное сопротивление электрической цепи **Х =** , **Х =** 8 Ом,

- полное сопротивление электрической цепи **Z =**  **Z =** 10 Ом.

Построив треугольник, стороны которого будут равны значениям **R**, **Х** и **Z**, получим треугольник сопротивлений, характеризующих электрическую цепь в целом. Очевидно, что треугольники напряжений, мощностей и сопротивлений подобны межу собой.

9. Определение коэффициента мощности электрической цепи,

Из подобия треугольников напряжений, мощностей и сопротивлений следует, что коэффициент мощности электрической цепи,, может определяться по формулам:

**=** ,  **=** ,  **=** . (2.9)

Подставляя значения известных величин в формулы (2.9) получаем

**=** 0,6.

10. Определение зависимости мгновенного значения питающего напряжения от времени.

Зависимость мгновенного значения питающего напряжения от времени имеет вид:

**u =** (2.10)

Подставляя в выражение (2.10) известные величины получаем:

**u =** 56, 57.

11. Определение резонансной частоты электрической цепи.

Любая электрическая цепь, не зависимо от того, есть в ней катушки индуктивностей и конденсаторы или их нет, имеет индуктивность **L** и

ёмкость **C**. Любая электрическая цепь имеет свой колебательный контур, свою собственную частоту электромагнитных колебаний , определяемую по формуле:

**=**  (2.11)

Резонанс электрической цепи возникает при определённой для данной цепи частоте источника электрической энергии (частоте вынужденных электромагнитных колебаний), которую называют резонансной частотой .

Режим работы электрической цепи, при котором собственная частота электромагнитных колебаний равна частоте вынужденных электромагнитных колебаний , называют резонансом электрической цепи.

При резонансе емкостное сопротивление равно индуктивному  **=** .

Полное сопротивление электрической цепи **Z** становится минимальным и равным активному и, по закону Ома для цепи переменного тока, сила тока в электрической цепи возрастает. Возрастают и напряжения на емкостном и индуктивном сопротивлениях, находящиеся в противофазе. Поэтому этот резонанс электрической цепи называют резонансом напряжений.

Резонансная частота электрической цепи определяется по формуле:

**=** . (2.12)

Для условий задачи  **=** 700 .

**Задание 3**

**Расчёт параметров несимметричной трёхфазной электрической цепи переменного тока при соединении нагрузки «звездой»**

**Задание и условия его выполнения**

По данным табл. 3.1 выполните расчёт трёхфазной электрической цепи переменного тока, содержащей активное сопротивление **R**, катушки индуктивности **L1**и **L2**,конденсатор **С**, которые соединены по схеме «звезда»

(рис. 3.1).

Действующее значение линейного напряжения = 380 В, циклическая частота **ω =** 314

**N**

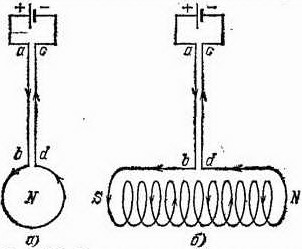
**L1**

**А**

**C**

**L2**

**R**



**С**

**В**

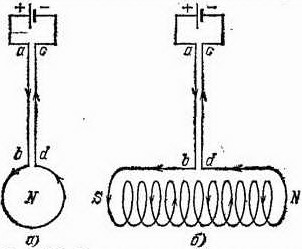


Рис. 3.1. Схема трехфазной электрической цепи

Определите линейные и фазные токи, полные мощности **S**каждой фазы. По результатам расчёта постройте векторную диаграмму токов и напряжений, определите ток в нейтральном проводе .

Таблица 3.1

**Варианты заданий**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Последняя цифра шифра | Предпоследняя цифра шифра | | | | | | | |
| 0 | | | | 1 | | | |
| Фаза **А** | Фаза **В** | Фаза **С** | | Фаза **А** | Фаза **В** | Фаза **С** | |
| , Ом | , Ом | **R**, Ом | , Ом | , Ом | , Ом | **R**, Ом | , Ом |
| 0 | - | - | - | - | 25 | 10 | 15 | 20 |
| 1 | 18 | 15 | 12 | 10 | 24 | 11 | 16 | 21 |
| 2 | 17 | 16 | 13 | 11 | 23 | 12 | 17 | 22 |
| 3 | 16 | 17 | 14 | 12 | 22 | 13 | 18 | 23 |
| 4 | 15 | 18 | 15 | 13 | 21 | 14 | 19 | 24 |
| 5 | 14 | 19 | 16 | 14 | 20 | 15 | 20 | 25 |
| 6 | 13 | 20 | 17 | 15 | 19 | 16 | 21 | 20 |
| 7 | 12 | 21 | 18 | 16 | 18 | 17 | 22 | 22 |
| 8 | 11 | 22 | 19 | 17 | 17 | 18 | 23 | 24 |
| 9 | 10 | 22 | 20 | 18 | 16 | 20 | 24 | 25 |
| Последняя цифра шифра | Предпоследняя цифра шифра | | | | | | | |
| 2 | | | | 3 | | | |
| Фаза **А** | Фаза **В** | Фаза **С** | | Фаза **А** | Фаза **В** | Фаза **С** | |
| , Ом | , Ом | **R**, Ом | , Ом | , Ом | , Ом | **R**, Ом | , Ом |
| 0 | 15 | 20 | 16 | 10 | 15 | 25 | 10 | 20 |
| 1 | 16 | 21 | 17 | 11 | 16 | 24 | 11 | 18 |
| 2 | 17 | 22 | 16 | 12 | 17 | 23 | 12 | 20 |
| 3 | 18 | 23 | 15 | 13 | 18 | 22 | 13 | 16 |
| 4 | 19 | 24 | 14 | 14 | 19 | 21 | 14 | 15 |
| 5 | 20 | 25 | 13 | 15 | 20 | 20 | 15 | 14 |
| 6 | 21 | 26 | 12 | 16 | 21 | 19 | 16 | 13 |
| 7 | 22 | 27 | 11 | 17 | 22 | 18 | 17 | 12 |
| 8 | 23 | 20 | 10 | 18 | 23 | 17 | 18 | 11 |
| 9 | 24 | 28 | 10 | 20 | 24 | 16 | 20 | 10 |

**Пример решения задания и** о**сновные элементы теории расчёта**

На рис. 3.1 дана схема несимметричной трехфазной электрической цепи переменного тока, содержащей активное сопротивление **R**, катушки индуктивности **L1**и **L2**,конденсатор **С**, которые соединены по схеме «звезда».

Для примера, дано:

- линейное напряжение = 380 В,

- циклическая частота **ω =** 314

- в фазе **А**, индуктивное сопротивление катушки **L1** равно 20 Ом,

= 20 Ом,

- в фазе **В**, емкостное сопротивление конденсатора **С** равно 15 Ом,

= 15 Ом,

- в фазе **С**, активное сопротивление **R** равно20 Ом, **R =** 20 Ом, а индуктивное сопротивление катушки **L2** равно 25 Ом, = 25 Ом.

Определим:

- линейные и фазные токи каждой фазы.

- полные мощности **S** каждой фазы.

По результатам расчёта построим векторную диаграмму токов и напряжений.

Определим ток в нейтральном проводе .

Расчёт электрической цепи рекомендуется выполнять в следующей последовательности.

1. Рассмотрим основные понятия символического метода выражения характеристик электрических цепей переменного тока.

Методы расчёта электрических цепей переменного тока при помощи векторных диаграмм основаны на изображении синусоидальных величин векторами. Вектора характеризуются двумя действительными величинами, модулем и направлением. Например, для определения в произвольный момент времени **t** значения переменного тока в цепи **i** , заданной частоты , изменяющегося по закону **i** = необходимо знать два числа, например амплитуду и начальную фазу **φ**.

Однако вместо двух действительных чисел можно пользоваться одним комплексным числом. Применение комплексных чисел упрощает расчёты электрических цепей переменного тока и находит широкое применение.

Это даёт основание от графоаналитического (векторного) выражения синусоидальных величин, например, напряжений и токов, перейти к аналитическому выражению их комплексными числами, а операции с векторами заменить алгебраическими действиями.

**0**

А = х+iу

**х**

**iу**

Рис. 3.2. К вопросу о выражении вектора комплексным числом

Каждому вектору в комплексной числовой плоскости (рис. 3.2) соответствует комплексное число , которое можно выразить в форме:

- алгебраической  **=** х + iу;

- тригонометрической  **=** А + iА;

- показательной  **=** А где

А - модуль комплексного числа ,

**–** аргумент комплексного числа

**i –** мнимая единица, по определению = -1.

Мнимая единица **i** представляет собой поворотный множитель, при умножении на который, вектор, изображающий действительное число, поворачивается на угол против направления движения часовой стрелки, то есть в положительную сторону.

Физические величины, выраженные комплексным числом, принято называть **комплексом** этих величин и отмечать их чёрточкой над их буквенными обозначениями.

Для решения рассматриваемой задачи воспользуемся комплексным способом расчёта.

2. Найдём комплексные сопротивления фаз.

В фазе **А**, индуктивное сопротивление катушки **L1** равно 20 Ом,

= 20 Ом.

Комплексное сопротивление для фазы **А**, содержащей только катушку индуктивности **L1**, в комплексной форме выражается только мнимым положительным числом

**= i**, (Ом). (3.1)

В фазе **В**, емкостное сопротивление конденсатора **С** равно 15 Ом,

= 15 Ом.

Комплексное сопротивление для фазы **В**, содержащей только конденсатора **С**, в комплексной форме выражается только мнимым отрицательным числом

**= i**,  **= - i**15 = 15(Ом). (3.2)

В фазе **С**, активное сопротивление **R** равно20 Ом, **R =** 20 Ом, а индуктивное сопротивление катушки **L2** равно 25 Ом, = 25 Ом.

Комплексное сопротивление для фазы **С**, содержащейпоследовательно соединённые резистор **R** и катушку индуктивности **L2**, в комплексной форме выражается комплексным числом, действительная часть которого равна активному сопротивлению, а мнимая часть реактивному сопротивлению этого участка.

**= R + iХ = ·** ,  **=** ·,

**=** 32, = ,  **=** 32·. (3.3)

Так как данная трёхфазная электрическая цепь соединена «звездой», то справедливы соотношения

= и = · отсюда токи в фазах:

3. Определяем фазное напряжение

= , = = 220 (В).

4. Определяем комплексы токов в фазах **А**, **В** и **С** по закону Ома.

**=** ,  **=** 220· 20 = 11 (А). (3.4)

**= =** 220· 15 = 14,7 (А). (3.5)

**=**   **=** 220· 32 = 6,9 (А). (3.6)

5. Определяем мощности в фазах **А**, **В** и **С**.

Полные мощности в фазах **А**и **B**реактивные, так как там отсутствуют резистивные элементы, мощность в фазе **С**состоит из двух мощностей – активной и реактивной, зная сопротивления каждой фазы и ток, их можно определить следующим образом:

= = ·, = ·20 = 2420 (ВА),

= = ·, = ·15 = 3241,4 (ВА),

= ·, = ·32 = 1523,5 (ВА). (3.7)

6. Строим векторную диаграмму.

= 6,9 A

= 14,7 A

= 11 A

- 171°

- 90°

210°

Рис. 3.3. Векторная диаграмма токов и напряжений

Как видно из рисунка, после сложения векторов:

+ + = , (3.8)

получаем ток в нейтральном проводе = 27 А.

**Задание 4**

**Расчёт однофазного трансформатора с сердечником стержневого типа для различных частот источников электрической энергии**

**Задание и условия его выполнения**

Произвести расчет однофазного трансформатора с сердечником стержневого типа с учетом частоты электрической сети.

Для выполнения расчёта взят трансформатор следующей конструкцией. Основными частями трансформатора являются магнитопровод и обмотки.

Магнитопровод состоит из стержней и ярм. На двух вертикальных стержнях (рис. 4.1) располагаются обмотки, сверху и снизу стержни замкнуты ярмами. Ярма служат для соединения магнитопровода в замкнутую систему. Магнитопровод имеет шихтованную конструкцию, то есть он состоит из тонких стальных пластин, покрытых с двух сторон изолирующей плёнкой (например, лаком). Пластины стягиваются шпильками (болтами), пропущенными в изолирующих втулках. Такая конструкция магнитопровода обусловлена стремлением ослабить в нём вихревые токи, а, следовательно, уменьшить величину потерь в трансформаторе.

Для изготовления магнитопроводов трансформаторов применяют тонколистовую электротехническую сталь. Электротехническая сталь представляет собой сталь, в состав которой входит от 4,0 до 4,8% кремния по весу. Присутствие кремния улучшает магнитные свойства стали и увеличивает её удельное сопротивление вихревым токам. При частоте переменного тока 50 Гц применяют листы толщиной 0,5 или 0,35 мм. При частотах 400 Гц и более применяют листы толщиной от 0,2 до 0,08 мм.



Рис. 4.1.Трансформаторный магнитопровод стержневого типа:

а) Г- образной формы; б) П - образной формы; в) из отдельных пластин

По данным табл. 4.1 для заданных напряжений первичной и вторичной обмоток, мощности нагрузки , определить:

- площадь поперечного сечения сердечника трансформатора (),

число витков первичной обмотки,

- число витков вторичной обмотки ,

- диаметры обмоточных проводов первичной и вторичной обмоток и (мм).

Подобрать стандартный тип сердечника и проверить условие размещения катушки в окне сердечника.

Таблица 4.1

**Варианты заданий**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Последняя цифра шифра | Предпоследняя цифра шифра | | | | | | | |
| 0 | | | | 1 | | | |
| В | В | , ВА | **𝛎**, Гц | , В | , В | , ВА | **𝛎**, Гц |
| 0 | **-** | **-** | **-** | **-** | 220 | 12 | 100 | 50 |
| 1 | 220 | 24 | 120 | 50 | 380 | 24 | 80 | 50 |
| 2 | 380 | 27 | 80 | 50 | 220 | 27 | 120 | 50 |
| 3 | 220 | 32 | 140 | 50 | 380 | 32 | 80 | 50 |
| 4 | 380 | 36 | 60 | 50 | 220 | 36 | 140 | 50 |
| 5 | 220 | 12 | 200 | 400 | 380 | 12 | 220 | 400 |
| 6 | 380 | 24 | 220 | 400 | 220 | 24 | 180 | 400 |
| 7 | 220 | 27 | 240 | 400 | 380 | 27 | 260 | 400 |
| 8 | 380 | 32 | 280 | 400 | 220 | 32 | 220 | 400 |
| 9 | 220 | 36 | 240 | 400 | 380 | 36 | 200 | 400 |
| Последняя цифра шифра | Предпоследняя цифра шифра | | | | | | | |
| 2 | | | | 3 | | | |
| В | В | , ВА | **𝛎**, Гц | В | В | , ВА | **𝛎**, Гц |
| 0 | 220 | 12 | 80 | 50 | 220 | 12 | 90 | 50 |
| 1 | 380 | 24 | 100 | 50 | 380 | 24 | 70 | 50 |
| 2 | 220 | 27 | 110 | 50 | 220 | 27 | 110 | 50 |
| 3 | 380 | 32 | 90 | 50 | 380 | 32 | 100 | 50 |
| 4 | 220 | 36 | 150 | 50 | 220 | 36 | 130 | 50 |
| 5 | 380 | 12 | 210 | 400 | 380 | 12 | 230 | 400 |
| 6 | 220 | 24 | 190 | 400 | 220 | 24 | 200 | 400 |
| 7 | 380 | 27 | 270 | 400 | 380 | 27 | 280 | 400 |
| 8 | 220 | 32 | 230 | 400 | 220 | 32 | 210 | 400 |
| 9 | 380 | 36 | 210 | 400 | 380 | 36 | 180 | 400 |

**Справочные данные**

Таблица 4.2

**Диаметры и расчётные сечения обмоточных проводов**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номинальный  диаметр провода  , мм | Диаметр провода с изоляцией  , мм | Номинальный  диаметр провода  , мм | Диаметр провода с изоляцией  , мм | Номинальный  диаметр провода  , мм | Диаметр провода с изоляцией  , мм |
| 0,3 | 0,44 | 0,63 | 0,79 | 1,25 | 1,45 |
| 0,315 | 0,45 | 0,67 | 0,84 | 1,32 | 1,52 |
| 0,355 | 0,49 | 0,75 | 0,94 | 1,4 | 1,6 |
| 0,38 | 0,52 | 0,8 | 0,99 | 1,5 | 1,68 |
| 0,4 | 0,54 | 0,85 | 1,04 | 1,6 | 1,69 |
| 0,45 | 0,6 | 0,9 | 1,09 | 1,7 | 2,0 |
| 0,475 | 0,63 | 0,95 | 1,14 | 1,8 | 2,1 |
| 0,5 | 0,65 | 1,0 | 1,2 | 1,9 | 2,2 |
| 0,53 | 0,69 | 1,06 | 1,26 | 2,0 | 2,3 |
| 0,56 | 0,72 | 1,12 | 1,32 | 2,12 | 2,4 |
| 0,6 | 0,76 | 1,18 | 1,38 | 2,26 | 2,5 |

Таблица 4.3

**Типовые размеры магнитопроводов трансформаторов**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Тип сердечника | Ширина стержня  а, мм | Ширина окна  с, мм | Высота окна  d, мм |
| ПЛ 12,5 х 16 - 25 | 12,5 | 16 | 25 |
| ПЛ 12,5 х 16 - 32 | 12,5 | 16 | 32 |
| ПЛ 12,5 х 16 - 40 | 12,5 | 16 | 40 |
| ПЛ 12,5 х 16 - 50 | 12,5 | 16 | 50 |
| ПЛ 12,5 х 25 - 30 | 12,5 | 20 | 30 |
| ПЛ 12,5 х 25 - 40 | 12,5 | 20 | 40 |
| ПЛ 12,5 х 25 - 50 | 12,5 | 20 | 50 |
| ПЛ 12,5 х 25 - 60 | 12,5 | 20 | 60 |
| ПЛ 16 х 32 - 40 | 16 | 25 | 40 |
| ПЛ 16 х 32 - 50 | 16 | 25 | 50 |
| ПЛ 16 х 32 - 65 | 16 | 25 | 65 |
| ПЛ 16 х 32 - 80 | 16 | 25 | 80 |
| ПЛ 20 х 40 - 50 | 20 | 32 | 50 |
| ПЛ 20 х 40 - 60 | 20 | 32 | 60 |
| ПЛ 20 х 40 - 80 | 20 | 32 | 80 |
| ПЛ 20 х 40 - 100 | 20 | 32 | 100 |
| ПЛ 25 х 50 - 65 | 25 | 40 | 65 |
| ПЛ 25 х 50 - 80 | 25 | 40 | 80 |
| ПЛ 25 х 50 - 100 | 25 | 40 | 100 |
| ПЛ 25 х 50 - 120 | 25 | 40 | 120 |
| ПЛ х 64 - 80 | 32 | 50 | 80 |
| ПЛ х 64 - 100 | 32 | 50 | 100 |
| ПЛ х 64 - 130 | 32 | 50 | 130 |
| ПЛ х 64 - 160 | 32 | 50 | 160 |

**Пример решения задания и** о**сновные элементы теории расчёта**

Для примера, дано:

- напряжение в первичной обмотке = 380 В,

- напряжение во вторичной обмотке = 12 В,

- потребляемая мощность нагрузки = 220 ВА,

- максимальное значение магнитной индукции в сердечнике = 1,15 Тл,

- коэффициент полезного действия (КПД) трансформатора = 0,85,

- допустимая плотностью тока для медного провода j = 4,5 А,

- частота источника электрической энергии **𝛎** = 400 Гц,

- коэффициент заполнения окна магнитопровода трансформатора проводами обмоток  **=** 0,8,

- табл. 4.1, табл. 4.2 и табл. 4.3,

- коэффициент увеличения числа витков вторичной обмотки = 0,1.

Расчёт силовых трансформаторов мощностью до 300 Вт рекомендуется выполнять в следующей последовательности.

1. Находим мощность, потребляемую трансформатором из электрической сети.

Зная напряжение и наибольший ток, который должна давать вторичная обмотка ( и ), находим потребляемую мощность нагрузки:

=

В задании эта мощность дана в табл. 4.1.

Далее, принимая во внимание, что коэффициент полезного действия (КПД) трансформатора, небольшой мощности, бывает порядка от 80 до 90%, определяем мощность, потребляемую трансформатором из электрической сети по формуле:

= = , (4.1)

где - мощность (ВА), потребляемая трансформатором из электрической сети,

- потребляемая мощность (ВА) нагрузки,

**-** (КПД) трансформатора, который берётся равным 0,8 0,9.

Подставляя в выражение (4.1) известные величины получаем:

= 220 0,85 = 259 (ВА), 260 ВА.

2. Находим площадь поперечного сечения сердечника трансформатора.

Мощность в трансформаторе передаётся из первичной обмотки во вторичную через магнитный поток в сердечнике. Поэтому от величины мощности зависит площадь поперечного сечения сердечника трансформатора Для сердечника из нормальной электротехнической стали можно рассчитать площадь поперечного сечения сердечника по формуле:

= 1,15 , (4.2)

где в квадратных сантиметрах, а – в вольт-амперах.

Подставляя в выражение (4.2) известные величины получаем:

= 1,15 18,5 ().

3. Находим расчётное число витков в первичной и вторичной обмотках.

При подключении первичной обмотки к источнику переменного тока в витках этой обмотки протекает переменный электрический ток, который создаёт в магнитопроводе переменный магнитный поток, изменяющийся по закону:

**Ф =**

Согласно закону электромагнитной индукции, мгновенное значение ЭДС индукции в любом витке первичной или вторичной обмотках одинаково и определяется зависимостью: **е =** , где  **= -** амплитуда ЭДС. в одном витке. Действующее значение ЭДС индукции в любом витке определяется зависимостью  **= =** 4,44𝛎. Отсюда действующее значение ЭДС индукции в первичной обмотке определяется зависимостью = 4,44𝛎, а во вторичной - = 4,44𝛎. Отсюда следует, что расчётное число витков первичной обмотки и вторичной обмотки можно опередить по формулам:

**=** ,  **=** , (4.3)

где для трансформаторов, работающих на частоте 50 Гц максимальное значение магнитной индукции в сердечнике берётся равным от 1,3 до 1,35 Тл, а для трансформаторов, работающих на частоте 400 Гц максимальное значение магнитной индукции в сердечнике берётся равным от 1,1 до 1,2 Тл.

Подставляя в выражение (4.3) известные величины получаем:

**=** = 100,6  **=** 100 витков,

**=** 3,18 3,2 витка.

4. Находим требуемое число витков в первичной и вторичной обмотках.

Требуемое число витков в первичной обмотке оставляем равным расчётному **=** 100 витков.

Учитывая заметные потери части напряжения на сопротивлении вторичной обмотки при работе трансформатора в режиме нагрузки, требуемое число витков во вторичной обмотке увеличиваем на 510 % больше рассчитанного.

= (4.4)

Подставляя в выражение (4.4) известные величины находим: = 0,1 и получаем = 4 витка.

5. Находим токи в обмотках трансформатора.

В первичной обмотке = . (4.5)

= = 0,7 (А)

Во вторичной обмотке = . (4.6)

= = 18,3 (А).

6. Находим номинальные диаметры обмоточных проводов первичной и вторичной обмоток трансформатора.

Задавшись допустимой плотностью тока для медного провода j = 4,5 А можно определить диаметр обмоточного провода. Номинальные диаметры обмоточных проводов первичной и вторичной обмоток и находятся следующим образом.

В первичной обмотке = (4.7)

= 0,445 (мм), 0,45 мм.

Во вторичной обмотке = (4.8)

= 2,12 (мм), 2,12 мм.

7. Находим диаметры обмоточных проводов первичной и вторичной обмоток трансформатора с учётом изоляции.

Из стандартного ряда (вертикальные столбцы, табл. 4.2) выбираем провод с ближайшим диаметром, ориентируясь в сторону увеличения.

Для первичной обмотки берём = 0,6 мм, для вторичной обмотки берём = 2,4 мм.

8. Выбираем наиболее подходящий стандартный тип сердечника трансформатора.

Наиболее подходящий стандартный тип сердечника трансформатора выбирается по табл. 4.3, исходя из площади поперечного сечения сердечника трансформатора , рассчитанного ранее, ориентируясь в сторону увеличения.

Обозначение стержневого магнитопровода состоит из букв «ПЛ» и трёх чисел, первое из которых указывает ширину стержня «**а**», второе – толщину магнитопровода «**b**» и третье – высоту окна «**d**» (рис. 4.1). Все размеры в миллиметрах.

Имеем: = 1,15 18,5 (), или 1,85·.

Выбираем по табл. 4.3, тип сердечника, **ПЛ 20 х 40 – 100**, ориентируясь, что бы площадь окна магнитопровода , равная произведению ширины окна **с** на высоту окна **d** была больше площади поперечного сечения сердечника трансформатора .

**c**·**d =** 2·1,85·

9. Выполним проверку условия размещения обмоток трансформатора в окне выбранного магнитопровода.

Найдём суммарную площадь поперечного сечения первичной и вторичной обмоток трансформатора по формуле:

= **0,9··(**· + ·), (4.9)

где - коэффициент заполнения окна магнитопровода трансформатора проводами обмоток, = 0,7 0,85.

Подставляя в выражение (4.9) известные величины получаем:

= 0,9·0.8·(·100 + ·4) = 42,5(), или = 4,25·

Имеем: **c** · **d =** 2·

Проверка условия размещения обмоток трансформатора в окне выбранного магнитопровода осуществляется по формуле:

(4.10)

В случае невыполнения условия (4.10) необходимо сменить тип сердечника.

Очевидно, что 2·4,25·. Поэтому в рассматриваемом примере условие (4.10) выполняется. Тип сердечника выбранверно.

Это: **ПЛ 20 х 40 – 100**.

**Задание 5**

**Расчёт пусковых сопротивлений электрического двигателя постоянного тока параллельного возбуждения**

**Задание и условия его выполнения**

Для двигателя постоянного тока параллельного возбуждения по данным

табл. 5.1 определить:

- вращающий момент двигателя в номинальном режиме ,

- частоту вращения якоря двигателя в режиме идеального

холостого хода ,

- подводимую мощность **P**.

Рассчитать сопротивления пусковых резисторов и их число в пусковом реостате. Расчет провести графическим методом.

Коэффициент полезного действия работы двигателя принять равным 0,85,  **=** 0,85.

Таблица 5.1

**Варианты заданий**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  варианта | Мощность двигателя  кВт | Частота вращения двигателя  , обмин | Сопротивление обмотки якоря  Ом | Ток двигателя  А | Напряжение двигателя  В |
| 1 | 0,3 | 1500 | 22,6 | 2,1 | 220 |
| 2 | 0.7 | 3000 | 5,3 | 4,3 | 220 |
| 3 | 0,2 | 1000 | 26,8 | 1,4 | 220 |
| 4 | 0,45 | 1500 | 11,76 | 2,9 | 220 |
| 5 | 1,0 | 3000 | 3,29 | 6,0 | 220 |
| 6 | 0,45 | 750 | 9,48 | 2,9 | 220 |
| 7 | 0,3 | 1000 | 16,6 | 2,0 | 220 |
| 8 | 0,7 | 1500 | 6,75 | 4,3 | 220 |
| 9 | 1,5 | 3000 | 1,99 | 9,0 | 220 |
| 10 | 0,3 | 750 | 14,3 | 1,95 | 220 |
| 11 | 0,45 | 1000 | 9,65 | 2,75 | 220 |
| 12 | 1,0 | 1500 | 4,17 | 5,9 | 220 |
| 13 | 2,2 | 3000 | 1,03 | 12,5 | 220 |
| 14 | 0,7 | 1000 | 5,45 | 4,25 | 220 |
| 15 | 1,5 | 1500 | 2,455 | 8,7 | 220 |
| 16 | 3,2 | 3000 | 0,642 | 17,5 | 220 |
| 17 | 0,7 | 750 | 4,98 | 4,2 | 220 |
| 18 | 1,0 | 1000 | 3,17 | 5,7 | 220 |
| 19 | 2,2 | 1500 | 1,205 | 12,0 | 220 |
| 20 | 4,5 | 3000 | 0,352 | 24,3 | 220 |
| 21 | 1,0 | 750 | 5,35 | 6,8 | 220 |
| 22 | 1,5 | 1000 | 2,9 | 9,3 | 220 |
| 23 | 3,2 | 1500 | 1,032 | 18,4 | 220 |
| 24 | 6,0 | 3000 | 0,36 | 33,0 | 220 |
| 25 | 1,5 | 750 | 2,92 | 9,75 | 220 |
| 26 | 2,2 | 1000 | 1,75 | 13,3 | 220 |
| 27 | 4,5 | 1500 | 0,78 | 25,4 | 220 |
| 28 | 2,2 | 750 | 1,91 | 13,6 | 220 |
| 29 | 3,2 | 1000 | 1,05 | 18,3 | 220 |
| 30 | 6,0 | 1500 | 0,472 | 33,2 | 220 |
| 31 | 3,2 | 750 | 1,073 | 19,0 | 220 |
| 32 | 4,5 | 1000 | 0,632 | 25,2 | 220 |
| 33 | 8,0 | 1500 | 0,269 | 43,5 | 220 |
| 34 | 4,5 | 750 | 0,76 | 26,0 | 220 |
| 35 | 6,0 | 1000 | 0,494 | 32,6 | 220 |
| 36 | 11,0 | 1500 | 0,187 | 59,5 | 220 |
| 37 | 6,0 | 750 | 0,531 | 33,5 | 220 |
| 38 | 8,0 | 1000 | 0,328 | 43,0 | 220 |
| 39 | 14,0 | 1500 | 0,1275 | 73,5 | 220 |
| 40 | 7,0 | 750 | 0,546 | 42,0 | 220 |

О**сновные элементы теории расчёта**

Свойства двигателей постоянного тока в основном определяются способом питания обмотки возбуждения. В связи с этим различают двигатели с

параллельным, независимым, последовательным и смешанным возбуждением.

В задании выполним расчёты для электродвигателя постоянного тока параллельного возбуждения, электрическая схема которой показана на рис. 5.1.

**+**

**°**

**°**

**ОВД**

**ПР**

**Д**

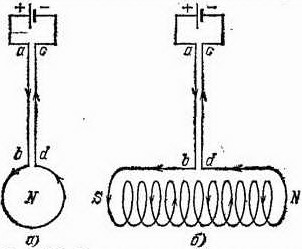


Рис. 5.1. Электрическая схема электродвигателя

постоянного тока параллельного возбуждения:

Д – двигатель, ОВД – обмотка возбуждения двигателя, ПР – пусковой реостат

При включении двигателя в сеть в результате взаимодействия электрического тока в якорной обмотке с внешним магнитным полем возникает электромагнитная сила, создающая электромагнитный момент который приводит якорь во вращение.

В процессе работы коллекторного двигателя постоянного тока в его якорной обмотке наводится электродвижущая сила (ЭДС) **Е**, которая направлена встречно электрическому току, проходящему по этой обмотке. Поэтому ЭДС, наведённую в обмотке якоря двигателя, часто называют

противо - ЭДС.

ЭДС прямо пропорциональна основному магнитному потоку **Ф** и частоте вращения якоря:

**= ·Ф**, (5.1)

где  **–** постоянный коэффициент, определяемый конструктивными параметрами электродвигателя.

Вращающий момент двигателя в номинальном режиме определяется

= **·Ф**, (5.2)

где  **–** постоянный коэффициент, также определяемый конструктивными параметрами электродвигателя. Таким образом электромагнитный момент двигателя постоянного тока прямо пропорционален основному магнитному потоку Ф и току в обмотке якоря Или его, при неизвестных значениях и , можно определить следующим образом:

= 9,55·, (5.3)

где - номинальная мощность двигателя

= ·, (5.4)

Коэффициент полезного действия η и номинальная мощность двигателя на валу дают возможность находить мощность, потребляемую двигателем из сети **P**, по формуле:

**P** = . (5.5)

Рассмотрим цепь якоря.

Для контура «обмотка якоря – сеть» (рис. 5.1), согласно второму закону Кирхгофа, для двигательного режима, уравнение напряжения, подаваемого на двигатель, имеет вид:

**= Е +** , (5.6)

где –сумма сопротивлений в цепи обмотки якоря.

Откуда сила тока в обмотке якоря определяется следующим образом:

= ( **– Е)** (5.7)

Используя (5.5) и (5.6), получим формулу расчёта частоты вращения якоря двигателя:

= , (5.8)

Которая прямо пропорциональна электрическому напряжению, подаваемому на двигательи обратно пропорциональна основному магнитному потоку **Ф**. Кроме того, частота вращения якоря двигателя зависит от падения напряжения в цепи якоря которое определяет величину наклона скоростной = и механической = характеристик к оси абсцисс (рис. 5.3).

При пуске двигателя с параллельным возбуждением необходимо выполнить два основных условия:

- не допустить чрезмерно большого пускового тока, опасного для обмотки якоря, щеточных контактов и коллектора;

- обеспечить пусковой момент, необходимый для разгона двигателя с рабочим механизмом.

Эти условия обеспечиваются надлежащим выбором пускового резистора. При неподвижном якоре (*n* = 0) индуцированная в обмотке якоря ЭДС равна нулю, поэтому при пуске двигателя без пускового резистора ток в обмотке якоря будет определяться выражением:

= (5.9)

Так как в машинах постоянного тока сопротивление якоря составляет десятые и даже сотые доли Ома, то, в случае непосредственного пуска двигателя в ход при полном напряжении в сети, ток якоря будет недопустимо большим. Поэтому пуск двигателя путем включения якоря на полное напряжение в сети применяется только для двигателей, имеющих сравнительно большое внутреннее сопротивление.

Во всех прочих случаях ток в цепи якоря при пуске двигателя в ход ограничивают включением в цепь якоря пускового резистора.

При этих условиях ток в цепи якоря определяется следующим образом:

= . (5.10)

По мере увеличения частоты вращения якоря сопротивление пускового резистора следует уменьшить, так как будет возрастать ЭДС, индуцируемая в якоре. Снижением сопротивления при пуске, а также надлежащим выбором его значения добиваются того, что пусковой ток и вращающий момент двигателя во время пуска колеблются в заданных пределах, обеспечивая требуемые условия разгона исполнительного механизма.

, и так далее (рис 5.2) будем называть сопротивлениями ступеней, , и так далее – резисторами секций. Рассчитывают эти резисторы двумя методами: графическим или аналитическим. При графическом расчёте пусковых резисторов строят пусковую диаграмму (рис. 5.3).

**+**

**°**

**°**

**ОВД**

**Д**

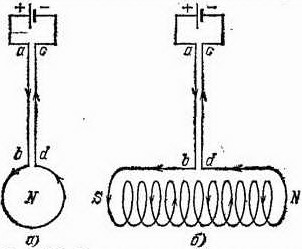


Рис. 5.2. Схема включения пусковых резисторов

**L**

**K**

**F**

**D**

**C**

**B**

**A**

**7**

**6**

**5**

**4**

**3**

**2**

**1**

d

e

c

b

a

0

Рис. 5.3. Пусковые характеристики двигателя

По горизонтальной оси откладывают пусковые моменты и токи.

Максимальный переключающий момент и минимальный переключающий момент (рис. 5.3) в начале и конце разгона для двигателей постоянного тока обычно принимают:

= (2 2,5), = (1,1 1,2), (5.11)

где - номинальный момент двигателя, который соответствует в данном случае нагрузки.

Соответствующие максимальный и минимальный силы токов, проходящие через якорь в начале и конце разгона, для двигателей постоянного тока, обычно принимают:

= (2 2,5), = (1,1 1,2), (5.12)

где – номинальное значение силы тока, проходящего через якорь двигателя, который соответствует в данном случае нагрузки.

Сопротивление якорной цепи принимается по каталогу или может быть определено по формуле:

= ·(0,5 + ), (5.13)

где  **-** коэффициент полезного действия.

На оси ординат откладывают частоту вращения холостого хода , которую можно определить по формуле:

= · . (5.14)

Из точки **K**, соответствующей номинальному моменту , проводят перпендикуляр **KF**, откладывают на нем в масштабе частоту вращения якоря , и получают точку **b** (рис. 5.3).

Соединяя прямой точку **b** с точкой идеального холостого хода, получают естественную механическую характеристику двигателя

- **L**.

Отрезок **аb** соответствует сопротивлению якорной цепи.

Прямая будет первой характеристикой, соответствующей полному сопротивлению пускового резистора. С точки **1** начинается разгон двигателя. При достижении двигателем переключающего момента первую секцию пускового резистора отключают, что изобразится горизонтальной линией, проведенной через точку **2**. При пересечении этой линии с линией **BC** определится точка 3 второй искусственной характеристики двигателя.

Отрезок **de** в масштабе сопротивлений дает сопротивление первой секции пускового резистора. Дальнейшее построение ясно из анализа рис. 5.3.

Отрезки **de**, **cd**, **bc** соответствуют сопротивлениям отдельных секций пускового резистора в порядке их замыкания.

Масштаб для сопротивления, Ом/мм:

**m =**, (5.15)

где – отрезок прямой, соответствующий сопротивлению обмотки якоря.

Если при построении окажется, что последняя горизонтальная линия **6 –7** не пересекает естественную характеристику в точке **7**, то значение сопротивления последней секций пускового резистора берётся соответственно длине отрезка **bc**.

При расчете необходимо помнить, что число пусковых ступеней ускорения для двигателей малой мощности (до 10 кВт) равно 1–2, для двигателей средней мощности (до 50 кВт) - 2–3, а для двигателей большой мощности - 3–4.

**Пример решения задания**

Исходные данные для расчёта:

- мощность двигателя = 1 кВт,

- частота вращения двигателя = 3000 обмин,

- сопротивление обмотки якоря = 3,29 Ом,

- сила тока в двигателе = 6 А,

- электрическое напряжение, подаваемое на двигатель = 220 В,

- нагрузочный момент постоянный и равен 0,8·,

где - вращающий момент двигателя в номинальном режиме.

- максимальный переключающий момент = 2,25·

- минимальный переключающий момент = 1,15·

- максимальное значение силы тока, проходящего через якорь в начале разгона, для двигателей постоянного тока, принимаем равным 2,25· ,

- минимальное значение силы тока, проходящие через якорь в конце разгона, для двигателей постоянного тока, принимаем равным 1,15·

Расчёт пусковых сопротивлений электрического двигателя постоянного тока параллельного возбуждения рекомендуется выполнять в следующей последовательности.

1. Определяем частоту вращения якоря двигателя в режиме идеального

холостого хода

= · , = 3000· = 3296 (), 3300.

2. Определяем максимальное допустимое значение силы тока, проходящего через якорь в начале разгона.

2,25·, = 2,25·6 = 13,5 (А), = 13,5 А.

3. Проверяем необходимость пускового реостата.

При пуске двигателя без пускового реостата ток в обмотке якоря будет определяться выражением:

= , = = 66,87 (А), 67 А.

Очевидно, что Вывод: пусковой реостат необходим.

4. Находим минимальноезначение силы тока, проходящие через якорь в конце разгона.

1,15 1,15·6 = 6,9 (А), 7 А.

5. Строим скоростную характеристику электрического двигателя постоянного тока параллельного возбуждения = .

Построение этой характеристики осуществляется по образу и подобию графика рис. 5.3.

1600

**8**

= **3300**

**8,5**

**3000**

**6**

**L**

**K**

**F**

**D**

**C**

**B**

**A**

**7**

**6**

**5**

**4**

**3**

**2**

**1**

e

d

c

b

a

**I**, А

**13,5**

**7**

0

,

Рис. 5.4. Скоростная характеристика электрического двигателя постоянного тока параллельного возбуждения

Линия - **L** графика представляет собой естественную скоростную характеристику двигателя, то есть зависимость числа оборотов двигателя от силы тока в якорной цепи = . На участке **7** - **8** этой линии, разгон двигателя продолжается. В точке **8** двигатель работает в режиме, когда отсутствует нагрузочный момент . Участок линии **8** - соответствует режиму работы двигателя, при наличии внешней нагрузки . Уравнение этой линии имеет вид:

= 3300 – 50 . (5.15)

В области **ABCD** рисунка показана зависимость числа оборотов от силы тока в якорной цепи = в режиме разгона двигателя при запуске. Эта зависимость представляет собой ломанную линию, 1- 2 – 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8.

На этой линии число оборотов работы двигателя постоянно возрастает от **0,** соответствующего максимальному значению силе тока, проходящего через якорь в начале разгона = 13,5 А до значения 1600 , соответствующего максимальному значению силе тока, проходящего через якорь в конце разгона 7 А. Сила тока в якорной цепи на этапе разгона двигателя изменяется скачкообразно от 13,5 А до 7 А. Изменение силы тока - знакопеременно.

6. Рассчитываем сопротивления пусковых резисторов и их число в пусковом реостате.

Из графика рис. 5.4 видно, что в пусковом реостате должно быть три пусковых резистора.

После графического построения скоростной характеристики электрического двигателя, по графику определяем отношения длин отрезков **ae**: **ad**: **ac**: **ab**.

В абсолютном значении это отношение имеет вид 43:23:12,5:9,5. Приняв значение длины отрезка **ab** за единицу, то есть разделив все числа на 9,5, получаем эквивалентный вид искомого соотношения 4,53:2,42:1,32:1.

Отношение длин отрезков равно отношению значений сопротивлений :

: = 4,53:2,42:1,32:1 (5.15)

Из него следует:= 3,29 Ом, = 1,32 Ом, = 2,42· Ом,

= 4,53· Ом.

Выполнив расчёты, получаем: = 4,34 Ом, = 7,96 Ом, = 14,9 Ом, где - полное сопротивление якорной цепи. Имея значения этих сопротивлений, находим сопротивлениями пусковых резисторов, то есть значения сопротивлений ступеней пускового реостата, , .

Из схемы включения пусковых резисторов рис. 5.2 видно, что = - = - , = - Подсчитав значения сопротивлений пусковых резисторов, получаем:

= 6,9 Ом, = 3,62 Ом, =0,95 Ом.

Расчёт пусковых резисторов закончен.

7. Определяем вращающие моменты двигателя.

Вращающий момент двигателя в номинальном режиме находим по формуле 5.3.

= 9,55·, 9,55· = 3,2 (Н·м), = 3,2 Н·м.

Найдём значения максимального переключающего момента = 2,25

и минимального переключающего момента = 1,15

= 7,2 Н·м, = 3,7 Н·м.

8. Строим механическую характеристику электрического двигателя постоянного тока параллельного возбуждения = .

Значения , и дают возможность построить механическую = характеристику двигателя. Построение этой характеристики осуществляется по образу и подобия графика рис. 5.3.

1600

**8**

= **3300**

**4,5**

**3000**

**3,2**

**L**

**K**

**F**

**D**

**C**

**B**

**A**

**7**

**6**

**5**

**4**

**3**

**2**

**1**

e

d

c

b

a

**M**, Н·м

**7,2**

**3,7**

0

,

Рис. 5.5. Механическая характеристика электрического двигателя постоянного тока параллельного возбуждения

Из рис. 5.5 видно, что графики функций скоростной = и механической = характеристик электрического двигателя постоянного тока параллельного возбуждения имеют одинаковый вид.

Линия - **L** графика представляет собой естественную механическую характеристику двигателя, то есть зависимость числа оборотов двигателя от вращающего момента, возникающего в роторе двигателя = . Уравнение этой линии имеет вид:

= 3300 – 93,75 . (5.16)

В области **ABCD** рисунка показана зависимость числа оборотов от вращающего момента, возникающего в роторе двигателя, = в режиме разгона двигателя при запуске. Эта зависимость представляет собой ломанную линию, 1- 2 – 3 - 4 - 5 - 6 - 7 - 8.

На этой линии число оборотов работы двигателя постоянно возрастает от **0,** соответствующего максимальному значению вращающего момента в начале разгона= 7,2 Н·м, до значения 1600 , соответствующего максимальному значению вращающего момента в конце разгона= 3,7 Н·м. Вращающий момент на роторе двигателя на этапе разгона изменяется скачкообразно от 7,2 Н·м до 3,7 Н·м. Изменение вращающего момента - знакопеременно.

9. Найдём подводимую к двигателю мощность **P**.

Расчёт мощности **P**, подводимой к двигателю, можно осуществить формуле:

**P** = , **P** = (Вт), **P** = 1176,5 Вт.

**Задание 6**

**Расчёт параметров асинхронного трёхфазного электродвигателя**

**Задание и условия его выполнения**

Для трёхфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым

ротором серии 4А, напряжения питающей сети 220/380 В, частоты сети 50 Гц, по данным табл. 6.1, 6.2 и 6.3, определить:

- частоту вращения ротора двигателя при номинальной нагрузке

- число пар полюсов статора двигателя ***p***;

- мощность, потребляемую двигателем из сети **P**;

- номинальный вращающий момент на валу

- максимальный вращающий момент

- пусковой вращающий момент

- номинальный ток двигателя ;

- пусковые токи при соединении обмоток статора в звезду и треугольник.

Таблица 6.1

**Варианты заданий**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Последняя цифра шифра | Предпоследняя цифра шифра 0 и 2 | | | | | | | |
| Номинальные данные | | | | Пусковые данные | | | |
| Мощность двигателя  кВт | Частота вращения магнитного поля об | Скольжение двигателя  S | Коэффициент полезного действия  η | Коэффициент мощности | Перегрузочная способность  двигателя | Кратность пускового момента двигателя | Кратность пускового тока двигателя |
| 0 | 1 | 1000 | 0,015 | 0,92 | 0,86 | 1,8 | 1,1 | 6 |
| 1 | 0,55 | 1500 | 0,07 | 0,72 | 0,7 | 2 | 1,2 | 5,5 |
| 2 | 0,75 | 1500 | 0,067 | 0,7 | 0,73 | 2 | 1,2 | 5,5 |
| 3 | 0,37 | 1500 | 0,053 | 0,68 | 0,83 | 2 | 1,2 | 7 |
| 4 | 0,25 | 1500 | 0,03 | 0,63 | 0,86 | 1.7 | 1,2 | 7 |
| 5 | 0,18 | 1500 | 0,027 | 0,84 | 0,88 | 1.7 | 1,2 | 7 |
| 6 | 0,12 | 1000 | 0,017 | 0,87 | 0,74 | 1.7 | 1,4 | 6,5 |
| 7 | 0,6 | 1000 | 0,08 | 0,89 | 0,66 | 1.7 | 1,4 | 6,5 |
| 8 | 1,5 | 1000 | 0,062 | 0,9 | 0,64 | 1,8 | 1,4 | 6,5 |
| 9 | 1,1 | 1000 | 0,054 | 0,74 | 0,69 | 1,8 | 1,4 | 6,5 |

Таблица 6.2

**Варианты заданий**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Последняя цифра шифра | Предпоследняя цифра шифра 1 | | | | | | | |
| Номинальные данные | | | | Пусковые данные | | | |
| Мощность двигателя  кВт | Частота вращения магнитного поля об | Скольжение двигателя  S | Коэффициент полезного действия  η | Коэффициент мощности | Перегрузочная способность  двигателя | кратность пускового момента двигателя | кратность пускового тока двигателя |
| 0 | 3,7 | 1000 | 0,046 | 0,64 | 0,72 | 1,8 | 1,4 | 6 |
| 1 | 0,85 | 1500 | 0,023 | 0,68 | 0,7 | 2 | 1,2 | 5,5 |
| 2 | 1,1 | 1500 | 0,054 | 0,74 | 0,69 | 1,8 | 1,4 | 6,5 |
| 3 | 1,5 | 1000 | 0,062 | 0,85 | 0,8 | 2 | 1,2 | 6,5 |
| 4 | 0,25 | 1500 | 0,03 | 0,63 | 0,86 | 2,2 | 1,2 | 6,5 |
| 5 | 0,18 | 1500 | 0,027 | 0,74 | 0,88 | 2,2 | 1,2 | 6,5 |
| 6 | 0,14 | 1000 | 0,015 | 0,87 | 0,74 | 2,2 | 1,4 | 5,5 |
| 7 | 0,6 | 1000 | 0,08 | 0,89 | 0,66 | 2,2 | 1,4 | 5,5 |
| 8 | 1,5 | 1000 | 0,062 | 0,9 | 0,64 | 1,8 | 1,4 | 5,5 |
| 9 | 1,18 | 1500 | 0,027 | 0,84 | 0,79 | 1,8 | 1,2 | 5,5 |

Таблица 6.3

**Варианты заданий**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Последняя цифра шифра | Предпоследняя цифра шифра 1 | | | | | | | |
| Номинальные данные | | | | Пусковые данные | | | |
| Мощность двигателя  кВт | Частота вращения магнитного поля об | Скольжение двигателя  S | Коэффициент полезного действия  η | Коэффициент мощности | Перегрузочная способность  двигателя | Кратность пускового момента двигателя | Кратность пускового тока двигателя |
| 0 | 0,25 | 1500 | 0,03 | 0,63 | 0,86 | 2,2 | 1,2 | 5,5 |
| 1 | 0,12 | 1000 | 0,017 | 0,87 | 0,74 | 2,2 | 1,4 | 7 |
| 2 | 3,7 | 1000 | 0,046 | 0,64 | 0,72 | 1,8 | 1,4 | 6 |
| 3 | 0,85 | 1500 | 0,023 | 0,68 | 0,7 | 2 | 1,2 | 7 |
| 4 | 0,75 | 1500 | 0,067 | 0,7 | 0,73 | 2 | 1,2 | 7 |
| 5 | 0,37 | 1500 | 0,053 | 0,68 | 0,83 | 2 | 1,2 | 7 |
| 6 | 1,1 | 1000 | 0,054 | 0,74 | 0,69 | 1,8 | 1,4 | 6,5 |
| 7 | 0,18 | 1500 | 0,027 | 0,84 | 0,88 | 1.9 | 1,2 | 5,5 |
| 8 | 1,5 | 1000 | 0,062 | 0,9 | 0,64 | 1,8 | 1,4 | 5,5 |
| 9 | 0,6 | 1000 | 0,08 | 0,89 | 0,66 | 2,2 | 1,4 | 5,5 |

О**сновные элементы теории расчёта**

Асинхронный трёхфазный электродвигатель, с короткозамкнутым ротором, - это двигатель, в котором вращающееся магнитное поле статора взаимодействует с током, индуцированным этим же магнитным полем.

Принцип действия асинхронного трёхфазного электродвигателя основан на способности трёхфазной обмотки статора при включении её в сеть трёхфазного тока создавать вращающееся магнитное поле. Частота вращения этого поля , или синхронная частота вращения (обпрямо пропорциональна частоте переменного тока **𝛎** и обратно пропорциональна числу пар полюсов **p** трёхфазной обмотки статора:

= , (6.1)

зная частоту вращения магнитного поля статора двигателя можно найти потребное число пар полюсов в статоре:

**p** = (6.2)

Коэффициент полезного действия η и номинальную мощность двигателя на валу дают возможность находить мощность, потребляемую двигателем из сети **P**, по формуле:

**P** = . (6.3)

Номинальный вращающий момент на валу двигателя рассчитывается по формуле:

= (6.4)

Отличительной особенностью асинхронного трёхфазного электродвигателя состоит в том, что частота вращения ротора меньше частоты вращения магнитного поля статора двигателя Отставание ротора от вращающегося магнитного поля статора характеризуется относительной величиной **S**, называемой скольжением.

Скольжение **S –** это отношение разности между частотой вращения магнитного поля статора и частотой вращения ротора двигателя к частоте вращения магнитного поля статора:

**S =** . (6.5)

Для трёхфазных асинхронных двигателей малой и средней мощности номинальное скольжение изменяется в пределах от 0,08 до 0,02.

Зная величину скольжения **S**,можно найти частоту вращения ротора двигателя:

= (1- **S**). (6.6)

Работа трёхфазного асинхронного двигателя становится неустойчивой при скольжении **S** большекритического значения **S** Так, если электромагнитный момент двигателя равен максимальному = , а **S =** то даже незначительное увеличение нагрузочного момента приведёт к остановке двигателя, то есть наступает режим короткого замыкания. Этот режим является аварийным, так как сопровождается недопустимым увеличением тока в обмотках двигателя. В режиме короткого замыкания должна сработать тепловая защита двигателя (плавкие предохранители или тепловое реле) и отключить его от сети. В противном случае чрезмерный перегрев обмотки статора вызовет загорание её изоляции, что приведёт к порче двигателя и опасности возникновения пожара.

Критическое скольжение – это скольжение, при котором асинхронный двигатель развивает максимальный вращательный момент:

=**(** + , (6.7)

где - перегрузочная способность двигателя. Перегрузочная способность

двигателя – это отношение максимального вращающего момента двигателя к номинальному:

= . (6.8)

Для асинхронных двигателей общего назначения перегрузочная способность принимает значения в пределах: 1,7 2,5.

Максимальный вращающий момент на валу двигателя может находиться следующим образом:

= . (6.9)

Пусковые свойства двигателей характеризуются пусковым током или его кратностью и начальным пусковым моментом или его кратностью . Отсюда следует, что вращающий момент, возникающий на валу двигателя в момент запуска может определяться следующим образом:

= (6.10)

где - кратность пускового момента двигателя. Для трёхфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, малой и средней мощности, кратность пускового момента не превышает 2,5 4,5.

Пусковой ток, проходящий через обмотки статора, в момент запуска двигателя может определяться следующим образом:

= · (6.11)

где - кратность пускового тока двигателя. Для трёхфазных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором, малой и средней мощности, кратность пускового тока двигателя находится в пределах 5,5 7,5.

**Пример решения задания**

Исходные данные для расчёта: Пусть трёхфазный асинхронный двигатель, с короткозамкнутым ротором единой серии 4А имеет следующие технические характеристики:

- действующее значение фазного напряжения питающей сети = 220 В;

- действующее значение линейного напряжения питающей

сети = 380В;

- частота источника электрической энергии **𝛎** = 50 Гц;

- номинальная мощность двигателя на валу = 1 кВт;

- частота вращения магнитного поля двигателя

- скольжение двигателя **S** = 0,015;

- кратность максимального момента двигателя = 1,8;

- кратность пускового момента двигателя = 1,1;

- кратность пускового тока двигателя = 6;

- коэффициент полезного действия работы двигателя равен 0,92,  **=** 0,92;

- коэффициент мощности = 0,86.

Расчёт параметров трёхфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым рекомендуется выполнять в следующей последовательности.

1. Определяем потребное число пар полюсов статора электродвигателя **p**.

Потребное число пар полюсов статора электродвигателя **p** находим по формуле:

**p** = , **p** = , **p** = 3.

2. Находим число оборотов ротора при номинальной нагрузке.

Число оборотов ротора при номинальной нагрузке и при известном скольжении двигателя рассчитывается следующим образом:

= (1- **S**), = 1000·(1- 0,015) = 985 (об = 985

3. Определяем номинальный вращающий момент на валу двигателя

Номинальный вращающий момент на валу двигателя рассчитываем по формуле:

= = = 9,7 (Н·м), = 9,7 Н·м.

4. Определяем максимальный вращающий момент на валу двигателя

Максимальный вращающий момент на валу двигателя рассчитываем следующим образом:

= = 1,89,7 = 17,46 (Н·м), =17,46 Н·м.

5. Находим пусковой момент .

Вращающий момент, возникающий на валу двигателя в момент запуска определяется следующим образом:

= = 1,19,7 = 10,67 (Н·м), = 10,67 Н·м.

6. Определяем мощность, потребляемую двигателем из сети **P**.

Мощность, потребляемую двигателем из сети **P**, находим по формуле:

**P** = , **P** = = 1087 (Вт), **P =** 1087 Вт.

7. Определяем номинальные фазный и линейный токи в обмотках статора при соединении в «треугольник».

Из формулы активной мощности, потребляемой двигателем из сети

**P =** 3··, определяем номинальный фазный ток в обмотках статора при соединении в «треугольник»:

= , = = 1,9 (A), = 1,9 A.

Линейный номинальный ток находим из равенства:

= · = ·1,9 = 3,3 (А),= 3,3 А.

8. Определяем номинальные фазный и линейный токи в обмотках статора при соединении в «звезду».

В этих условиях: = · и = . Следовательно, номинальные фазный и линейный токи в обмотках статора при соединении в «звезду» можно рассчитать по формуле:

= , = = 1,1 (A), = 1,1 A.

Продолжаем расчёт для условия: обмотки статора соединены по схеме «треугольник».

9. Определяем пусковые токи при соединении обмоток статора в «звезду» и «треугольник».

Умножая значение линейного тока на кратность пускового тока двигателя, получаем пусковой ток: = ·.

Пусковой ток в обмотках статора, при соединении в «звезду», равен:

= 6·1,1А, = 6,6 А.

Пусковой ток в обмотках статора, при соединении в «треугольник», равен:

6·3,3А, 19,8 А.

Литература

1. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Учебник для студентов энергетических и электротехнических вузов. М., «Высшая школа»,1973. – 750 с.

2. Берёзкин Т. Ф., Гусев Н. Г., Масленников В. В. Задачник по общей электротехнике с основами электроники. М., «Высшая школа»,1998. – 379 с.

3. Васин В. М. Электрический привод. Учебное пособие для техникумов. М., «Высшая школа»,1984. – 231 с., ил.

4. Евдокимов Ф. Е. Теоретические основы электротехники. Учебник для средних специальных учебных заведений. М., «Высшая школа»,1981. – 488 с.

5. Кацман М. М. Электрические машины. Учебник для электротехнических специальностей техникумов. М., «Высшая школа»,1990. – 463 с., ил.

6. Кацман М. М. Электрические машины и электропривод автоматических устройств. Учебник для электротехнических специальностей техникумов. М., «Высшая школа»,1987. – 335 с., ил.

7. Кацман М. М. Электрические машины. Учебник для средних специальных учебных заведений. М., «Высшая школа»,1983. – 432 с., ил.

8. Квальвассер В. И. Теория поля. Теория функций комплексного переменного. Операционное исчисление. Учебное пособие по специальным разделам высшей математики для студентов технический вузов. М., «Высшая школа»,1967. – 240 с.

9. Китаев В. Е., Шляпинтох Л. С. Электротехника с основами промышленной электроники. Учебное пособие для профессионально-технических учебных заведений. М., «Высшая школа»,1968. – 414 с.

10. Кузнецов М. И. Основы электротехники. Учебное пособие для технических училищ. М., «Профтехиздат», 1960. – 560 с.

11. Попов В. С. Теоретическая электротехника. Учебник для техникумов. М., «Энергия», 1978. – 560 с.

12. Привалов И. И. Введение в теорию функций комплексного переменного. Учебник для высших учебных заведений. М., «Государственное издательство физико-математической литературы», 1960. – 444 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

стр

Введение …………………………………………………………………… 2

Методические указания

по выполнению самостоятельных и контрольных работ …………………….... 4

Задание 1. Расчёт электрической цепи постоянного тока ………………. 5

Задание и условия его выполнения ……………………………………………… 5

Пример решения задания и основные элементы теории расчёта ……………… 7

Задание 2. Расчёт параметров однофазной электрической цепи переменного тока ………………………………………………………………… 10

Задание и условия его выполнения ……………………………………………... 10

Пример решения задания и основные элементы теории расчёта ……………... 12

Задание 3. Расчёт параметров несимметричной трёхфазной

электрической цепи переменного тока при соединении нагрузки «звездой» ... 17

Задание и условия его выполнения ……………………………………………... 17

Пример решения задания и основные элементы теории расчёта ……………... 19

Задание 4. Расчёт однофазного трансформатора с сердечником стержневого типа для различных частот источников электрической

энергии ……………………………………………………………………………. 23

Задание и условия его выполнения ……………………………………………… 23

Пример решения задания и основные элементы теории расчёта ……………... 27

Задание 5. Расчёт пусковых сопротивлений электрического двигателя постоянного тока параллельного возбуждения ………………………………… 31

Задание и условия его выполнения ……………………………………………… 31

Основные элементы теории расчёта …………………………………………….. 33

Пример решения задания ………………………………………………………… 38

Задание 6. Расчёт параметров асинхронного трёхфазного электродвигателя …………………………………………………………………. 43

Задание и условия его выполнения ………………………………………. 43

Основные элементы теории расчёта ……………………………………... 46

Пример решения задания …………………………………………………. 48

Литература …………………………………………………………………. 50