**Вариант 5**

**Задача 1**

Для электрической цепи, схема которой изображена на рис. 1-1, по заданным величинам сопротивлений и электродвижущих сил (табл. 1) выполнить следующие операции:

1) составить систему уравнений, необходимых для определения токов по первому и второму законам Кирхгофа;

2) рассчитать токи во всех ветвях заданной схемы методом контурных токов;

3) составить баланс мощностей для заданной схемы;

4) определить показание вольтметра;

5) упростить схему, заменив треугольник сопротивлений *R4, R5, R6* эквивалентным соединением звездой и в полученной схеме:

• показать токи в ветвях и рассчитать их методом узлового напряжения;

• определить ток в резисторе с сопротивлением *R6* методом эквивалентного генератора.





Рис 1-1

Дано

**Решение**

1. Произвольно обозначим направления токов во всех ветвях схемы (Рис. 1-1)

Составим систему уравнений по первому и второму законам Кирхгофа

В результате получили систему уравнений с шестью неизвестными токами. Решив эту систему уравнений можно определить токи во всех ветвях

2. Сделаем расчет всех токов методом контурных токов. Имеем три контура, обозначим направления токов в этих контурах (Рис 1-2). Составим уравнения для этих контурных токов.

Подставим числовые значения

Выполним арифметические действия. В результате получили систему линейных уравнений в тремя неизвестными.



Рис 1-2

Решим эту систему линейных уравнений при помощи метода Крамера

Величина токов во внешних ветвях равна контурным токам. Токи внутренних контуров найдем по законам Кирхгофа

3. Составим баланс мощностей

Мощность, потребляемая нагрузкой

Мощность, отдаваемая источниками напряжения

Условия баланса выполняются, значит расчеты произведены верно.

4. Определим показания вольтметра

5. Упростим схему, для этого преобразуем треугольник, образованный резисторами R4, R5, R6, в эквивалентную звезду (Рис 1-3)



Рис 1-3

Рассчитаем резистивные элементы эквивалентной звезды

В полученной схеме обозначим направления токов и определим их величину методом узлового напряжения. Сначала вычислим проводимости всех ветвей

Примем потенциал точки a равным нулю и вычислим потенциал точки e, то есть определим напряжение между точками aе

Зная потенциал между точками dе определим численное значение и направление токов во всех трех ветвях

Значения токов, найденные методом узлового напряжения, совпадают со значениями токов, найденными методом контурных токов.

Определим ток, проходящий через резистор R6 в исходной схеме (Рис 1-1). Для этого исключим из схемы резистор R6 и определим относительно точек cd входное сопротивление оставшейся схемы и определим напряжение Ucd на этих точках (Рис 1-4)



Рис 1-4

Для этого мысленно закоротим все источники напряжения и вычислим входное сопротивление получившейся схемы (Рис 1-5).



Рис 1-5

Преобразуем соединение резисторов, R1, R2, R4 соединённых треугольником в соединение резисторов, Ra, Rc, Rd соединённых звездой (Рис 1-6)



Рис 1-6

Определим сопротивления резисторов получившейся схемы

Вычислим входное сопротивление получившейся схемы (Рис 1-5)

Напряжение Ucd найдём методом контурных токов (Рис 1-6)



Рис 1-6

Составим систему линейных уравнений

Подставим числовые значения

Выполнив арифметические действия получим систему уравнений с двумя неизвестными

Решив эту систему получим

Определим все токи

Определим падение напряжения Ucd. (Рис 1-6)

Ток направлен от узла с большим потенциалом к узлу с меньшим потенциалом, поэтому потенциал узла «с» больше чем потенциал узла «b», а потенциал узла «b» больше чем потенциал узла «d», потому что действительное направление тока I3 имеет отрицательный знак.

Определим ток в исходной схеме через резистор R6

Вывод

Ток, рассчитанный методом эквивалентного генератора, совпадает со значениями тока, рассчитанный методом контурных токов.

**Задача 2**

В электрической цепи, схема которой представлена на рис. 2.1, известны параметры элементов цепи (табл. 2). К зажимам электрической цепи приложено синусоидальное напряжение вида *u(t)=Usinωt*, изменяющееся с частотой *f*=50 Гц. Необходимо рассчитать:

1) комплексные действующие значения токов в ветвях схемы;

2) определить показания приборов: амперметра, вольтметра электромагнитной системы, ваттметра;

3) определить коэффициент мощности cosϕ на входе электрической цепи.

**Дано**



Рис 2-1

**Решение**

1. Запишем величину действующего значения приложенного напряжения в комплексном виде

Вычислим сопротивления индуктивности и емкости для частоты 50 Гц

Представим исходную схему в комплексном виде (Рис 2-2)



Рис 2-2

Напишем сопротивления ветвей в комплексном виде в алгебраической и показательной формах

Вторая и третья ветви соединены параллельно (Рис 2-2), вычислим их эквивалентное сопротивление

Сопротивления Z1, Z23 соединены последовательно. Вычислим их эквивалентное сопротивление, и оно будет равно входному сопротивлению всей цепи

Комплексное значение тока в неразветвленной части цепи

Падение напряжения на комплексном сопротивлении Z23 (Рис 2-2)

Действующее комплексное значение токов во второй и третьей ветвях (Рис. 2.2)

2. Определим показания приборов (Рис 2-1)

Амперметр покажет действующее значение тока в неразветвленной части цени

Катушка напряжения ваттметра подключена к источнику напряжения, а токовая катушка включена в неразветвленную часть цепи, т. е измеряет действующую активную составляющую тока всей цепи

Проверим правильность расчётов

То есть расчёты сделаны правильно.

Падение напряжения на участке ab (Рис. 2-1),

Вольтметр покажет падение напряжения на этом участке (Рис. 2-1),

3. Полная мощность цепи

Коэффициент мощности всей цепи

**Задача 3**

Для электрических цепей, по заданным параметрам трехфазной симметричной нагрузки и линейному напряжению источника электрической энергии рассчитать:

фазные и линейные токи,

фазные напряжения,

активную и реактивную мощности трехфазного симметричного приемника,

построить векторную диаграмму токов и топографическую диаграмму напряжений.



Рис 3-1

Дано

Решение

Обозначим на схеме все токи и напряжения



Рис 3-2

Запишем значения фазных напряжений в комплексном виде. Так как начальные значения фаз не указаны, примем что фаза А имеет нулевое значение, тогда фазы В и С сдвинуты по отношению к фазе А на 120 и 240 градусов соответственно

Запишем фазные нагрузки в комплексном виде

Определим фазные токи, при соединении нагрузки в звезду, фазные токи равны линейным токам

Активная мощность одной фазы

Реактивная мощность одной фазы

Мощность всей нагрузки равна сумме мощностей всех фаз. Так как у нас нагрузка симметричная, то активная мощность

Реактивная мощность

Построим векторную диаграмму токов и топографическую диаграмму напряжений. Совместим вектор напряжения фазы А с осью абсцисс (Рис 3.2). Тогда вектора фаз В и С будут смещены на 120 и 240 градусов по отношению к вектору напряжения фазы А. Вектор тока фазы А опережает вектор напряжения этой же фазы на угол 900. Вектора токов фаз В и С также опережают вектора напряжения своих фаз на этот же угол 900 (так как нагрузка симметрична)



Рис 3-2 Векторная диаграмма токов и

топографическая диаграмма напряжений

**Задача 4**

Подъемный электромагнит имеет магнитопровод и якорь прямоугольного сечения (Рис 4-1), выполненные из листовой электротехнической стали марки 1212. Катушка электромагнита имеет ***w***витков.

Воздушный зазор между стержнями и якорем электромагнита имеет  
длину *L*0=0,5 мм. Определить величину тока в катушке электромагнита для создания подъемной силы *F*. Параметры электромагнита заданы в табл. 4.

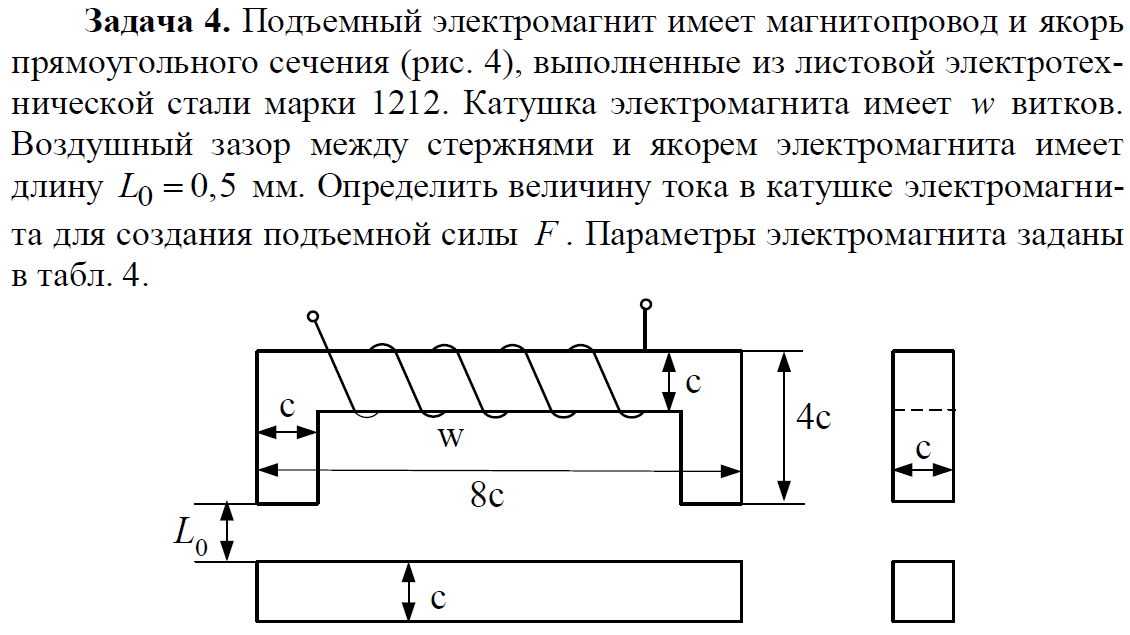


Рис 4-1

Дано

Листовая сталь – марка 1212

Воздушный зазор L0=0,5 мм

с = 5 см

W = 400 витков

F = 4 кН

Решение

1. Величина индукции в зазорах, которая необходима для создания подъемной силы

В знаменателе стоит цифра 2, потому что площадь рассчитана для одного воздушного зазора, а таких зазоров в электромагните два.

2. Определим напряженность магнитного поля в зазоре

3. По таблице приложения 1 для стали марки 1212 определим величину напряженности магнитного поля

4. Согласно Рис 5 и данным размерам определим длину средней магнитной линии

5. Падение магнитного напряжения в стали

6. Падение магнитного напряжения в зазорах

7. Согласно второго закона Кирхгофа для магнитных цепей, имеем

**Задача 5**

Трехфазный трансформатор имеет номинальную мощность *S*н, первичное номинальное линейное напряжение *U*1н, вторичное линейное напряжение холостого хода *U*2х, напряжение *u*к% и мощность *P*к номинального короткого замыкания, мощность холостого хода *P*х. Ток холостого хода составляет *k* процентов от номинального тока первичной обмотки (табл. 5.1).

Определить:

1) коэффициент мощности холостого хода cosϕ0;

2) сопротивления первичной и вторичной обмоток *R*1, *X*1, *R*2, *X*2;

3) сопротивления ветви намагничивания *Zm*, *Rm*, *Xm*.

Построить:

1) внешнюю характеристику *U*2= *f*1(β);

2) зависимость коэффициента полезного действия трансформатора  
от нагрузки η = *f*2(β) при коэффициентах нагрузки β = 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,25 и коэффициенте мощности cosϕ2= 0,8.

Нарисовать: Г-образную схему замещения трансформатора.

**Дано**

**Решение**

1. Величина номинального тока в первичной обмотке

2. Ток холостого хода

3. Коэффициент мощности холостого хода

Откуда

4. Угол магнитных потерь

5. Вычислим сопротивления обмоток трансформатора

5.1 Полное сопротивление обмоток при коротком замыкании

5.2 Активное сопротивление обмоток

5.3 Определим реактивное сопротивление обмоток

6. Определим сопротивление первичной обмотки

Активное сопротивление

Реактивное сопротивление

7. Коэффициент трансформации трансформатора

8. Активное сопротивление вторичной обмотки трансформатора

Реактивное сопротивление вторичной обмотки

9. Сопротивление намагничивающей цепи

10. Определим потерю напряжения во вторичной обмотке

Составляющая активного напряжения короткого замыкания

Составляющая реактивного напряжения короткого замыкания

Вычислим угол при коэффициенте мощности cos φ2 = 0,8

Потеря напряжения на вторичной обмотке

Напряжение на вторичной обмотке трансформатора определяем по формуле

Для построения зависимости η = f(β) расчет коэффициента полезного действия производим по формуле

Задаваясь различными значениями β, определяем напряжение U2 и значения коэффициента полезного действия 𝜂. Все это заносим в таблицу (табл.1)

Таблица 1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | 𝛽 | U2 | 𝜂 |
| 1 | 0,0 | 230,000 | 0 |
| 2 | 0,01 | 229,907 | 0,504 |
| 2 | 0,1 | 229,074 | 0,908 |
| 3 | 0,2 | 228,148 | 0,947 |
| 4 | 0,3 | 227,221 | 0,960 |
| 5 | 0,4 | 226,295 | 0,964 |
| 6 | 0,5 | 225,369 | 0,966 |
| 7 | 0,6 | 224,443 | 0,966 |
| 8 | 0,7 | 223,517 | 0,965 |
| 9 | 0,8 | 222,590 | 0,964 |
| 10 | 0,9 | 221,664 | 0,962 |
| 11 | 1,0 | 220.738 | 0,961 |
| 12 | 1,2 | 218,885 | 0,956 |

Используя данные таблицы построим графики зависимостей U2(β) и η(β)



Рис 5-2



Рис 5-3 Г-образная схема замещения трансформатора

**Задача 6**

Генератор постоянного тока независимого возбуждения имеет следующие номинальные данные: номинальная мощность *P*н, номинальное напряжение *U*н, сопротивление обмотки якоря в нагретом состоянии *R*я (табл. 6).

Определить при переходе от номинального режима к режиму холостого хода:

1) электромагнитную мощность генератора;

2) относительное изменение напряжения Δ*u*% на его зажимах.

Построить: внешнюю характеристику генератора. Реакцией якоря и падением напряжения в контактах щеток пренебречь.

Дано

Величина номинального тока на нагрузке

Падение напряжения на якоре

Определим ЭДС генератора

Электромагнинтая мощность генератора

Определим относительное падение напряжения генератора при переходе с номинального режима на режим холостого хода, при этом будем учитывать, что при холостом ходе

Так как внешняя характеристика генератора линейна, то строим ее по двум точкам, это точка холостого хода и точка номинального режима (Рис. 7.1)



Рис 6-1 Внешняя характеристика генератора.

**Задача 7**

Электродвигатель постоянного тока параллельного возбуждения имеет следующие номинальные величины: номинальную мощность на валу *P*н; номинальное напряжение *U*н; номинальную частоту вращения якоря *n*н; номинальный коэффициент полезного действия ηн; сопротивление цепи обмотки якоря *R*я; сопротивление цепи обмотки возбуждения *R*в (табл. 7).

Определить:

1) частоту вращения якоря при холостом ходе;

2) частоту вращения якоря при номинальном моменте на валу двигателя;

3) частоту вращения якоря при включении в цепь обмотки якоря добавочного сопротивления, равного 3*R*я.

Построить:

1) естественную механическую характеристики *n*(М) электродвигателя;

2) реостатную (при *RД*=3Rя в цепи обмотки якоря) механические характеристики *n*(*М*) электродвигателя.

Нарисовать: схему включения электродвигателя постоянного тока параллельного возбуждения.

**Дано**

**Решение**

Определим ток якоря при номинальной нагрузке

Ток, потребляемый катушками возбуждения

Определим ток *I*, потребляемый электродвигателем из сети при номинальной нагрузке

номинальный момент на валу электродвигателя

Сопротивление пускового реостата

Величина пускового тока обмотки якоря электродвигателя при введении в цепь якоря пускового реостата

пусковой момент при введенном пусковым реостатом (без учета реакции якоря)

Противо - ЭДС, которая индуктируется в обмотке якоря при номинальной частоте вращения

Частота вращения якоря в режиме холостого хода

Частота вращения якоря при номинальном моменте на валу двигателя

Частота вращения якоря при номинальном моменте и при включении в цепь обмотки якоря добавочного сопротивления

Построим естественную и искусственную механические характеристики. Строить их будем по двум точкам, используя данные вычислений.

Естественная механическая характеристика.

Одна точка это точка холостого хода, вторая точка, это точка номинального режима (Рис.7-1)

Реостатная механическая характеристика.

Первая точка, это точка скорости двигателя при номинальном моменте при введенном реостате, вторая точка пуска двигателя, когда скорость вращения якоря равна нулю, а момент на валу двигателя равен пусковому моменту. (Рис. 8-1)



Рис 7-1

Начертим схему включения двигателя.



Рис. 7-2 Схема включения электродвигателя постоянного тока с пусковым реостатом и регулируемой параллельной обмоткой возбуждения

**Задача 8.**

Трехфазный асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором питается от сети с линейным напряжением 380В частотой *f=*50Гц. Величины, характеризующие номинальный режим двигателя: мощность на валу ; скольжение ; коэффициент мощности ; КПД ; число пар полюсов *p*; кратности максимального и пускового моментов относительно номинального  и . Определить ток, потребляемый двигателем из сети; частоту вращения ротора при номинальном режиме; номинальный, максимальный и пусковой моменты; критическое скольжение, пользуясь приближенной формулой . Определить величины моментов, используя эту формулу и частоты вращения ротора, соответствующие значениям скольжений*:; ;* 0,1; 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0. Построить механическую характеристику *n =f(M)* электродвигателя.

**Дано**

**Решение**

Потребляемая мощность электродвигателя

Потребляемый из сети ток

Скорость вращения магнитного поля статора

Номинальная частота вращения ротора

Номинальный вращающий момент

Максимальный вращающий момент

Пусковой момент

Критическое скольжение

Построим механическую характеристику электродвигателя по формуле

Для вычислений скорости ротора для заданных скольжениях используем формулу

Подставляя заданные значения скольжений в эти формулы, определим величины моментов и скорости для этих скольжений. Результаты расчетов сведем в таблицу (Таблица 8.1)

Таблица 8.1

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| № п/п | S | n (об/мин) | М (Нм) |
| 1 | 0 | 1500 | 0 |
| 2 | 0,05 | 1425 | 1,010 |
| 3 | 0,09 | 1365 | 1,749 |
| 4 | 0,2 | 1200 | 3,198 |
| 5 | 0,3 | 1050 | 3,755 |
| 6 | 0,3744 | 938 | 3,848 |
| 7 | 0,5 | 750 | 3,692 |
| 7 | 0,6 | 600 | 3,456 |
| 8 | 0,8 | 300 | 2,955 |
| 9 | 1,0 | 0 | 2,527 |

Используя данные таблицы строим механическую характеристику асинхронного электродвигателя (Рис 8-1)



Рис 8-1

Формула Клосса

правильно описывает построение механической характеристики асинхронного двигателя при изменении s от нуля до sK поэтому при построении механической характеристики от sK до 1, надо руководствоваться расчётными данными

**Список использованной литературы**

1. Электротехника 1.3: метод. указ. и индивид. задания для студентов ИнЭО, обучающихся по направлениям

13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»,

15.03.01 «Машиностроение» / сост. Л.И. Аристова, Т.Е. Хохлова, Е.Б. Шандарова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2016.

2. Лукутин А.В. Электротехника и электроника: учеб. пособие / А.В. Лукутин, Е.Б. Шандарова. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 198 с.

3. Аристова Л.И. Сборник задач по электротехнике: учеб. пособие / Л.И. Аристова, А.В. Лукутин. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 108 с.

Приложение 1. Листовая электротехническая сталь   
марок 1211, 1212, 1311 (слабо- и среднелегированная)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| В, Тл | 0 | 0,01 | 0,02 | 0,03 | 0,04 | | 0,05 | 0,06 | | 0,07 | 0,08 | 0,09 |
| Н, А/м |
| 0,4 | 140 | 143 | 146 | 149 | 152 | 153 | | 158 | 161 | | 164 | 167 |
| 0,5 | 171 | 175 | 179 | 183 | 187 | 191 | | 195 | 199 | | 203 | 207 |
| 0,6 | 211 | 216 | 221 | 226 | 231 | 236 | | 241 | 246 | | 251 | 256 |
| 0,7 | 261 | 266 | 271 | 276 | 281 | 287 | | 293 | 299 | | 306 | 312 |
| 0,8 | 318 | 324 | 330 | 337 | 344 | 352 | | 360 | 369 | | 378 | 387 |
| 0,9 | 397 | 407 | 417 | 427 | 437 | 447 | | 458 | 469 | | 480 | 491 |
| 1 | 502 | 514 | 527 | 541 | 555 | 570 | | 585 | 600 | | 615 | 631 |
| 1,1 | 647 | 664 | 682 | 701 | 720 | 739 | | 859 | 779 | | 800 | 821 |
| 1,2 | 843 | 866 | 891 | 918 | 946 | 976 | | 1010 | 1040 | | 1070 | 1100 |
| 1,3 | 1149 | 1180 | 1220 | 1260 | 1300 | 1340 | | 1380 | 1430 | | 1480 | 1530 |
| 1,4 | 1580 | 1640 | 1710 | 1780 | 1860 | 1950 | | 2050 | 2150 | | 2260 | 2380 |
| 1,5 | 2500 | 2640 | 2790 | 2950 | 3110 | 3280 | | 3460 | 3660 | | 3880 | 4120 |
| 1,6 | 4370 | 4630 | 4910 | 5220 | 5530 | 5880 | | 6230 | 6600 | | 6980 | 7370 |
| 1,7 | 7780 | 8200 | 8630 | 9070 | 9630 | 10100 | | 10600 | 11 100 | | 11 600 | 12200 |
| 1,8 | 12800 | 13400 | 14200 | 14600 | 15200 | 15900 | | 16600 | 17300 | | 18000 | 18800 |
| 1,9 | 19700 | 20600 | 21600 | 22600 | 23600 | 24600 | | 25600 | 26800 | | 28200 | 29600 |
| 2 | 31000 | 32500 | 34300 | 36500 | 39000 | 42000 | | 45500 | 49500 | | 54500 | 59500 |
| 2,1 | 65500 | 72500 | 80000 | 88000 | 96000 | 104000 | | 112000 | 120000 | | 128000 | 136000 |
| 2,2 | 144000 | 152000 | 160000 | 168000 | 176000 | 184000 | | 192000 | 200000 | | 208000 | 216000 |
| 2,3 | 224000 | 232000 | 240000 | 248000 | 256000 | 264000 | | 272000 | 280000 | | 288000 | 296000 |
| 2,4 | 304 000 | 312000 | 320 000 | 328000 | 336000 | 344000 | | 352000 | 360000 | | 368000 | 376000 |
| 2,5 | 384000 | 392000 | 400000 | 408000 | 416000 | 424000 | | 432000 | 440000 | | 448000 | 456000 |