Раздел 1. ЗАДАЧИ ПО ТЕМЕ

″ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА″

Задача № 1.1

Параметры схемы, показанной на рис. 1.1, *а*, приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Задание к задаче 1.1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Параметры** | **Последняя цифра номера зачетки** | **Пример** |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| ***E*1, В** | 100 | 100 | 50 | 100 | 100 | 50 | 100 | 100 | 50 | 100 | 100 |
| ***E*2,В** | 50 | 50 | 70 | 50 | 50 | 80 | 70 | 100 | 50 | 50 | 0 |
| ***E*3,В** | 80 | 60 | 50 | 50 | 40 | 10 | 50 | 50 | 80 | 90 | 100 |
| ***I*эг** | *I*3 | *I*2 | *I*1 | *I*3 | *I*2 | *I*1 | *I*3 | *I*3 | *I*1 | *I*2 | *I*2 |
|  | **Предпоследняя цифра номера зачетки** |  |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| ***R*1, Oм** | 3 | 4 | 10 | 6 | 4 | 5 | 4 | 6 | 6 | 7 | 7 |
| ***R*2, Ом** | 4 | 5 | 8 | 8 | 5 | 3 | 4 | 10 | 8 | 10 | 25 |
| ***R*3, Ом** | 5 | 4 | 8 | 10 | 3 | 4 | 5 | 8 | 6 | 6 | 24 |

Определить:

− значения токов всех ветвей электрической схемы, пользуясь методами: применения законов Кирхгофа, узлового напряжения (двух узлов), эквивалентного генератора (в цепи с током *I*эг);

− баланс активной мощности источников и приемников энергии.



Рис. 1.1. Схемы (а, б, в) задаче № 1.1

**Методические рекомендации по решению задачи № 1.1**

1. Зарисовать схему и записать задание, соответствующее номеру варианта

(рис. 1.1, а; табл. 1.1)

1. Определение токов в ветвях с различными методами

**Метод с использованием законов Кирхгофа предполагает составление**

**уравнений по I и II законам Кирхгофа**

1. Определяем положительные направления токов в ветвях *cda*, *abca*(рис. 1.1, а)
2. Записываем уравнение по I закону Кирхгофа для токов в узле *а*

*I*1− *I*2 *+ I*3 =0 (1)

1. Выбираем положительное направление обхода выделенных контуров *аесda* и *abсеa*по часовой стрелке
2. Записываем уравнение по II закону Кирхгофа для контура *аесda*

*−Е*2+*Е*1=*I*1*R*1+*I*2*R*2  (2)

1. Записываем уравнение по II закону Кирхгофа для контура *аbcеa*

*+Е*2−*Е*3=−*I*3*R*3−*I*2*R*2 (3)

1. Из (1) выражаем *I*3 и подставляем в (2)

*I*1 =*−I*3+ *I*2 (4)

*Е*1=(*−I*3+ *I*2)*R*1+*I*2*R*2 +*Е*2 =*−I*3*R*1 +*I*2(*R*2 + *R*1)+*Е*2  (5)

1. Учтем, что в данном варианте *E*2=0

*Е*1=*−I*3*R*1 +*I*2(*R*2 + *R*1) (6)

1. Из (6) выражаем*I*3

*I*3=[−*Е*1+*I*2(*R*2 + *R*1)]/*R*1 (7)

1. Из (3) выражаем*I*3

*I*3*=*(*Е*3−*I*2*R*2)/*R*3 (8)

1. Объединяем (7) и (8) и выражаем *E*1

[−*Е*1+*I*2(*R*2 + *R*1)]/*R*1*=*(*Е*3−*I*2*R*2)/*R*3 (9)

*Е*1 = −(*Е*3+*I*2*R*2)*R*1/*R*3 *+I*2(*R*2 + *R*1) (10)

*Е*1 = −*Е*3*R*1/*R*3 *+I*2(*R*2 + *R*1 *+R*2*R*1/*R*3) (11)

1. Из (11) выражаем *I*2

*I*2=(*Е*1 +*Е*3*R*1/*R*3)/(*R*2 +*R*1 *+R*2*R*1/*R*3) (12)

1. В выражение (12) подставляем значения ЭДС и сопротивлений ветвей, и,

преобразуя, находим *I*2

*I*2=3,287 A (13)

1. Используя (13) определяем *I*3 с учетом (8)

*I*3*=*0,742A (14)

1. Используя (14) определяем *I*1 с учетом (1)

*I*1*=*2,545 A (15)

**Определение токов в ветвях методом узлового напряжения (метод двух узлов)**

1. Для определения напряжения между точками *а* и *с* используем метод двух узлов, согласно которому

*Uaс=*(*E*1*G*1+ *E*2*G*2+*E*3*G*3)/(*G*1+*G*2+*G*3), где *G*1 , *G*2, *G*3 − проводимости ветвей (16)

1. Проводимость G1

*G*1=1/*R*1

*G*1 = 0,1429Cм

1. Проводимость G2

*G*2=1/*R*2

*G*2 = 0,04Cм

1. Проводимость G3

*G*3=1/*R*3

*G*3 = 0,04167Cм

1. Напряжение *Uaс* между точками *а* и *с* (вектор *Uaс*направлен от *а* к *с*) (по 16)

*Uaс =* 82,184 В

1. Рассчитываем токи в ветвях с учетом направлений токов и ЭДС
2. Определение *I*1

*I*1= (*E*1-*Uaс*)/*R*1

*I*1 = 2,545 A

1. Определение*I*2

*I*2= *Uaс*/ *R*2

*I*2*=* 3,287 A

1. Определение*I*3

*I*3= (*E*3-*Uaс*)/ *R*1

*I*3= 0,742 A

**Определение токов в ветвях методом эквивалентного генератора метод предполагает, что в ветви, содержащей искомый ток, имеется разрыв, так что между точками *а* и *с* действует напряжение холостого хода *U*хх**

1. Исследуем схему (рис. 1.1, а), размыкая ветвь *aec* (разрыв между точками *а* и *с*), получаем схемы (б, в)
2. Согласно этапам метода с учетом выбранных положительных направлений токов, напряжения *Ů*хх и ЭДС, необходимо определить:

− определить ЭДС эквивалентного генератора, равное напряжению холостого хода

*E*ген*=U*хх;

− внутреннее сопротивление эквивалентного генератора *R*ген как входное

сопротивление цепи с разрывом;

− ток в искомой ветви равен: *I*2=(*E*ген−*Е*2)/(*Rас* + *R*2) (17)

1. Рассчитываем *E*ген*=U*хх, используя метод двух узлов, аналогично п. 18

*U*хх*=*(*E*3*G*3+ *E*1*G*1)/(*G*1+*G*3)

*E*ген*=* 100 В

1. В этом режиме входная проводимость *G*экв цепи

*G*экв =*G*1+*G*3

*G*экв = 0,1845 См

1. Внутреннее сопротивление генератора *R*ген

*R*ген=1/*G*экв

*R*ген= 5,419 Ом

1. Для схемы с эквивалентным генератором, приведенной на рис. 1.1, *в*, рассчитываем *I*г =*I*2 (с учетом того, что в варианте *E*2=0)

*I*г =*I*2==(*E*ген- *E*2)/(*R*ген+ *R*2)

*I*г =*I*2=3,28 А

1. Сравнивая результаты расчета, делаем вывод,
что значениятоков, полученные различными методами, идентичны друг другу

**Оценка баланса мощностей**

1. Суммарная активная мощность источников *E*1, *E*2, *E*3

*РЕ=*∑*EiIi*

*РЕ* = 328,8 Вт

1. Суммарная активная мощность приемников

*Р =* ∑*RiIi*2

*Р*= 328,8 Вт

В результате расчета делаем вывод, что суммарная активная мощность источников равна активной мощности, выделяемой на приемниках.

Раздел2.ЗАДАЧИ ПО ТЕМЕ

″ЦЕПИ ПеременнОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА″

Задача №2.1

Имеется цепь переменного тока частотой *f* = 50 Гц с активно-индуктивной нагрузкой (рис. 2.1). Показания приборов (амперметра, вольтметра, ваттметра) приведены в таблице 2.1.



а) б) в)

Рис. 2.1. Схема (а) и векторные (б, в) диаграммы к задаче 2.1

Необходимо определить (рассчитать):

− параметры резистора *r*1 и индуктивности *L*1 катушки;

− величины напряжений на резисторах и на участке *bd*;

− углы сдвига фаз между напряжением и током на входе цепи и на участке*bd*;

− параметры схемы для построения векторной диаграммы.

Таблица 2.1

Задание к задаче №2.1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Параметр** | **Последняя цифра номера зачетки** | **Пример** |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| ***I*, А** | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 5 | 7 | 8 | 9 | 10 | 2 |
| ***U*, В** | 220 | 380 | 127 | 660 | 220 | 220 | 127 | 660 | 220 | 380 | 380 |
| ***P*, Вт** | 210 | 420 | 300 | 740 | 940 | 940 | 400 | 520 | 720 | 820 | 450 |
|  | **Предпоследняя цифра номера зачетки** |  |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| ***r*2, Ом** | 8 | 7 | 6 | 4 | 3 | 2 | 6 | 8 | 3 | 5 | 7 |

**Методические рекомендации по решению задачи№2.1**

1. Зарисовать схему и записать задание, соответствующее номеру варианта

(рис. 2.1, табл. 2.1)

**Определить (рассчитать)**

1. Значение *cos* с учетом показания приборов

*P* = *UIcos*

*cos* =0,59

1. Значение угла , рад

 = 0,94 рад

1. Значение угла , град

 = 53,72 град

1. Общее активное сопротивление *R*, учитывая, что ваттметр показывает активную мощность *Р*

*P* = *I*2(*r*1 + *r*2) =*I*2*R*

*R* = 112,5 Ом

1. Сопротивление *r*1

*R = r*1 + *r*2

*r*1 = 105,5 Ом

1. Модуль *Z* полного комплексного сопротивления

*Z =U*/*I*

*Z* = 190 Ом

1. Индуктивное сопротивление *XL*

*Z*2 = *R*2 + *XL*2

*XL* = 153,11 Ом

1. Величина индуктивности *L*

*XL* = 2*fL*

*L* = 0,49 Гн

1. Модуль полного сопротивления участка *bd*

*Zbd*= (*r*12 + *XL*2)0,5

185,94 Ом

1. Модуль комплексного напряжения *Ů*1 на резисторе *R*1

*U*1*=IR*1

*U*1=211 В

1. Модуль комплексного напряжения *Ů*2 на резисторе *R*2

*U*2*=IR*2

*U*2 *=*14 В

1. Модуль комплексного напряжения *Ů*Lна индуктивности сопротивлением *XL*

*UL=IXL*

*UL* =306,23 В

1. Проверить правильность расчета напряжений, сравнив модуль суммарного расчетного напряжения *U*расчс заданным *U*

*U*расч*=*[(*U*1+*U*2)2+*U*L2]0,5

*U*расч*=*380 В

1. Модуль комплексного напряжения *Ubd* на участке *bd*

*Ubd* = *IZbd*

*Ubd* = 371,88 В

1. Сдвиг фаз  = 1

1= arctg(*XL*/*r*1)

1=0,98 рад

1. Сдвиг фаз  = 1 в градусах

1=55,46 град

1. Построение векторной диаграммы токов и напряжений цепи

Векторная диаграмма строится по следующим этапам:

− выбираем масштабы для векторов напряжения и тока (рис. 2.2, *б, в*), например, 1см -1 А; 0,5 см -100 В:

- рисуем оси +1 и +*j* (ось +*j* направляем, например, вверх);

− на комплексной плоскости отмечаем точку, от которой будем строить вектора напряжений и токов (этой точке соответствует точка*а* схемы);

− поскольку в задаче не дается начальный угол вектора тока *İ*, по умолчанию, принимаем его равным нулю, поэтому вектор *İ* направлены по оси +1;

− поскольку сдвига фаз между током и напряжением на резисторах нет, то вектора *Ů*1,*Ů*2 направлены по оси +1;

− поскольку вектор напряжения *ŮL* опережает ток İ на 90 о (идеальная индуктивность), то направляем вектор *ŮL* по оси +j;

−геометрическая сумма векторов *Ů*1,*Ů*2 направлена по оси +1;

геометрическая сумма векторов *Ů*1,*Ů*2,*ŮL* дает суммарный вектор *Ů*; после построения с помощью транспортира, проверяем равен ли угол геом, расчетному значению значению

− вектор *Ůbd* находим, откладывая его из конца вектора *Ů*2 в конец вектора *Ů.*

Задача №2.2

К генератору переменного тока с фиксированным напряжением *U* подключена цепь, состоящая из последовательно соединенных катушки c активным сопротивлением *R* и индуктивностью *L*, а также конденсатора с емкостью *С*. Параметры цепи приведены в таблице 2.3. Частота генератора = 2*f*может изменяться в широких пределах, так что при частоте *f*0 наступает режим резонанса напряжения.



Рис. 2.2. Схема (а) и характеристики к задаче №2.2

При изменении частоты питающего генератора в пределах 0 <*f*0< 2*f*0 рассчитать и построить:

− частотные характеристики элементов цепи *R*(*f*), *XL*(*f*), X*C*(*f*) и всей цепи в целом *Z*(*f*);

− зависимости *I*(*f*), *UR*(*f*), *UL*(*f*), *UC*(*С*), представив их анализ от рода нагрузки;

− фaзочастотную характеристику – зависимость сдвига фаз между напряжением *U* на клеммах генератора и током *I* в цепи от частоты *f* генератора;

− рассчитать коэффициент усиления напряжения*К*, добротность волновое сопротивление цепи ;

− параметры схемы для построения векторной диаграммы.

Таблица 2.2

Задание к задаче №2.2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Параметры** | **Последняя цифра номера зачетки** | **Пример** |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| ***U*,B** | 100 | 150 | 60 | 120 | 60 | 80 | 70 | 100 | 120 | 150 | 140 |
| ***R*, Ом** | 10 | 20 | 5 | 8 | 12 | 7 | 10 | 15 | 20 | 9 | 10 |
|  | **Предпоследняя цифра номера зачетки** |  |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| ***L*, мГн** | 100 | 120 | 150 | 80 | 90 | 110 | 140 | 80 | 60 | 50 | 40 |
| ***С*, мкФ** | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 60 | 35 |

**Методические рекомендации по решению задачи№2.2**

|  |
| --- |
| 1. Зарисовать схему и записать задание, соответствующее номеру варианта

(рис. 2.2; табл. 2.2)**Определить (рассчитать):**1. Значения всех параметров в системе СИ
2. Какой резонанс наблюдается в исследуемой цепи резонанс напряжений
3. Значение частоты резонанса *f*0

*XC*0=1/0*C*=*ХL*0=0*L*;*f*0=0/2=1/2*CL*)0,5*f*0=134,58 Гц1. Значение реактивного индуктивного сопротивления *ХL*0(*f*0) при резонансе

*ХL*0 =0*L**ХL*0(*f*0) =33,81 Ом1. Значение реактивного емкостного сопротивления *ХС*0(*f*0) при резонансе

*XC*0=1/0*C**ХС*0(*f*0) =33,81 Ом1. Модуль полного комплексного сопротивления цепи при резонансе

*Z*(*f*0) =[*R*2 +(*ХL*0−*XC*0)2]0,5*Z*(*f*0) =10 Ом1. Модуль тока *İ* при резонансе

*I*(*f*0)= *U*/*Z*(*f*0)*I*(*f*0)=14 А1. Модуль напряжения на индуктивности в режиме резонанса

*UL*((*f*0) = *I*(*f*0)*XL*(*f*0)*UL*((*f*0)=472,29 В1. Модуль напряжения на конденсаторе

*UС*((*f*0) = *I*(*f*0)*XС*(*f*0)*UС*((*f*0)=472,29 В1. Коэффициент усиления напряжения*К*

*К* = *UL*/*U= UС*/*U**К* = 3,381. Величина добротности Θ

Θ = /*R= XL*/*R = XLI*рез/*RI*рез= *К*Θ = 3,381. Построить (табличным способом или в программе EXCEL) частотные характеристики элементов цепи *R*(*f*), *XL*(*f*), *XC*(*f*) и всей цепи в целом *Z*(*f*) в диапазоне частот 0<*f*<2*f*0 (рис. 2,2, б)
2. Построить зависимости *I*(*f*), *UR*(*f*), *UL*(*f*), *UC*(*С*) и провести их анализ в различных диапазонах частот (рис.2.2, в)
3. Построить фaзочастотную характеристику – зависимость сдвига фаз между напряжением *U* на клеммах генератора и током *I* в цепи от частоты *f* генератора: *f*) = arctg[(*XL−XC*)/*R*] (рис. 2.2, г)
4. Провести анализ полученных данных с точки зрения режима нагрузки (активно-индуктивная, активно-емкостная) при различных частотах.Объяснить, на каких частотах схема представляется активной, активно-емкостной, активно-индуктивной нагрузкой
5. Построение векторной диаграммы токов и напряжений при различных режимах: при *f*<*f*0; *f* =*f*0;*f*>,*f*0 описано в конспекте лекций
 |

Задача №2.3

Комплексы действующих значений напряжения *Ůk*и тока *İk*цепи (рис. 2.3) с комплексной нагрузкой*Zk*представлены в показательной и алгебраической форме в таблице 2.3. В каждом варианте представлено по два значения напряжения и тока (например, *Ů*1, *İ*1и *Ů*2, *İ*2),записанных в соответствующей форме. Соответственно, каждому варианту соответствует комплексная нагрузка, например, *Z*k, имеющая активную *ReZk* и реактивную*ImZ*kсоставляющие. На этой нагрузке выделяются мощности: полная комплексная *Sk*, активная *Pk* и реактивная*Qk*.



а) б)в)г) д)

Рис. 2.3. Схемы и векторные диаграммы для примера задачи № 2.3

Необходимо рассчитать значения:

− действующих значений напряжений *Uk* и тока *Ik*;

− начальные фазы напряжения *Uk* и тока *Ik*, сдвиг фаз между током и напряжением *k*= *Uk*−*Ik*, град;

− комплексное сопротивление Z*k* в алгебраической и показательной формах;

− активные *ReZk* и реактивные *ImZ*k составляющие комплексных сопротивлений нагрузки Z*k*;

−полные *Sk* в алгебраической и показательной формах, активные *Pk*, и реактивные *Q*k мощности;

- параметры схемы для построения векторной диаграммы для исследуемой цепи;

Таблица 2.3

Задание к задаче № 2.3

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Параметр** | **Последняя цифра номера зачетки** | **Пример** |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** |
| ***t*** | ***n*** | ***t*** | ***n*** | ***t*** | ***n*** | ***t*** | ***n*** | ***t*** | ***n*** | ***t*** | ***n*** |
| ***Ů*1, B** | 60 | 80 | 70 | 90 | 10 | 50 | 90 | 15 | 40 | 54 | 70 | 80 |
| ***İ*1,A** | 25 | 60 | 73 | 25 | 20 | 10 | 50 | 90 | 50 | 45 | 35 | 20 |
| ***Ů*2, B** | 100 | 20 | 68 | 35 | 35 | 45 | 200 | 20 | 150 | 65 | 70 | 30 |
| ***İ*2,A** | 20 | 30 | 60 | 21 | 45 | 20 | 45 | 15 | 10 | 25 | 40 | 50 |
|  | **Последняя цифра номера зачетки** |  |
| **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| ***t*** | ***n*** | ***t*** | ***n*** | ***t*** | ***n*** | ***t*** | ***n*** | ***t*** | ***n*** |
| ***Ů*3, B** | 70 | 32 | 59 | 34 | 90 | 90 | 25 | 75 | 76 | 34 | cм. *U*1 |
| ***İ*3,A** | 68 | 24 | 78 | 25 | 56 | 90 | 20 | 35 | 10 | 54 | cм. *I*1 |
| ***Ů*4, B** | 200 | 45 | 45 | 89 | 210 | 21 | 59 | 21 | 65 | 50 | cм. *U*2 |
| ***İ*4,A** | 23 | 45 | 20 | 65 | 30 | 35 | 0 | 25 | 15 | 37 | cм. *I*2 |
| Выбор условия варианта:*Ů*1 = *t* + *jn*; *İ*1 = *t* + *jn*; *Ů*3 = *t* + *jn*; *İ*3 = *t* + *jn*;*Ů*2 = *tejn*; *İ*2 = *t* + *jn*; *Ů*4 = *tejn*; *Ů*4 = *t* + *jn.* |
| **Методические указания по решению задачи № 2.3**1. Записать задание, соответствующее номеру варианта

*Ů*1= 70+ *j*80, В; *I*1= 35+ *j*20, A; *Ů*2=70e*j*30В; *I*1= 40+ *j*50, A**Определить (рассчитать):**1. **Цепь с напряжением *Ů*1 и *İ*1**
2. Комплексное напряжение *Ů*1 в алгебраической форме

*Ů*1= 70+ +*j*80 В1. Комплексное напряжение *Ů*1 в показательной форме

*Ů*1=*U*e*j**u*1==(*t*2+*n*2)0,5exp[*j*arctg(*n*/*t*)]*Ů*1=106,3е *j*48,84В1. Комплексный ток *İ*1 в алгебраической форме

*I*1=35+*j*20 A1. Комплексный ток *İ*1 в показательной форме

*İ*1=*I*e*j**i*1==(*t*2+*n*2)0,5exp[*j*arctg(*n*/*t*)]*İ*1=40,3е *j*29,75 A1. Угол сдвига фазы = 1 между напряжением *Ů*1 и током *İ*1

= 1=*U*1−*I*1 = 19,08 град1. Величина комплексного сопротивления Z1

Z*k* = *Ůk*/*İk*= *U*eju/*I*ej*I* =(*U*/*I*)ej= *Z*ej*Z*cos*jZ*sin*ReZ* + j*ImZ**Z*1=2,49+*j*1,89 Ом1. Величина активной составляющей комплексного сопротивления Z1

*ReZ*1= 2,49 Ом1. Величина мнимой составляющей комплексного сопротивления Z1

*ImZ*1= 1,89 Ом1. Полная комплексная мощность*S*1

*S*1= *Ůİ\** = *S*e j =*UI*ej=*Р* + *jQ**S*1*=* 4285*еj*19,1*=*= 4050+j1400 ВА1. Активная мощность *Р*1

*Р*1= *UIcos**Р*1*=* 4050Вт1. Реактивная мощность*Q*1

*Q*1=*UIsin**Q*1*=*1400 ВАр1. **Построение векторной диаграммы токов и напряжений для исследуемой цепи:**

Векторная диаграмма строится по следующим этапам:−выбраем масштабы для векторов напряжения и тока (рис. 2.3, *б*), например, 1см - 50 А; 1 см -50 В:- рисуем оси +1 и +j (ось +j направляем, например, вверх);− на комплексной плоскости отмечаем точку, от которой будем строить вектора напряжений и токов (этой точке соответствует точка*а* схемы);− поскольку в задаче задается значения вектора тока *İ*1, то строим его в выбранном масштабе токов с помощью транспортира под углом 29,8о к оси +1;− поскольку в задаче задается значения вектора напряжения *Ů*1, то строим его в выбранном масштабе напряжений под углом 48,8о к оси +1;− определяем, чему равен угол между этими векторами 1. Нарисовать схему замещения для исследуемого варианта

Поскольку вектор *Ů*1 опережает вектор *İ*1 на угол 19о, то делаем вывод, что нагрузка активно-индуктивная, т.е. содержит идеальную индуктивность и резистор (рис*.* 2.3, *в*)1. **Цепь с напряжением *Ů*2 и *İ*2**
2. Комплексное напряжение *Ů*2 в показательной форме

*Ů*2 = 70e*j*30 В1. Комплексное напряжение *Ů*2 в алгебраической форме

*Ů*2 = 60,6 + *j*35 В1. Комплексный ток *İ*2 в алгебраической форме

*I*2 = 40 +*j*50 A1. Комплексный ток *İ*2 в показательной форме

*İ*2=64е *j*51 A1. Угол сдвига фазы = 2 между напряжением *Ů*2 и током *İ*2

= 2=*U*2−*I*2 =-21,37 град1. Величина комплексного сопротивления Z2

Z*k* = *Ůk*/*İk*= *U*eju/*I*ej*I* =(*U*/*I*)ej= *Z*ej*Z*cos*jZ*sin*ReZ* + j*ImZ**Z*2 =1,02−*j*0,39 Ом1. Величина активной составляющей комплексного сопротивления Z2

*ReZ*2 =1,02 Ом1. Величина мнимой составляющей комплексного сопротивления Z2

*ImZ*2 =−0,39 Ом1. Полная комплексная мощность*S*2

*S*2= *Ůİ\** = *S* e j =*UI* e j=*Р* + *jQ**S*2 *=* 4482*е−j*21*=**=*4174−j1632 ВА1. Активная мощность *Р*2

*Р*2= *Uicos**Р*2*=* 4171Вт1. Реактивная мощность*Q*2

*Q*2*= Uisin**Q*2 *=−*1632 вар1. Построить векторную диаграмму токов и напряжений для исследуемой цепи

рис*.* 2.3*, г, д*;нагрузка активно-емкостная1. Нарисовать схему замещения для исследуемого варианта
 |

Задача №2.4

Электрическая энергия мощностью *Р*1 подводится к потребителю (приемнику) с активно-индуктивной нагрузкой (рис. 2.4, *а*) по двужильному кабелю с поперечным сечением*S*. В данном режиме через кабель протекает ток*I*(частота питающего напряжения 50 Гц), значение которого, естественно, меньшенормативно допустимого (предельного) тока*I*прдля используемого кабеля. Действующее значение напряжения на входе сети равно *U*=220 В при коэффициенте мощности соs1

К сети (кабелю), параметры которой представлены в таблице 2.4, требуется подключить дополнительно (параллельно) осветительную (активную) нагрузку мощностью *P*доп. Однако при существующем режиме работы кабеля этого делать нельзя, так как ток нагрузки в подводящем кабеле, естественно, может превысить предельное значение, равное*I*пр.

Увеличение активной мощности сети до заданного значения (*Р*1+ *P*доп) при условии неизменного тока *I* в подводящем кабеле возможно повышением значения коэффициента мощности сети до величины соs2. Это достигается подключением реактивной нагрузки с помощью конденсаторной батареи емкостью*С*, подключаемой параллельно нагрузке (рис. 2.4, *б*). В данном случае до компенсации через кабель протекает ток *İ*, равный *İR* (рис. 2.4, *а*, *в*). После подключения ветвей с активным сопротивлением *R*доп и емкостью*С* (рис. 2.4, *б*) результирующий ток *İ* (ток кабеля) остается прежним, уменьшается лишь сдвиг фаз между *Ů* и *İ* от 1 до 2.



а) б) в)

Рис. 2.4. Схема без (а) и с батареей конденсаторов (б) и векторная диаграмма (в) сети

Таблица 2.4

Задание к задаче № 2.4

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Параметры** | **Последняя цифра номера зачетки** | **Пример** |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| ***I*пр, A** | 156 | 199 | 258 | 321 | 406 | 480 | 199 | 258 | 321 | 406 | 325 |
| ***I*, А** | 145 | 180 | 242 | 300 | 395 | 472 | 184 | 241 | 318 | 399 | 318 |
|  | **Предпоследняя цифра номера зачетки** |  |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| ***Р*1, кВт** | 4 | 6 | 8 | 10 | 15 | 20 | 8 | 9 | 7 | 5 | 42 |
| ***Р*доп, кВт** | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 20 |

Необходимо определить:

- коэффициент мощности соs1 исходной схемы;

- коэффициент мощности соs2 схемы с дополнительной конденсаторной батареей, обеспечивающей работу схемы при дополнительной осветительной нагрузке, но неизменном токе *I* в подводящем кабеле.

**Методические рекомендации по решению задачи№2.4**

|  |
| --- |
| 1. Зарисовать схему и записать задание, соответствующее номеру варианта (рис. 2.5, табл. 2.4)
2. **Определить (рассчитать)**
3. Полная мощность *S*1 цепи до улучшения коэффициента мощности

*S*1=*UI**S*1 = 69960 ВА1. Начальный коэффициент мощности cos1

*P*1*=S*1cos1cos1 = 0,601. Значение 1

1 = 53,13 град1. Реактивная мощность цепи до улучшения коэффициента мощности

*Q*1*= S*1sin1*Q*1 = 559549,99 ВАр1. Суммарную активную мощность, необходимую после подключения новой

нагрузки*P*2*=P*1*+P*доп*P*2 = 62000 Вт1. Улучшенное значение коэффициента мощности cos2 при неизменной полной мощности сети

*P*2*=S*1cos2cos2=0,8861. Значение 2

2 = 27,61 град1. Добавочный ток осветительной нагрузки

*I*доб=*P*доп/*U**I*до б= 90,91 A1. Величина реактивной мощности *Q*2, потребляемой из сети после изменения

*Q*2=*S*1sin2*Q*2=32419,9 вар1. Изменение реактивной мощности *Q*

*Q*=*Q*1−*Q*2*Q*= 23540,09 вар1. Необходимая дополнительная реактивная мощность *QС*, обеспечиваемая батареей конденсаторов

*QС* =*Q**QС*= 23540 вар1. Значение емкости*С* батареи конденсаторов

*QС*= *U*2*C**C*= 1548,93 мкФ1. Нарисовать и письменно объяснить векторную диаграмму (рис. 2.8, *в*)*.*
 |

Раздел 3. ЗАДАЧИ ПО ТЕМЕ

″ТРАНСФОРМАТОРЫ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ″

Задача № 3.1

Однофазный трансформатор типа ОСЗМ-6,3-74.ОМ5 и трехфазный типа ТСЗМ-25-74.ОМ5 работают как понижающие трансформаторы.

Таблица 3.1

Параметры исследуемых трансформаторов

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Тип трансформатора** | ***S*н, кВА** | ***U*1н, В** | ***U*2н, В** | ***Р*0, Вт** | ***Р*кз, Вт** | ***u*кз, %** | ***I*0, %** |
| **ТСЗМ-25-74.ОМ5** | 25 | 220 | 133 | 157 | 576 | 3,15 | 2,5 |
| **ОСЗМ-6,3-74.ОМ5** | 6,3 | 400 | 230 | 45,2 | 156 | 2,65 | 4 |

Пользуясь техническими данными (табл. 3.1), рассчитайте:

− коэффициент трансформации *n*;

− токи вторичных обмоток;

− напряжение на вторичной обмотке *U*2 при активно-индуктивной нагрузке, составляющей 1 от номинальной нагрузки;

− значения сos1, КПД при cos2 и нагрузке, составляющей 2 от номинальной;

− годовой КПД, если с полной нагрузкой ( = 1) при cos1 трансформатор работает *t*р = 7000 часов.

Таблица 3.2

Задание к задаче № 3.1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Параметр** | **Последняя цифра номера зачетки** | **Пример** |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| **1** | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,5 | 0,7 | 0,6 | 0,8 | 0,7 |
| **cos1** | 0,8 | 0,7 | 0,65 | 0,7 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,9 | 0,6 |
|  | **Предпоследняя цифра номера зачетки** |  |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| **2** | 0,75 | 0,8 | 0,7 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,6 | 0,95 | 0,9 | 0,6 | 0,7 |
| **cos2** | 0,9 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,8 | 0,5 | 0,8 | 0,7 | 0,5 | 0,8 | 0,5 |

**Методические рекомендации по решению задачи№ 3.1**

1. Записать задание, соответствующее номеру варианта. Письменно пояснить физическое значение параметров*S*н, *U*1н, *U*2н,*Р*0, *Р*кз, *u*кз, *I*0,1, соs1, 2, соs2 (табл. 3.1)
2. **Определить (рассчитать) параметры трансформаторов**

**ОСЗМ-**

**ТСЗМ**

1. Коэффициент трансформации *n*

*n*= *U*1н/*U*2н

*n*= 1,74

*n*=1,65

1. Номинальный ток *I*1н первичной обмотки

– для однофазного:*I*1н *= S*н*/U*1н

– для трехфазного:*I*1н *= S*н*/√*3*U*1н

*I*1н = 15,75 А

*I*1н = 15,75 А

1. Номинальный ток *I*2н вторичной обмотки

– для однофазного:*I*2н*=S*н*/U*2н

– для трехфазного:*I*2н*=S*н*/√*3*U*2н

*I*2н = 27,4 А

*I*2н = 108,5 А

1. **Расчет напряжения на вторичной обмотке *U*2 при активно-индуктивной нагрузке**
2. Процент активной части напряжения короткого замыкания *u*ка,%

*u*ка= Ркз100/*S*н

*u*ка= 2,48 %

*u*ка=2,3 %

1. Процент реактивной части напряжения короткого замыкания *u*кр,%

*u*кр = (*u*кз2 - *u*ка2)0,5

*u*кр = 0,94 %

*u*кр = 2,1 %

1. Относительные потери напряжения*u*2,%

*u*2=1(*u*каcos1 + *u*крsin2)

*u*2 = 1,44 %

*u*2 = 2,1 %

1. Напряжениe на вторичной обмотке *U*2

*U*2 =*U*2н(1 −*u*2/100)

*U*2=227 В

*U*2=225 В

1. Значение КПД при cos2 и нагрузкой 2

η=2*S*нcos2/(2Sнcos2+*P*0+22*P*кз)

η = 0,95

η = 0,83

1. **Расчет годовой (за*Т* = 8760 час) КПД** η**г при полной нагрузке ( = 1) при cos1**
2. Полезная мощность, отдаваемая трансформатором потребителю электроэнергии при номинальной нагрузке

*Р*2н = Sнcos2

*Р*2н = 3,15 кВт

*Р*2н = 12,5 кВт

1. Энергия, отдаваемая трансформатором потребителю за год

*W*2 *= Р*2н*t*р

*W*2 *=* 22050 кВт⋅ч

*W*2 *=* 87500 кВт⋅ч

1. Энергия, потребляемая трансформатором за год в режиме ХХ хода

*W*0 *= Р*0*Т*

*W*0=390 кВт⋅ч

*W*0=1356 кВт⋅ч

1. Энергия, теряемая в проводах обмотки трансформатора при номинальной нагрузке за время *t*р

*W*кз*= t*р*P*кз

*W*кз*=*1092 кВт⋅ч

*W*кз*=*4032 кВт⋅ч

1. Суммарная энергия, потребляемая трансформатором за год

*W= W*2 *+ W*0 *+ W*кз

*W*= 23538 кВт⋅ч

*W*= 92888 кВт⋅ч

1. Годовой КПД ηг

ηг = *W*2/ *W*

ηг =93,7 %

ηг = 94,2 %

Задача № 3.2

В таблице 3.3 представлены паспортные данные трехфазного короткозамкнутого асинхронного двигателя АД, длительно работающего на промышленной частоте *f*1 = 50 Гц при частоте вращения ротора *n*. Двигатель исполняется на напряжение *U*1ф/*U*1л =220/380 В (фазное/линейное).



Рис. 3.1. Схема к задаче № 3.2

Таблица 3.3

Задание к задаче № 3.2

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Параметры** | **Последняя цифра номера зачетки** | **Пример** |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| **Параметры асинхронного двигателя** |  |
| **Р, кВт** | 17 | 30 | 13 | 40 | 100 | 10 | 17 | 75 | 17 | 55 | 17 |
| ***n*н, об/мин** | 2900 | 2900 | 1450 | 1460 | 1470 | 965 | 965 | 725 | 725 | 730 | 965 |
| **Км*M*max/*М*н** | 2,2 | 2,2 | 2 | 2 | 2 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,8 |
| ***r*20,Ом** | 0,19 | 0,12 | 0,27 | 0,07 | 0,02 | 0,46 | 0,25 | 0,59 | 0,23 | 0,06 | 0,25 |
|  | **Предпоследняя цифра номера зачетки** |  |
| **0** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** |
| ***t,* o*C*** | 75 | 80 | 78 | 82 | 85 | 65 | 72 | 78 | 82 | 69 | 75 |

С учетом данных требуется определить:

− электромеханические моменты двигателя *М*max и*М*н;

− параметры упрощенной Г-образной схемы замещения (рис. 3.1) асинхронного двигателя:

− активное сопротивления *r*1фазы обмотки статора в нагретом состоянии с учетом температурного коэффициента сопротивления  меди ;

*−*приведенное сопротивление фазы обмотки ротора*r*2′ в нагретом состоянии;

*−*реактивное сопротивление *x*к, равное *x*к *=x*1 *+ x*2′.

Таблица 3.4

Зависимость синхронной частоты Ω вращения ротора от числа полюсов *р*

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| ***р*** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| ***n*0, об/мин** | 3000 | 1500 | 1000 | 750 | 600 |
| **Ω, рад/с** | 314 | 157 | 105 | 78,5 | 63 |

**Методические рекомендации по решению задачи№ 3.2**

1. Записать задание, соответствующее номеру варианта. Письменно пояснить схему замещения, физическое значение параметров*Р*, Км*M*max, *М*н, *р,r*20, *r*1,*r*2′, *x*1,*x*2′, *x*к, *x*0*, r*0 (рис. 3.1, табл. 3.3)
2. **Определить (рассчитать)**
3. Активное сопротивление *r*1 обмотки статора машины в нагретом состоянии c учетом  = 0,00428 град−1

*r*1(*t*) = *r*20[1 + (*t*- 20)]

*r*1(*t*) = 0,313 Ом

**Определение величины скольжения *s*и частоты тока *f*2в роторе**

1. Зная, что ротор двигателя при номинальной нагрузке вращется с частотой *n*н, близкой к частоте врашения поля *n*1, находим в ряду возможных частот (табл. 3.4) ближайшую к номинальной частоте вращения ротора

*n*1 = 1000 об/мин

1. Определение числа полюсов в асинхронном двигателе

*n*1 = 60*f*1/p

*p =* 3

1. Определение синхронной угловой частоты вращения

2*f*1/*p*

104,6 рад/с

1. Определение величины номинального скольжения *s*н

*s*н*=* (*n*1−*n*)/*n*1

*s*н= 0,035

1. Определение частоты *f*2 тока в роторе

*f*2=*s*н*f*1

*f*2=1,75 Гц

**Определение электромагнитной мощности** *Р*эм **и электромагнитных моментов**

1. Определение электромагнитной мощности двигателя *Р*эм при номинальной нагрузке с учетом, того что *Р*2≡*P*

*Р*эм = *Р*2/(1- *s*н)

*Р*эм = 17617 Вт

1. Определение электромагнитного момента*М*н при номинальной нагрузке

*М*н= *Р*эм/

*М*н= 168 нм

1. Определение максимального электромагнитного момента *М*max при критической нагрузке

*М*max= Км*М*н

*М*max= 303 нм

**Определение реактивного сопротивления *Х*к и приведенного активного сопротивления *r*2**′

1. Используя формулу, описывающую максимальный электромагнитный момент *М*mах, определить значение *Х*к

*М*mах = 3*U*1ф2/{[*r*1+(*r*12+*Х*к2)0,5]}

*Х*к= 1,95 Ом

1. Используя формулу, описывающую номинальный электромагнитный момент*М*н, определить значение *r*2′

*М*н= 3*U*1ф2(*r*2′/s)/{[(*r*1 +*r*2′/s)2 +*Х*к2]}

*r*2′= 0,25 Ом