МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КРАСНОЯРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ

ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Л.Ф. СИЛИН

### ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

### **СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ**

## СБОРНИК ЗАДАЧ

# КРАСНОЯРСК 2005

**В В Е Д Е Н И Е**

Электрические машины – это один из наиболее важных элемен-тов систем производства и распределения электроэнергии, устройств автоматизированного электропривода и технологического промышлен-ного оборудования. Основанное на ясном понимании физических яв-лений умение определять параметры и характеристики электрических машин, грамотно использовать эти машины в конкретных техноло-гических условиях и различных режимах работы необходимо для инженеров электротехнических специальностей.

Предлагаемое учебное пособие предназначено для активизации самостоятельной работы студентов при изучении курсов “Электри-ческие машины” и “Электромеханика” с целью улучшения практи-ческой инженерной подготовки будущих специалистов к их профес-сиональной деятельности.

Сборник задач соответствует программе раздела “Синхронные машины” дисциплин “Электрические машины” направления подго-товки 654500 – “Электротехника, электромеханика и электротехноло-гии” (спец. 180400, 180500, 180700) и “Электромеханика” направле-ния подготовки 650900 – “Электроэнергетика” (спец. 100100, 100200, 100400, 101900) и может быть рекомендован студентам других элек-тротехнических специальностей. Сборник задач содержит пятьдесят индивидуальных вариантов задач, вследствие чего для их решения требуется сознательная самостоятельная работа каждого студента.

В начале приведены ссылки на рекомендуемую литературу с указанием необходимых для решения той или иной задачи разделов. Пользуясь этими ссылками, можно повторить или изучить основные теоретические положения, необходимые для решения конкретной за-дачи. Список рекомендуемой литературы, на которую сделаны ссыл-ки, приведен в конце сборника задач. Условия общих для всех ва-риантов задач № 3–6, 8, 11, 13, 14, 15 приведены после раздела “Ре-комендуемая литература”.

В каждом из вариантов задачи распределены в порядке, соот-ветствующем общепринятой последовательности изучения теорети-ческого материала. Сначала даны наиболее простые задачи, служа-щие для лучшего понимания устройства и принципа действия, ме-тодов исследования, способов определения параметров и характе-ристик синхронных машин. Далее следуют более сложные задачи по изучению свойств машины и возможности работы в конкретных эксплуатационных режимах. Поэтому решать задачи целесообразно

в заданном порядке, начиная с первой.

Большинство синхронных машин, технические данные которых использованы в условиях задач, предназначены для включения в сеть с частотой изменения напряжения 50 Гц. Поэтому в тех случа-ях, когда это не оговорено специально, следует принимать частоту сети *f*1 = 50 Гц. Активные сопротивления обмоток машин приведены к рабочей температуре. Расчеты следует выполнять в международ-ной системе измерения физических величин (СИ).

# **Р Е К О М Е Н Д У Е М А Я Л И Т Е Р А Т У Р А**

# **К задачам 1, 2**

[ 1 ] – параграфы 1.7–1.12, 1.15, 4.1–4.5

[ 2 ] – параграфы 1.7–1.13, 4.1–4.5

[ 3 ] – гл. 22–27, параграфы 51.1–51.4, 53.1–53.3, 54.1–54.3

[ 4 ] – гл. 20–22, параграфы 19.21, 19.3, 32.1, 32.4, 33.2

[ 5, часть 1 ] – параграфы 3.1 – 3.5

[ 5, часть 2 ] – параграфы 8.1–8.5

[ 6, часть 2 ] – гл. 2–4, параграфы 1.1–1.6, 11.1, 11.2,

# **К задачам 3–8**

[ 1 ] – параграфы 1.16, 4.3–4.10

[ 2 ] – параграфы 1.13, 4.3–4.10

[ 3 ] – параграфы 54.1–54.5, 55.1–55.4, 57.1–57.5

[ 4 ] – параграфы 32.1–32.4, 33.1–33.3

[ 5, часть 2 ] – параграфы 8.4–8.8

[ 6, часть 2 ] – гл. 8, 9; параграфы 11.1–11.7

[ 7 ] – пункты 2.3.3–2.3.6

# **К задаче 9**

[ 1, 2 ] – параграфы 3.8, 4.8

[ 3 ] – гл. 56

[ 4 ] – параграф 35.2

[ 6, часть 2 ] – параграф 11.8

# **К задачам 10, 11**

[ 1, 2 ] – параграфы 4.11–4.14, 4.16

[ 3 ] – параграфы 58.1–58.7, 58.9

[ 4 ] – параграфы 35.1–35.5

[ 5, часть 2 ] – параграфы 8.9–8.11

[ 6, часть 2 ] – параграфы 12.1–11.5

[ 7 ] – пункты 2.3.7, 2.3.8

# **К задаче 12**

[ 1, 2 ] – параграфы 4.15, 4.16

[ 3 ] – параграфы 58.10, 58.11

[ 4 ] – параграфы 37.1, 37.2

[ 5, часть 2 ] – параграф 8.13

[ 6, часть 2 ] – параграфы 13.1–13.5

# **К задачам 13–15**

[ 1, 2 ] – параграфы 4.11, 4.12, 4.17–4.19, 4.21

[ 3 ] – гл. 60, 61; параграфы 58.1, 58.2, 59.1–59.4

[ 4 ] – гл. 33, 34, 38, 39; параграф 35.1

[ 5, часть 2 ] – параграфы 8.9, 8.18, 8.19

[ 6, часть 2 ] – параграфы 12.1, 12.2, 14.3, 15.8, 15.9, 16.1, 16.3

# **О Б Щ И Е З А Д А Ч И**

3. Для синхронного гидрогенератора с данными, приведенными в табл. П1, определите номинальные фазные напряжение и ток обмотки якоря, базисное сопротивление и сопротивления обмотки якоря в относительных единицах. Номер задания в табл. П1 соответствует номеру варианта решаемых задач.

4. Определите с помощью реактивного треугольника (треуголь-ника короткого замыкания) приведенную к обмотке возбуждения маг-нитодвижущую силу (МДС) якоря *F*\**a d f* Н(*F*\**a f* Н) при номинальной нагрузке синхронного гидрогенератора. Данные генератора приведе- ны в табл. П1. Номер задания в табл. П1 соответствует номеру ва-рианта решаемых задач. Нормальная характеристика холостого хода (х.х.х.) приведена в табл. П2.

5. Используя исходные данные и результаты решения задач № 3, №4, определите при помощи диаграммы Потье МДС возбуждения *F*\* *f* Н в режиме номинальной нагрузки генератора: а) без учета и б) с учетом насыщения магнитной системы машины.

6. Для синхронного гидрогенератора, данные которого исполь-зованы при решении задач № 3 и № 4, определите при помощи ди-аграммы Блонделя МДС возбуждения *F*\* *f* Н в режиме номинальной нагрузки с учетом насыщения магнитной системы машины. Сравни-те результаты решения задач №5 и №6.

8. Используя исходные данные и результаты решения задач № 3, № 4, рассчитайте графически внешнюю характеристику синхронного генератора при изменении нагрузки от нуля до номинальной и неизменном номинальном коэффициенте мощности. Для решения задачи допустимо по разрешению преподавателя использовать диаграмму Потье.

11. Для синхронного гидрогенератора с данными, приведенными в табл. П1, рассчитайте графически *U*-образные характеристики для трех режимов работы с постоянной активной мощностью: *Р*\* = 0; *Р*\* = 0,5*Р*\*Н; *Р*\* = *Р*\*Н. Для решения задачи допустимо по разрешению преподавателя использовать диаграмму Потье.

13. Для гидрогенератора с данными, приведенными в табл. П1, определите в относительных единицах и в А установившиеся токи одно-, двух- и трехфазного короткого замыканий, а также ударный (максимально возможный) ток трехфазного короткого замыкания, при условии что генератор работал с номинальным напряжением: а) в режиме холостого хода; б) в режиме номинальной нагрузки. При определении токов короткого замыкания используйте результаты решения задач № 5 и № 6.

14. Для генератора с данными, приведенными в табл. П1, определите наибольший мгновенный ток обмотки якоря в относительных единицах и в А при включении в сеть с номинальным напряжением через трансформатор с сопротивлением *х*\*К = 0,1: а) невозбужденного генератора методом грубой синхронизации (самосинхронизации), б) возбужденного до номинального напряжения генератора методом точной синхронизации при нарушении условий синхронизации. Сопротивление короткого замыкания трансформатора *х*\*К в относительных единицах выражено через базовое сопротивление генератора.

15. Для гидрогенератора с данными, приведенными в табл. П1, определите частоту собственных (свободных) колебаний ротора от-носительно синхронной скорости вращения в режимах: а) холостого хода, б) номинальной нагрузки. Для учета вращающихся частей турбины заданный в табл. П1 момент инерции ротора  *J* следует увеличить: в 1,1–1,15 раза для гидро- и в 1,5 раза для турбоагрегатов.

###### В А Р И А Н Т Ы З А Д А Ч

###### В а р и а н т 1

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной петлевой обмотки со следующими данными: *Z* = 18; 2*p* = 2; *a* = 2; *y* = 0,6τ.

2. Определите частоту вращения магнитного поля синхронного генератора с числом пар полюсов *p* = 4. Частота генерируемого на-пряжения *f*1 = 50 Гц.

7. По характеристикам холостого хода (х.х.х.) и индукционной нагрузочной (и.н.х.) определите индуктивное сопротивление Потье *xР* обмотки статора синхронного турбогенератора*.* Схема соединения об-мотки статора – звезда. Х.х.х нормальная, определенная при номи-нальном токе статора *I*\* = *I*\*Н и.н.х. приведена в таблице.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *F*\* *f* | 1,67 | 2,07 | 2,80 | 3,02 | 3,56 |
| *U*\* | 0,0 | 0,5 | 1,0 | 1,1 | 1,2 |

9. Номинальные данные двухполюсного турбогенератора: линей-ное напряжение *U*НЛ = 15,75 кВ; фазный ток *I*НФ = 8625 А; коэффици-ент мощности cosϕ Н = 0,85; частота *f*1 = 50 Гц. Схема обмотки ста-тора звезда. Потери мощности при номинальной нагрузке: механи-ческие *p*МЕХ = 468 кВт; магнитные *p*М = 394 кВт; потери на возбужде-ние *pf* = 890 кВт; электрические в обмотке якоря (включая добавоч-ные) *p*Э = 1056 кВт. Определите номинальные электрическую актив-ную мощность *Р*2Н; подводимые к валу генератора от турбины ме-ханические мощность *Р*1Н  и момент *М*1Н.

10. Синхронный турбогенератор включен в электрическую сис-тему и работает с номинальной нагрузкой. Статическая перегружае-мость генератора *К*П = 1,66; номинальный коэффициент мощности cosϕ Н = 0,85. Останется ли устойчивой работа генератора при неиз-менном вращающем моменте на валу и уменьшении тока возбужде-ния в 1,9 раза. Насыщением магнитной системы пренебречь.

12. Номинальные данные синхронного двигателя: полезная ме-ханическая мощность на валу *Р*2Н = 800 кВт; *U*НЛ = 6000 В; cosϕ Н = 0,9 (опережающий). Схема обмотки статора звезда; синхронные индук-тивные сопротивления *x*\**d* = 1,52; *x*\**q* = 1,06. Номинальный ток воз-буждения *I*\**f* H = 2,1. Характеристика холостого хода нормальная. Без учета насыщения магнитной системы рассчитайте угловую характе-ристику активной мощности и начертите график этой характеристи-ки. Определите номинальный и максимальный углы нагрузки.

В а р и а н т 2

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной волновой обмотки со следующими данными: *Z* = 24; *p* = 2; *a* = 2; *y* = 5/6τ.

2. Определите действующее значение первой гармонической ли-нейной ЭДС обмотки статора синхронного турбогенератора в режи-ме холостого хода. Основная гармоническая магнитного потока в зазоре машины *Фf* = 2,76 Вб. Частота индуктируемой ЭДС *f*1 = 50 Гц. Схема обмотки статора звезда, число последовательно соединенных витков фазы *w*1 = 14. Коэффициенты укорочения *k*У1 = 0,965; распре-деления *k*Р1 = 0,96.

7. По результатам решения задач № 5 или № 6 определите из-менение фазного напряжения генератора *U*\*в относительных еди-ницах и *U* в В при сбросе номинальной нагрузки и неизменном токе возбуждения *I\* f* = *I\* f* Н. Выделите составляющие *U*\* и *U*, об-условленные действием МДС якоря и падением напряжения на со-противлении рассеяния. Схема обмотки статора звезда.

9. От турбины к валу синхронного гидрогенератора подведен номинальный вращающий момент *М*1Н = 13,2 МНм = 1,32·10 7 Нм. Ро-тор вращается с синхронной частотой *n* *=* *n*1 = 57,69 об/мин. Соеди-ненная в звезду обмотка статора включена в сеть с номинальными линейным напряжением *U*НЛ = 13,8 кВ и частотой *f*1 = 50 Гц. Коэффи-циент мощности номинальный cosφH = 0,85. Потери мощности: элек-трические в обмотке статора (включая добавочные) *р*Э1 = 689 кВт; ме-ханические и магнитные вместе *р*МЕХ + *р*М = 632 кВт; на возбуждение *рf* = 443 кВт. Определите число полюсов машины, номинальный КПД и отдаваемую генератором в сеть полную электрическую мощность.

10. Определите в именованных и относительных единицах пре-дел статической устойчивости синхронного гидрогенератора полной мощностью *S*Н = 206 МВ·А с линейным напряжением *U*НЛ = 15,75 кВ. Схема обмотки статора звезда; синхронные индуктивные сопротив-ления *x*\**d* = 1,0; *x*\**q* = 0,67. Номинальный ток возбуждения *I*\**f* Н = 1,75. Характеристика холостого хода нормальная. Насыщением магнитной системы пренебречь.

12. Определите линейный ток и потребляемую из сети актив-ную электрическую мощность синхронного двигателя со следующи-ми номинальными данными: полезная механическая мощность на ва- лу *Р*2Н = 20 кВт; напряжение 220/380 B; КПД ηН = 92 %, коэффициент мощности cosφН *=* 0,9. Обмотка статора соединена в треугольник.

В а р и а н т 3

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной волновой обмотки со следующими данными: *Z* = 30; *p* = 1; *a* = 1; *y* = 0,87τ.

2. Определите амплитуду и частоту вращения основной гармо-нической магнитодвижущей силы (МДС) обмотки якоря трехфазной синхронной машины со следующими данными: число пар полюсов *р* = 2; число последовательно соединенных витков фазы *w*1 = 305; коэффициенты укорочения *k*У1 = 0,951 и распределения *k*Р1 = 0,954; номинальная частота *f*1 = 50 Гц; номинальный ток якоря *I* = 6 А.

7. У турбогенератора с нормальной характеристикой холостого хода синхронное индуктивное сопротивление *x*\* С = *x*\**d* = 1,86. Опре-делите ток трехфазного установившегося короткого замыкания *I*\* К  при токе возбуждения *I\* f* = 1,5.

9. Номинальные данные гидрогенератора: полная (кажущаяся) мощность *S*Н = 26,2 МВ·А; линейное напряжение *U*НЛ = 10,5 кВ; час-тота напряжения *f*1 = 50 Гц; коэффициент мощности cosφH = 0,8. Об- мотка статора с *р* = 24 соединена по схеме звезда. Потери холосто-го хода *р*ХХ = 331 кВт; номинальные потери короткого замыкания *р*КН = 352 кВт. Рассчитайте зависимость КПД от загрузки при номи-нальном коэффициенте мощности для значений *k*З = 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,25 и начертите график этой зависимости. Определите номи-нальный вращающий момент *М*1Н турбины на валу генератора.

10. Трехфазный двухполюсный турбогенератор с нормальной характеристикой холостого хода включен в электрическую систему с *U* \* = 1,0 и работает с номинальными нагрузкой, током возбужде-ния *I*\* *f* Н = 2,06 и коэффициентом мощности cosφH = 0,8. Синхронное индуктивное сопротивление фазы якоря *x*\*С = *x*\**d* = 1,71. Пренебрегая насыщением магнитной системы, рассчитайте угловую характерис-тику активной мощности, начертите график этой характеристики. Определите номинальный угол нагрузки генератора θН.

12. Известна кратность максимального момента *М*m /*М*Н = 1,7 синхронного двигателя номинальной мощностью *Р*2Н =3200 кВт. Чис- ло пар полюсов *р* = 3. Определите максимальный момент, при кото-ром двигатель удержится в синхронизме, если уменьшить ток возбуж-дения в два раза. Явнополюсностью машины, насыщением магнито-провода и потерями мощности пренебречь.

**В а р и а н т 4**

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной петлевой обмотки со следующими данными: *Z* = 24; 2*p* = 2; *a* = 1; *y* = 0,8τ.

2. В таблице приведена магнитная характеристика (кривая на-магничивания) Φ*f = f* (*Ff* ) трехфазного синхронного турбогенератора с номинальными данными: линейное напряжение *U*НЛ *=* 13,8 кВ; но-минальная частота *f*1 = 50 Гц. Схема обмотки статора звезда; число последовательно соединенных витков фазы статора *w*1 = 14; обмо-точный коэффициент *k*О1 = 0,93. Рассчитайте характеристику холос-того хода генератора в относительных единицах.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Ff* ,А | 3,59·10 3 | 7,33·10 3 | 1,38·10 4 | 2,65·10 4 | 3,15·10 4 |
| *Фf* ,Вб | 1,6 | 2,76 | 3,34 | 3,67 | 3,86 |

7. Определите ОКЗ гидрогенератора со следующими данными: номинальная полная мощность *S*Н = 9,4 МВ·А; номинальное линейное напряжение *U*НЛ *=* 6,3 кВ; продольное синхронное индуктивное со-противление *xd* = 4 Ом. Схема обмотки статора звезда. Характерис-тика холостого хода нормальная.

9. Номинальные данные трехфазного двухполюсного турбогене-ратора: линейное напряжение *U*НЛ *=* 6,3 кВ; частота изменения напря-

жения *f*1 = 50 Гц; фазный ток *I*НФ = 687,3 А; коэффициент мощности cosφН = 0,8. Схема обмотки статора звезда. Суммарные потери мощ-ности при номинальной нагрузке Σ*р* = 145,2 кВт. Определите враща-ющий момент турбины и КПД генератора.

10. Синхронный турбогенератор с нормальной характеристикой холостого хода мощностью *S*Н = 125 МВ·А включен в сеть с номи-нальным линейным напряжением *U*НЛ *=* 13,8 кВ. Обмотка статора со-единена по схеме звезда, синхронное индуктивное сопротивление фа- зы якоря *x*\*С = 1,63.При номинальном токе возбуждения *I*\**f* Н = 2,1 ге-нератор нагружен активной мощностью *Р*\* = 0,7. Определите угол на-грузки генератора. Как изменится угол нагрузки при снижении напря-жения сети в 1,5 раза и неизменной механической мощности на валу. Потерями мощности и насыщением магнитной системы пренебречь.

12. Перегрузочная способность (статическая перегружаемость) восьмиполюсного двигателя *k*П = 1,65. Номинальные данные двигате-ля: *Р*2Н = 1000 кВт; *f*1 = 50 Гц; cosφН = 0,9. Останется ли двигатель в синхронизме при уменьшении тока возбуждения в 1,8 раза и неиз-менном моменте нагрузки на валу *М*2 = 1,082·10 4 Нм. Насыщением магнитопровода, явнополюсностью машины и потерями мощности пренебречь.

**В а р и а н т 5**

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной волновой обмотки со следующими данными: *Z* = 36; *p* = 3; *a* = 2; *y* = 0,8τ.

2. Номинальная мощность турбогенератора *S*Н = 7,5 МВ·А; но-минальное линейное напряжение обмотки статора *U*НЛ *=* 6,3 кВ; но-минальная частота *f*1 = 50 Гц; число пар полюсов *р* = 1; схема соеди-нения фаз статора звезда; число последовательно соединенных вит-ков фазы статора *w*1 = 28; коэффициент укорочения *k*У1 = 0,96; коэф-фициент распределения *k*Р1 = 0,96. Определите амплитуду и частоту вращения основной гармонической МДС якоря.

7. Определите графически индукционную нагрузочную характе-ристику при номинальном токе якоря *I*\*Н гидрогенератора с нормаль-ной характеристикой холостого хода и параметрами обмотки стато-ра *x*\*σ = 0,13, *x*\**a d* = 1,15 и *x*\**a q* = 0,72.

9. Известны номинальные данные двухполюсного турбогенера-тора: частота *f*1 = 50 Гц; фазное напряжение  *U*НФ *=* 11547 В; фазный ток *I*НФ = 16980 А; коэффициент мощности cosφН = 0,85; коэффициент полезного действия ηН = 98,72 %. Потери мощности в режиме номи-нальной нагрузки: магнитные *р*М= 692 кВт; электрические в обмотке якоря *р*Э= 2480 кВт. Определите электромагнитные мощность и мо-мент генератора.

10. Синхронный гидрогенератор включен в электрическую сис-тему и работает устойчиво при пониженном токе обмотки возбуж-дения *I*\**f* = 1,3. Число полюсов машины 2*р* = 24. Номинальные данные генератора: *S*Н = 31,25 МВ·А; *U*НЛ *=* 10,5 кВ; cosφН = 0,85; *f*1 = 50 Гц. Обмотка статора соединена по схеме звезда, синхронные индуктив-ные сопротивления фазы статора *x*\* *d* = 1,1; *x*\**q* = 0,7. Характеристика холостого хода нормальная. Пренебрегая насыщением магнитопрово- да машины, определите в Вт и относительных единицах максималь-ную электромагнитную мощность, до которой может быть нагружен генератор, при условии сохранения статической устойчивости.

12. Синхронный двигатель с номинальными данными: *f*1 = 50 Гц; *U*НЛ *=* 6000 В; *I*НЛ = 140,2 А; ηН = 95,3 % развивает полезную механи-ческую мощность *Р*2Н = 1250 кВт. Определите потребляемую двига-телем из сети активную электрическую мощность, и коэффициент мощности, с которым работает машина.

**В а р и а н т 6**

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной петлевой обмотки со следующими данными: *Z* = 48; *p* = 2; *a* = 4; *y* = 0,8τ.

2. Основная гармоническая магнитного потока обмотки возбуж-дения Ф*f* = 4,33 Вб индуктирует в обмотке статора синхронного тур-богенератора линейную ЭДС *Еf* Л *=* 13800 В частотой *f*1 = 50 Гц. Ко-эффициенты распределения *k*Р1 = 0,955 и укорочения *k*У1 = 0,965 об-мотки статора. Какое число витков фазы соединено последователь-но, если обмотка статора соединена в звезду.

7. Определите синхронное индуктивное сопротивление *x*\* *d* син-хронного гидрогенератора со следующими номинальными данными: полная мощность *S*Н = 18 МВ·А; линейное напряжение *U*НЛ *=* 10,5 кВ.Характеристика холостого хода нормальная. Схема обмотки статора звезда. Ток короткого замыкания *I*\* К = 1,3 при *I*\* *f* = *I*\* *f* Х.

9. Определите механические мощность и момент турбины, вра-щающей ротор гидрогенератора со следующими номинальными дан-ными: *S*Н = 150 МВ·А; *U*НЛ *=* 13,8 кВ; cosφН = 0,9; ηН = 98,39 %. На роторе генератора 80 полюсов. Трехфазная обмотка статора соеди-нена по схеме звезда.

10. Параллельно с электрической системой работает трехфазный синхронный гидрогенератор со следующими номинальными данны-ми: *S*Н = 26,2 МВ·А; *U*НЛ *=* 10,5 кВ; cosφН = 0,8. Схема обмотки ста-тора звезда; синхронные индуктивные сопротивления *x*\* *d* = 0,824; *x*\**q* = 0,611. Характеристика холостого хода нормальная. Генератор несет номинальную нагрузку, при этом ток возбуждения *I*\* *f* Н = 1,64. Рассчитайте и начертите угловую характеристику активной мощнос-ти и определите номинальный угол нагрузки θН генератора. Насы-щением магнитной цепи машины пренебречь.

12. Двухполюсный синхронный двигатель нагружен номиналь-ной мощностью *Р*\*2Н = 0,9. Синхронное индуктивное сопротивление обмотки якоря *x*\* *d* = 1,8. Номинальный ток возбуждения *I*\* *f* Н = 2,2. Характеристика холостого хода нормальная. Останется ли в синхро-низме двигатель при снижении тока возбуждения *I*\**f* в 1,6 раза и не-изменном моменте нагрузки на валу. Если работа двигателя устойчи- ва, определите угол нагрузки θ. В противном случае определите ми-нимальный ток возбуждения, при котором работа двигателя будет ус-тойчивой. Насыщением машины и потерями мощности пренебречь.

##### В а р и а н т 7

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной волновой обмотки со следующими данными: *Z* = 42; *p* = 1; *a* = 1; *y* = 0,7τ.

2. Определите амплитуду основной гармонической индукции магнитного поля якоря трехфазного синхронного генератора со сле-дующими данными: число пар полюсов *p* = 1; число пазов статора *z*1 = 66; шаг обмотки *у* = 27; число последовательно соединенных вит-ков фазы *w*1 = 11; фазный ток статора *I*НФ = 2430 А. Зазор между ста-тором и ротором δ= 43 мм; коэффициент зазора *k*δ = 1,13. Насыще-нием магнитной цепи машины пренебречь.

7. В таблице приведены характеристики холостого хода (х.х.х.) и индукционная нагрузочная (и.н.х.) при номинальном токе якоря синхронного турбогенератора. Определите по х.х.х. и и.н.х. син-хронное индуктивное сопротивление в относительных единицах и в Ом при *U*\* = 0 и *U*\* = 1 на и.н.х. Номинальные данные генератора: полная электрическая мощность *S*Н= 100 МВ⋅А; линейное напряже-ние *U*НЛ = 13,8 кВ. Схема обмотки статора звезда.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *I*\* *f* | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 1,8 | 2,5 | 3,0 | 3,5 |
| *E*\**f* | 0,54 | 1,0 | 1,22 | 1,29 | 1,39 | 1,43 | 1,46 |
| *U*\* | – | – | – | 0,0 | 0,72 | 1,0 | 1,12 |

9. От турбины на вал двухполюсного турбогенератора подает-ся механи­ческий вращающий момент *М*1 = 5,171⋅10 5 Нм. Генератор включен в сеть с линейным напряжением *U*НЛ = 13,8 кВ, фазный ток якоря *I*Ф = 7875 А. Обмотка статора соединена по схеме звезда; ак-тивное сопротивление фазы об­мотки статора *r* = 0,0029 Ом. Ток воз-буждения генератора *I f*  = 1900 А; активное сопротивление цепи воз-буждения *rf* = 0,163 Ом; КПД возбудителя η *f* *=* 95 %. Известны поте-ри мощности в машине: механические *p*МЕХ = 295,5 кВт; магнитные *p*М= 313,8 кВт; добавочные *p*Д = 714,5 кВт. Определи­те КПД и коэф-фициент мощности генератора.

10. Определите, до какой максимальной активной мощности можно нагру­зить синхронный гидрогенератор при потере возбужде-ния (*I f* = 0). Данные гидрогенератора: *S*Н = 91,8 МВ⋅А; *U*НЛ = 13,8 кВ. Схема обмотки статора звезда, синхронные индуктивные сопротив-ления *xd* = 1,49 Ом; *xq* = 1,06 Ом. Насыщением машины пренебречь.

12. Восьмиполюсный синхронный двигатель включен в сеть с частотой *f*1 = 50 Гц, напряжением *U*НЛ = 6 кВ и нагружен номиналь-ной мощностью *Р2*Н = 800 кВт. Номинальные КПД η Н = 94,9 % и ко-эффициент мощности cosϕ Н = 0,9. Определите номинальный полез-ный момент на ва­лу *М*2Н, линейный ток якоря и потребляемую из сети активную мощность.

**В а р и а н т 8**

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной петлевой обмотки со следующими данными: *Z* = 18; *p* = 1; *a* = 1; *y* = 0,7τ.

2. В таблице приведена характеристика холостого хода (х.х.х.) турбогенератора в относительных единицах. Номинальная мощность генератора *S*Н = 62,5 МВ·А; номинальная частота изменения напряже-ния *f*1 = 50 Гц; номинальное линейное напряжение *U*НЛ = 10,5 кВ; ток возбуждения, обеспечивающий номинальное напряжение при холос-том ходе генератора, *I f* Х = 258 А. Схема соединения обмотки стато-ра звезда; число последовательно соединенных витков фазы обмот-ки статора *w*1*=* 11; обмоточный коэффициент *k*О1 = 0,921. Рассчитай-те х.х.х. *Ef = f* (*I f* ) в именованных единицах; определите амплитуду магнитного потока возбуждения при номинальном напряжении гене-ратора.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *I*\**f* | 0,5 | 1,0 | 1,62 | 2,66 | 3,88 |
| *E*\**f* | 0,58 | 1,0 | 1,21 | 1,33 | 1,4 |

7. Используя исходные данные и результаты решения задач № 5 или № 6, определите изменение выходного напряжения *U*\* генера-тора при сбросе нагрузки и неизменном токе возбуждения *I\* f* = *I\* f* Н.

9. Определите в Ом и относительных единицах активное сопро-тивление фазы якоря двухполюсного турбогенератора со следующими номинальными данными: *S*Н *=* 62,5 МВ·А; *U*НЛ = 10,5 кВ; cos Н *=* 0,8;  *f*1 = 50 Гц; электромагнитный момент *М*Н = 1,605·10 5 Нм. Схема об-мотки статора звезда. Магнитные потери генератора *p*М = 298 кВт.

10. В сеть с номинальными частотой *f*1 = 50 Гц и напряжением *U*НЛ = 10,5 кВ включен синхронный двухполюсный турбогенератор мощностью *S*Н *=* 62,5 МВ·А. Ток возбуждения *I\* f* = 1,2. Схема об-мотки статора звезда, синхронное индуктивное сопротивление *x\** С = *x\* d* = 1,78. Характеристика холостого хода нормальная. Будет ли ус-тойчивой работа генератора при вращающем моменте турбины на валу *M*1 = 0,159·10 6 Нм. Потерями мощности и насыщением магнит-ной цепи пренебречь.

12. Синхронный двигатель в номинальном режиме развивает полезный механический момент на валу *M*2Н = 4,775·10 4 Нм. Данные двигателя: *U*НЛ = 6000 В; η Н = 96,2 %; *f*1 = 50 Гц; cos Н = 0,9 (опере-жающий). Число пар полюсов *p* *=* 6. Определите линейный ток яко-ря; потребляемую из сети активную мощность; генерируемую дви-гателем реактивную мощность.

В а р и а н т 9

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной волновой обмотки со следующими данными: *Z* = 48; 2*p* = 8; *a* = 2; *y* = 0,8τ.

2. Определите амплитуды основных гармонических МДС *Ff* 1m и индукции в зазоре *B*δ *f* 1m распределенной обмотки возбуждения двухполюсного турбогенератора. Число витков обмотки возбуждения *wf* = 220; ток возбуждения *If* = 258 А; отношение обмотанной части ротора ко всей окружности ротора γ = 0,727; зазор между статором и ротором δ = 33 мм; коэффициент зазора *k*δ = 1,127. Насыщением магнитной цепи машины пренебречь.

7. По приведенным в таблице опытным характеристикам холостого хода (х.х.х.) и индукционной нагрузочной (и.н.х.) при номинальном токе якоря определите приведенную к обмотке возбуждения МДС якоря *F*\**a f* (*F*\**a d f* ) при токе якоря *I*\* = 0,75. Номинальные данные генератора: полная мощность *S*Н = 62,5 МВ·А; линейное напряжение *U*НЛ = 13,8 кВ; схема обмотки статора звезда.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Ff* , А | 14400 | 28800 | 43200 | 53000 | 72000 | 80800 | 91500 | 109200 |
| *Ef* , В | 4300 | 7970 | 9080 | 9480 | 10120 | 10350 | 10600 | 10840 |
| *U*, В | – | – | – | 0 | 5580 | 7170 | 7970 | 8760 |

9. Определите в именованных и относительных единицах но-минальные электромагнитные мощность и момент двухполюсного турбогенератора со следующими номинальными данными: полная мощность *S*Н = 125 МВ·А; фазное напряжение *U*НФ = 7970 В; коэффи-циент мощности cosφ Н = 0,8; КПД η Н = 98,52 %; частота *f*1 = 50 Гц. Известны потери мощности: механические *p*МЕХ = 243,5 кВт; добавоч-ные *p*Д = 177,4 кВт. Номинальный ток возбуждения *If* Н = 1605 А; ак-тивное сопротивление цепи возбуждения *rf* 75 = 0,1169 Ом; КПД воз-будителя η*f* = 90 %.

10. В электрическую систему включен гидрогенератор с номи-нальными данными: *P*Н = 20 МВт; *U*НЛ = 6,3 кВ; *I*НЛ = 2156 А. Схема соединения обмотки статора звезда, синхронные индуктивные со-противления: продольное *хd* = 2,0 Ом; поперечное *хq* = 1,25 Ом. Опре-делите статическую перегружаемость генератора без учета насыще-ния машины. Ток возбуждения считайте соответствующим номиналь-ному режиму работы.

12. Определите полезный механический момент на валу и КПД синхронного двигателя со следующими номинальными данными: *U*НЛ = 6000 В; *I*НЛ *=* 440,4 А; сosφ Н = 0,9. Потери мощности: холосто-го хода (постоянные) *p*ХХ = 52 кВт; потери короткого замыкания (пе-ременные) при номинальной нагрузке *p*КН = 67,5 кВт. На роторе ма-шины 6 полюсов.

##### В а р и а н т 10

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной петлевой обмотки со следующими данными: *Z* = 36; 2*p* = 4; *a* = 1; *y* = 0,85τ.

2. Определите действующее значение первой гармонической ЭДС обмотки статора синхронного турбогенератора. Амплитуда ос-новной гармонической индукции потока возбуждения *B*δ *f* 1m = 0,829 Тл; частота индуктируемой ЭДС *f*1 = 50 Гц. Схема обмотки статора звез-да; число последовательно соединенных витков фазы статора *w*1 = 10; обмоточный коэффициент *k*О1 = 0,916. Внутренний диаметр статора *D*1 = 1,0 м; расчетная длина статора *l*δ = 3,52 м.

7. Определите ток установившегося трехфазного короткого замыкания *I*\*К при МДС возбуждения *F*\* *f* = *F*\* *f* Н = 2,55. Номинальные данные генератора: активная мощность *Р*Н = 80 МВт; коэффициент мощности cosφ Н = 0,8; линейное напряжение *U*НЛ = 13,8 кВ; схема обмотки статора звезда. Синхронное индуктивное сопротивление *х*С = *хd* = 3,55 Ом. Характеристика холостого хода приведена в таблице.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Ff* , А | 24240 | 43890 | 50900 | 68140 | 89750 | 114800 |
| *Ef* , В | 4620 | 7970 | 8767 | 9644 | 10600 | 111600 |

9. В номинальном режиме гидрогенератора вращающий меха-нический момент на валу *М*1Н = 43,514· 10 6 Нм; частота генерируе-мого напряжения *f*1 = 50 Гц; фазный ток *I*НФ = 26100 А; коэффициент мощности cosφ Н = 0,9. Активное сопротивление фазы обмотки стато-ра *r* = 0,0034 Ом. Полные потери мощности в номинальном режиме Σ*p* = 11066 кВт. На роторе генератора 42 полюса. Определите номи-нальные полную и активную электрические мощности генератора. Рассчитайте зависимость КПД от загрузки *k*З при неизменном cosφ Н для значений *k*З = 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0 1,25.

10. Синхронный гидрогенератор включен в сеть с номинальным напряжением. Синхронные индуктивные сопротивления фазы обмот-ки статора: продольное *х*\* *d* = 1,22; поперечное *х*\* *q* = 0,78. Механичес-кая мощность турбины на валу генератора *P*\*1 = 0,4. Сохранится ли устойчивость работы генератора при потере возбуждения (*I*\* *f* = 0). Потерями мощности пренебречь.

12. Номинальный механический вращающий момент на валу синхронного двигателя *М*2Н = 3,183· 10 4 Нм. Известны номинальные данные двигателя: *U*НЛ = 6000 В; *f*1 = 50 Гц;  *I*НЛ = 222,5 А; сosφ Н = 0,9. Число полюсов 10. Определите потребляемые из сети полную и ак-тивную электрические мощности и КПД двигателя.

##### В а р и а н т 11

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной волновой обмотки со следующими данными: *Z* = 54; 2*p* = 6; *a* = 2; *y* = 0,85τ.

2. Ротор синхронного генератора вращается с угловой механической скоростью Ω = 52,4 рад/с и индуктирует в трехфазной обмотке статора ЭДС *Е*ƒ с частотой  *ƒ*1 = 50 Гц. Определить число полюсов на роторе генератора и частоту вращения МДС якоря машины.

7. В таблице приведены характеристики холостого хода (х.х.х.) и индукционная нагрузочная (и.н.х.) при номинальном токе якоря синхронного генератора с номинальными данными: полная мощность *S*Н= 294 МВ·А; линейное напряжение *U*НЛ= 20 кВ. Схема обмотки статора – звезда. Определите индуктивное сопротивление Потье *хР*.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *I*\* *f* | 0,5 | 1,0 | 1,14 | 1,5 | 2,0 | 2,42 | 3,0 |
| *Е*\* *f* | 0,53 | 1,0 | 1,12 | 1,2 | 1,27 | 1,31 | 1,34 |
| *U*\* | – | – | 0,0 | 0,28 | 0,78 | 1,0 | 1,11 |

9. Определите мощность возбудителя гидрогенератора со следующими номинальными данными: фазный ток *I*Н = 1718 А; фазное напряжение *U*Н= 6062 В; коэффициент мощности сosφ Н = 0,8; КПДη Н= 97,8 %. Потери мощности при номинальной нагрузке: механические *р*МЕХ = 159,1 кВт; магнитные *р*М = 182,9 кВт; электрические в обмотке якоря *р*Э = 57,4 кВт; добавочные *р*Д = 61,7 кВт.

10. Рассчитайте угловую характеристику активной мощности турбогенератора со следующими номинальными данными: активная мощность *Р*Н = 160 МВт; линейное напряжение *U*НЛ = 13,8 кВ; коэф-фициент мощности сosφ Н = 0,85. Схема обмотки статора звезда, син-хронное индуктивное сопротивление фазы статора *х*\*С = *х*\* *d* = 2,47. Начертите график характеристики и определите номинальный угол нагрузки. Насыщением магнитопровода пренебречь.

12. Перегрузочная способность (статическая перегружаемость) синхронного двигателя *k*П= 1,7. Данные двигателя: *Р*2Н = 1250 кВт; *n*Н = 750 об/мин; *f*1 = 50 Гц. Останется ли двигатель в синхронизме при уменьшении тока возбуждения в 2 раза и моменте нагрузки на валу *М*2 = 1,273·10 4 Нм. Если работа двигателя устойчива, то укажите угол нагрузки, с которым работает двигатель после уменьшения тока возбуждения. Если двигатель выпадет из синхронизма, то определите, как и до какой величины следует увеличить ток возбуждения, чтобы обеспечить статическую устойчивость работы двигателя. Явнополюсностью машины, насыщением магнитопровода и потерями мощности пренебречь.

##### В а р и а н т 12

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной петлевой обмотки со следующими данными: *Z* = 30; 2*p* = 2; *a* = 1; *y* = 0,6τ.

2. В таблице приведена магнитная характеристика трехфазного турбогенератора. Номинальные данные генератора: полная мощность *S*Н *=* 62,5 МВ·А; линейное напряжение *U*НЛ *=* 10,5 кВ; частота изменения напряжения *f*1 = 50 Гц. Схема обмотки статора звезда; число последовательно соединенных витков фазы *w*1 = 10; коэффициент уко-рочения *k*У1 = 0,96; коэффициент распределения *k*Р1 = 0,955. Рассчитайте характеристику холостого хода в относительных единицах.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Ff* , А | 1,62·10 4 | 3,11·10 4 | 4,21·10 4 | 5,54·10 4 | 7,67·10 4 |
| *Фf* , Вб | 1,72 | 2,98 | 3,27 | 3,59 | 3,95 |

7. Для синхронного генератора с исходными данными задачи № 4 рассчитайте графически с помощью реактивного треугольника индукционную нагрузочную характеристику при токе якоря *I*\*= 0,5.

9. Определите активную электрическую, электромагнитную и механическую (турбины на валу) мощности двухполюсного турбоге-нератора с номинальными данными: частота *f*1 = 50 Гц; фазный ток *I*НФ = 4182 А; линейное напряжение *U*НЛ *=* 13,8 кВ; коэффициент мощности сosφ Н = 0,8. Схема обмотки статора звезда, активное сопротивление фазы статора *r* = 0,002125 Ом. Напряжение возбуждения *Uf* = 195 В; ток возбуждения *If* = 2007 А. Известны потери мощности: механические *р*МЕХ = 246,3 кВт; магнитные *р*М = 326 кВт; добавочные *р*Д = 193 кВт. Рассчитайте вращающий момент турбины.

10. Двухполюсный турбогенератор работает с номинальным то-ком возбуждения и отдает в электрическую систему активную мощность *Р* = 0,75*Р*Н. Статическая перегружаемость генератора *k*П = 1,7; номинальный коэффициент мощности сosφ Н = 0,8. Оцените устойчивость работы генератора при неизменной механической мощности на валу и уменьшении тока возбуждения в два раза. Если работа генератора устойчива, определите угол нагрузки генератора θ после уменьшения тока возбуждения. Насыщением машины пренебречь.

12. Определите линейный ток и потребляемую из сети мощность для синхронного двигателя со следующими номинальными данными: полезная механическая мощность на валу *Р*2Н = 400 кВт; линейное напряжение *U*НЛ = 6000 В; КПД η Н = 93,4 %; коэффициент мощности сosφ Н = 0,9 (опережающий).

##### В а р и а н т 13

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной волновой обмотки со следующими данными: *Z* = 18; 2*p* = 2; *a* = 1; *y* = 0,8τ.

2. Определите амплитуду и частоту вращения основной гармо-нической МДС якоря трехфазного турбогенератора со следующими данными: номинальная частота *f*1 = 50 Гц; число пар полюсов *р* = 1; номинальный ток якоря *I*Н = 2440 А. В обмотке статора 60 катушек; обмотка статора двухслойная петлевая; шаг обмотки *у* = 25 зубцо-вым делениям; число параллельных ветвей обмотки *а* = 2; все ка-тушки обмотки статора одновитковые.

7. Обмотка статора синхронного гидрогенератора соединена в звезду. Данные гидрогенератора: полная мощность *S*Н = 590 МВ·А;

линейное напряжение *U*НЛ = 15,75 кВ; продольное синхронное индук-тивное сопротивление фазы обмотки якоря *хd* = 0,42 Ом. Характерис-тика холостого хода (х.х.х.) приведена в таблице. Определите ОКЗ.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *I*\**f* | 0 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 |
| *E*\**f* | 0 | 0,54 | 1,0 | 1,22 | 1,28 |

9. Гидрогенератор с числом пар полюсов *р* = 32 включен в сеть частотой *f*1 = 50 Гц с линейным напряжением *U*НЛ = 15,75 кВ. В но-минальном режиме механический вращающий момент, подводимый от турбины на вал генератора, *М*1Н = 52,022·10 6 Нм. Потери мощнос-ти при номинальной нагрузке: механически *р*МЕХ = 3,076 МВт; маг-нитные *р*М = 1,945 МВт; добавочные *р*Д = 0,65 МВт; электрические в обмотке якоря *р*Э = 2,769 МВт; на возбуждение *рf* = 2,285 МВт. Оп-ределите номинальные: активную и полную электрические мощнос-ти; КПД генератора, если коэффициент мощности сosφ Н = 0,85.

10. Номинальные данные трехфазного синхронного гидрогене-ратора: *S*Н = 150 МВ·А; *U*НЛ = 13,8 кВ; сosφН = 0,9. Схема обмотки ста-тора звезда, синхронные индуктивные сопротивления: продольное *xd* = 1,08 Ом; поперечное *хq* = 0,711 Ом. Найденная по продолжению линейной части х.х.х. ЭДС фазы обмотки статора в режиме холос-того хода *Е*\**f* = 1,85. Определите в именованных и относительных единицах предел статической устойчивости генератора.

12. Синхронный двигатель включен в сеть с линейным напря-жением *U*НЛ = 6000 В, частотой *f*1 = 50 Гц и нагружен номинальной мощностью *Р*2Н = 500 кВт. Номинальные коэффициент мощности сosφ Н = 0,9 (опережающий) и КПД η Н = 93 %. На роторе машины 16 полюсов. Определите номинальную частоту вращения ротора, по-лезный механический момент на валу, активную мощность, потреб-ляемую двигателем из сети.

##### В а р и а н т 14

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной петлевой обмотки со следующими данными: *Z* = 36; 2*p* = 6; *a* = 6; *y* = 0,7τ.

2. Определите амплитуды основных гармонических МДС *Ff* 1m и индукции в зазоре *B*δ *f* 1m распределенной обмотки возбуждения двух-

полюсного турбогенератора. Число витков обмотки возбуждения *wf* = 144; ток возбуждения *If* = 258 А; отношение обмотанной части ротора ко всей окружности ротора γ = 0,667; зазор между статором и ротором δ = 60 мм; коэффициент зазора *k*δ = 1,104. К обмотке воз-бужденияподведено напряжение *Uf* = 80 B; активное сопротивление обмотки возбуждения *rf* = 0,118 Ом. Насыщением магнитной цепи машины пренебречь.

7. Двухполюсный турбогенератор с номинальными данными: ак-тивная мощность *P*Н = 500 МВт; линейное напряжение *U*НЛ = 20 кВ; коэффициент мощности cosφН = 0,85 работал с номинальным коэф-фициентом мощности и током якоря *I*\* = 0,75. При этом МДС воз-буждения *F*\**f*= 2,46. Определите в относительных и именованных единицах увеличение напряжения Δ*U* при уменьшении нагрузки до нуля. Выделите составляющие Δ*U*, обусловленные падением напря-жения на сопротивлении рассеяния и реакцией якоря. Обмотка ста-тора соединена в звезду, индуктивное сопротивление рассеяния фазы статора *x*\*σ = 0,24. Характеристика холостого хода дана в таблице.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *F*\**f* | 0,49 | 1,0 | 1,3 | 1,7 | 2,6 | 3,.4 |
| *E*\**f* | 0,58 | 1,0 | 1,1 | 1,21 | 1,33 | 1,4 |

9. Определите активную электрическую мощность; подводимые к валу от турбины механические вращающие мощность и момент в режиме номинальной нагрузки гидрогенератора с следующими дан-ными: *U*НЛ = 10,5 кВ; *I*НЛ = 1440 А; cosφН = 0,8; *f*1 = 50 Гц; число по-люсов ротора 48. Потери мощности при номинальной нагрузке: ме-ханические *р*МЕХ = 88,3 кВт; магнитные *р*М = 138,5 кВт; на возбужде-ние *рf* = 167 кВт; электрические в обмотке якоря *р*Э = 125 кВт; доба-вочные *р*д = 60,4 кВт.

10. Двухполюсный турбогенератор отдаёт в электрическую сис-тему номинальную активную мощность и работает с коэффициентом мощности cosφН = 0,8. Синхронное индуктивное сопротивление об-мотки якоря *x*\*С = *x*\**d* = 2,06. Пренебрегая насыщением магнитной системы, рассчитайте в относительных единицах угловую характе-ристику активной мощности. Определите статистическую перегру-жаемость генератора.

12. Неявнополюсный синхронный двигатель нагружен полезной механической мощностью *P*\*2 = 0,5. Синхронное индуктивное сопро-

тивление фазы обмотки якоря двигателя *x*\*С = *x*\**d* = 1,7. Ток возбуж-дения *I*\**f*= 1,5. Характеристика холостого хода нормальная. Оцените устойчивость работы двигателя. Если работа двигателя устойчива, определите угол нагрузки θ. Насыщением магнитопровода и потеря-ми мощности пренебречь.

**В а р и а н т 15**

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной петлевой обмотки со следующими данными: *Z* = 36; 2*p* = 2; *a* = 2; *y* = 0,75τ.

2. Номинальная мощность турбогенератора *S*Н = 125 МВ·A; но-минальное линейное напряжение *U*НЛ = 13,8 кВ; номинальная частота *f*1 = 50 Гц; число пар полюсов *р* =1; схема обмотки статора звезда; число параллельных ветвей обмотки статора *а*1= 2. Число пазов статора *z*1 = 66; шаг обмотки статора *у*1 = 28. Определите амплитуду и частоту вращения основной гармонической МДС якоря при номинальном токе якоря.

7. Для синхронного гидрогенератора с нормальной характерис-тикой холостого хода и номинальными данными: полная мощность *S*Н = 103,5 MBA; линейное напряжение *U*НЛ = 13,8 кВ определите не-насыщенное продольное синхронное индуктивное сопротивление *х*\**d*. Ток трехфазного короткого замыкания *I*\*К = 0,6 при *I*\* *f* = 0,5. Схема обмотки статора звезда.

9. Определите механические мощность и момент, подводимые от турбины к валу гидрогенератора в номинальном режиме. Данные генератора: *S*Н = 31,25 MB·A; *U*НЛ = 10,5 кВ; cosφН = 0,8; ηН = 96,67 %; *f*1 = 50 Гц. Обмотка статора соединена по схеме звезда. На роторе генератора 16 полюсов.

10. Номинальные данные синхронного двухполюсного турбоге-нератора: *S*Н = 352,9 MB·A; *U*НЛ = 20 кВ. Обмотка статора соединена по схеме звезда, синхронное индуктивное сопротивление фазы обмотки статора *х*\*С = *х*\**d* = 1,87. Механическая мощность турбины на валу *P*\*1 = 0,6. Ток возбуждения *I*\**f* = 2,0. Характеристика холостого хода нормальная. Определите угол нагрузки генератора θ при номинальном напряжении сети и пониженном напряжении *U*\* = 0,6.

12. Данные синхронного двигателя: номинальная полезная мощность на валу *P*2Н = 630 кВт; частота напряжения *f*1 = 50 Гц; частота вращения ротора *n*Н = 500 об/мин. Кратность максимального момента *M*max /*M*Н = 1,95. Определите максимальный момент на валу, при котором двигатель остается в синхронизме, при уменьшении тока возбуждения в 2,5 раза. Явнополюсностью машины, насыщением магнитной системы и потерями мощности пренебречь.

##### В а р и а н т 16

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной волновой обмотки со следующими данными: *Z* = 54; 2*p* = 6; *a* = 1; *y* = 0,85τ.

2. В таблице приведена характеристика холостого хода (х.х.х.) турбогенератора мощностью *S*Н = 294 МВ·A. Номинальное линейное напряжение *U*НЛ = 18 кВ; ток возбуждения, обеспечивающий номинальное напряжение при холостом ходе, *I f* Х = 2370 А; номинальная частота *f*1 = 50 Гц. Схема обмотки статора звезда; число последовательно соединенных витков фазы *w*1 = 9; коэффициент укорочения *k*У1 = 0,958; коэффициент распределения *k*Р1 = 0,955. Число витков обмотки возбуждения *wf* = 72. Рассчитайте х.х.х. *Ef* = *f* (*Ff* ) в именованных единицах; определите амплитуду магнитного потока возбуждения *Фf*  при номинальном напряжении в режиме холостого хода.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *I*\**f* | 0,50 | 1,0 | 1,69 | 2,33 | 3,33 |
| *E*\**f* | 0,58 | 1,0 | 1,21 | 1,33 | 1,4 |

7. Определите ток установившегося трехфазного короткого за-мыкания *I*\*К синхронного генератора при токе возбуждения *I*\**f* = 2,0. Номинальные данные и х.х.х. генератора приведены в задаче № 2. Синхронное индуктивное сопротивление фазы якоря *х*\**d* = 1,98.

9. Известны номинальные данные гидрогенератора: *f*1 = 50 Гц; *U*НЛ = 10,5 кВ; *I*НЛ =3785 A; cosφН = 0,8; ηН = 97,5 % и потери мощности при номинальной нагрузке – механические *р*МЕХ = 521 кВт; на возбуждение *рf* = 163 кВт; добавочные *р*Д = 126 кВт. Определите электромагнитные мощность и момент в номинальном режиме, если число полюсов на роторе генератора равно 14.

10. Двухполюсный турбогенератор включен в электрическую систему в режиме холостого хода с *I\* f*  = *I*\* *f* Х. Номинальные данные генератора: *Р*Н = 1200 MBт; *U*НЛ = 24 кВ; cosφН = 0,9;  *f*1 = 50 Гц. Схема обмотки статора звезда, синхронное индуктивное сопротивление *х*\*С = *х*\**d* = 2,58. Характеристика холостого хода нормальная. Определите в именованных и относительных единицах максимальную активную мощность, которую может отдавать генератор в сеть, оставаясь в синхронном режиме. Насыщением магнитопровода и потерями мощности в машине пренебречь.

12. Синхронный двигатель в номинальном режиме развивает полезный механический момент на валу *М*2Н = 0,509·10 6 Нм. Известны данные двигателя: *U*НЛ = 6000 В; ηН = 95 %; cosφН = 0,9 (опережающий); *f*1 = 50 Гц. Число пар полюсов *р* = 40. Определите линейный ток якоря; потребляемую из сети активную мощность; реактивную мощность, генерируемую двигателем.

##### В а р и а н т 17

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной волновой обмотки со следующими данными: *Z* = 24; *p* = 1; *a* = 2; *y* = 0,8τ.

2. Определите действующее значение первой гармонической ли-нейной ЭДС обмотки статора синхронного турбогенератора в режиме холостого хода. Амплитуда основной гармонической индукции магнитного потока возбуждения *B*δ *f* 1m = 0,929 Тл; частота индуктируемой ЭДС *f*1 = 50 Гц. Схема обмотки статора звезда; число пар полюсов *р* = 1; число параллельных ветвей *а*1 = 2. Число пазов статора *z*1 = 54; шаг обмотки y = 22; обмотка двухслойная петлевая; все катушки обмотки одновитковые. Внутренний диаметр расточки статора *D*1 = 1,255 м; расчетная длина статора *l*δ = 5,6 м.

7. Рассчитайте и начертите характеристику короткого замыкания *I*К = *f* (*If* ) синхронного генератора с индуктивными сопротивлениями фазы обмотки якоря: рассеяния *х*\*σ = 0,21 и взаимоиндукции *х*\**а d* = 2,29, если известны характеристика холостого хода (см. таблицу); номинальная полная мощность *S*Н = 588,2 МВ·A; номинальное линейное напряжение *U*НЛ = 20 кВ. Схема обмотки статора звезда.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *If* , A | 577 | 1185 | 1537 | 2010 | 3045 | 4060 |
| *Ef* , B | 6700 | 11550 | 12700 | 13970 | 15360 | 16170 |

9. Номинальные данные трехфазного синхронного гидрогенератора: *S*Н = 144,44 МВ·A; *U*НЛ = 10,5 кВ; cosφН = 0,9; *f*1 = 50 Гц. Схема обмотки статора звезда. Частота вращения ротора *n*Н = 187,5 об/мин. Потери мощности в режиме номинальной нагрузки генератора: магнитные *р*М = 327 кВт; механические *р*МЕХ = 563 кВт; на возбуждение *рf* = 614 кВт; электрические в обмотке якоря *р*Э = 618 кВт; добавочные *р*Д = 192 кВт. Определите подводимый к валу генератора в номинальном режиме механический вращающий момент турбины. Рассчитайте зависимость КПД от загрузки при постоянном номинальном коэффициенте мощности для значений коэффициента загрузки *k*З, равных: 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,25.

10. Синхронный гидрогенератор отдает в электрическую систему номинальную мощность, работая с током возбуждения *I\* f*  = 1,74. Номинальные данные гидрогенератора: *Р*Н = 215 MBт; *U*НЛ = 15,75 кВ; cosφН = 0,85. Схема обмотки статора звезда, синхронные индуктивные сопротивления: продольное *х*\* *d* = 1,03 и поперечное *х*\**q* = 0,588. Характеристика холостого хода нормальная. Рассчитайте и начертите угловую характеристику активной мощности, определите номинальный угол нагрузки θН. Насыщением машины пренебречь.

12. Двухполюсный синхронный турбодвигатель включен в сеть на холостом ходу с током возбуждения *I*\**f* = *I*\**f* Х. Характеристика хо-лостого хода нормальная. Синхронное индуктивное сопротивление *х*\* С = *х*\* *d* = 2,0. Пренебрегая насыщением магнитной системы и потерями мощности, оцените устойчивость работы двигателя при мощности нагрузки на валу *Р*\*2 = 0,5.

##### В а р и а н т 18

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной петлевой обмотки со следующими данными: *Z* = 36; *p* = 3; *a* = 2; *y* = 0,8τ.

2. Определите число полюсов и частоту вращения магнитодвижущей силы (МДС) якоря синхронного генератора при частоте вращения ротора *n* = 1000 об/мин. Магнитный поток обмотки возбуждения индуктирует в обмотке статора ЭДС частотой *f*1 = 50 Гц.

7. Определите по характеристикам холостого хода (х.х.х.) и ин-дукционной нагрузочной (и.н.х.) при номинальном токе якоря син хронное индуктивное сопротивление в относительных единицах и в Ом для напряжений *U*\* = 0 и *U*\* = 1,0 на и.н.х.

Данные турбогенератора: активная электрическая мощность *Р*Н = 100 МВт; линейное напряжение *U*НЛ = 13,8 кВ; коэффициент мощности cosφН = 0,8. Схема обмотки статора звезда. Х.х.х. и и.н.х. приведены в таблице.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Ff*, A | 27090 | 48890 | 73870 | 97800 | 117200 | 13100 | 15100 |
| *Ef*, B | 4620 | 7970 | 9640 | 10280 | 10520 | 10600 | 10680 |
| *U*, B | – | – | 0 | 3820 | 6850 | 7970 | 8770 |

9. Определите в Ом и относительных единицах активное со-противление фазы обмотки статора двухполюсного синхронного тур-богенератора со следующими номинальными данными: *P*Н = 500 МВт; *U*НЛ = 20 кВ; cosφН = 0,85; η Н = 98,72 %; *f*1 = 50 Гц.Схема обмотки статора звезда. Потери мощности при номинальной нагрузке: меха-нические *р*МЕХ = 966 кВт; магнитные *р*М = 991,8 кВт; на возбуждение *рf* = 1715 кВт; добавочные *р*Д = 791 кВт.

10. К валу синхронного двухполюсного турбогенератора от тур-бины подведен механический вращающий момент *М*1 = 1,273·10 5 Нм. Номинальные данные машины: *Р*Н = 80 МВт; *U*НЛ = 13,8 кВ;  *f*1 = 50 Гц; cosφН = 0,8. Схема обмотки статора звезда, синхронное индуктивное сопротивление *x*\* С= *x*\**d* = 1,87. Оцените статическую устойчивость генератора при токе возбуждения *I*\**f* =1. Характеристика холостого хода нормальная. Насыщением магнитопровода и потерями мощнос-ти пренебречь.

12. Номинальные данные двигателя: *Р*2Н = 5000 кВт; *U*НЛ = 10 кВ; cosφН = 0,9. Схема обмотки статора – звезда; синхронные индуктив-ные сопротивления *x*\**d* = 1,55; *x*\**q* = 1,1. Номинальный ток возбужде-ния *I*\**f* Н = 2,2. Характеристика холостого хода нормальная. Рассчи-тайте угловую характеристику активной мощности и начертите гра-фик характеристики. Определите номинальный и максимальный уг-лы нагрузки. Насыщением магнитопровода и потерями мощности пренебречь.

##### В а р и а н т 19

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной волновой обмотки со следующими данными: *Z* = 48; *p* = 2; *a* = 1; *y* = 0,75τ.

2. Основная гармоническая магнитного потока обмотки возбуж-дения Ф*f*= 5,684 Вб индуктирует в обмотке статора трехфазного синхронного турбогенератора линейную ЭДС *Еf* Л = 18 кВ частотой *f*1 = 50 Гц. Схема обмотки статора звезда. Коэффициент укорочения *k*У1 = 0,958; коэффициент распределения *k*Р1= 0,955. Определите чис-ло последовательно соединенных витков фазы.

7. По номинальным данным гидрогенератора: полная мощность *S*Н = 65,5 МВ⋅А; линейное напряжение *U*НЛ = 10,5 кВ; характеристика холостого хода (см. таблицу); индуктивные сопротивления обмотки якоря: рассеяния *x*σ = 0,27 Ом и взаимоиндукции по продольной оси *xа d* = 1,91 Ом определите графически индукционную нагрузочную характеристику при токе якоря *I*\* = 0,75. Обмотка статора соединена по схеме звезда.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *F*\**f* | 0 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 |
| *E*\**f* | 0 | 0,545 | 1,0 | 1,21 | 1,28 |

9. Определите вращающий механический момент турбины в номинальном режиме гидрогенератора со следующими данными: фаз-ные напряжение *U*НФ = 6351 В и ток *I*НФ = 6700 А; частота *f*1 = 50 Гц; коэффициент мощности cosφН = 0,9. На роторе генератора 20 полю-сов. Потери мощности при номинальной нагрузке ∑*р* = 2276 кВт.

10. Определите статическую перегружаемость синхронного гид-рогенератора со следующими номинальными данными: *S*Н = 66,7 МВ⋅А; *U*НЛ = 11 кВ; cosφН = 0,9. Схема соединения обмотки статора звезда, синхронные индуктивные сопротивления фазы статора: продольное *x*\**d* = 0,88 и поперечное *x*\**q* = 0,54. Насыщением магнитной системы пренебречь.

12. Трехфазный синхронный двигатель с номинальными данными: *U*НЛ = 6 кВ; *I*НЛ = 550 А; η Н = 96,5 % развивает в номинальном режиме полезную механическую мощность на валу *Р*2Н = 5000 кВт. Определите активную электрическую мощность, потребляемую двигателем, и коэффициент мощности при номинальной нагрузке.

##### В а р и а н т 20

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной петлевой обмотки со следующими данными: *Z* = 42; *p* = 1; *a* = 2; *y* = 0,6τ.

2. В таблице приведена кривая намагничивания синхронного генератора с номинальными данными: частота *f*1 = 50 Гц; линейное напряжение *U*НЛ = 18 кВ. Схема обмотки статора звезда; число по-следовательно соединенных витков фазы *w*1 = 9; обмоточный коэф-фициент *k*О1 = 0,915. Рассчитайте характеристику холостого хода в относительных единицах.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Ff* , А | 3,69·10 4 | 7,33·10 4 | 1,24·10 5 | 1,71·10 5 | 2,44·10 5 |
| *Фf* , Вб | 3,3 | 5,68 | 6,88 | 7,56 | 7,96 |

7. Используя исходные данные и результаты решения задач № 5 или № 6, определите в относительных единицах и в А ток ус-тановившегося трехфазного короткого замыкания обмотки якоря син-хроного при номинальной МДС обмотки возбуждения *F*\**f* Н.

9. Определите КПД и коэффициент мощности двухполюсного синхронного турбогенератора в режиме номинальной нагрузки. Но-минальные данные генератора: линейное напряжение *U*НЛ = 13,8 кВ; линейный ток *I*НЛ = 5229 А; вращающий механический момент турби- ны на валу *М*1Н = 3,288·10 5 Нм. Обмотка статора соединена по схе-ме звезда, активное сопротивление фазы статора *r* = 2,032·10 – 3 Ом; Номинальный ток возбуждения *If* Н = 1605 А; активное сопротивление цепи возбуждения *rf* = 0,1169 Ом; КПД возбудителя η*f* = 90 %. Гене-ратор включен в сеть промышленной частоты. Потери мощности в режиме номинальной нагрузки: механические *р*МЕХ = 243,5 кВт; маг-нитные *р*М = 439,2 кВт; добавочные *р*Д = 210 кВт.

10. Синхронный гидрогенератор включен в электрическую сис-тему с номинальным напряжением и нагружен активной электричес-кой мощностью *Р*\* = 0,55. Оцените устойчивость работы генератора при потере возбуждения (*If* = 0), если известны синхронные индук-тивные сопротивления обмотки якоря: продольное *x*\**d* = 1,05 и попе-речное *x*\**q* = 0,6. Потерями мощности пренебречь, момент на валу считать постоянным.

12. Опредеите КПД и полезный механический момент на ва-лу синхронного двигателя со следующими номинальными данными: *U*НЛ = 6000 В; *I*НЛ = 193,5 А; cosφН = 0,85. Потери мощности: холосто-го хода (постоянные) *р*ХХ = 54,4 кВт; короткого замыкания (перемен-ные) при номинальной нагрузке *р*КН = 55 кВт. Число пар полюсов ма-шины *р* = 30; частота напряжения питающей сети *f*1 = 50 Гц.

В а р и а н т 21

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной волновой обмотки со следующими данными: *Z* = 12; 2*p* = 2; *a* = 1; *y* = 0,7τ.

2. Определите амплитуду основной гармонической индукции магнитного поля якоря трехфазного синхронного турбогенератора со следующими данными: число полюсов 2*р* = 2; число пазов стато-ра *z*1 = 54; шаг обмотки *y*1 = 22; число последовательно соединенных витков фазы *w*1 = 9; фазный ток статора *I* = 6800 А. Зазор между ста-тором и ротором δ = 79 мм; коэффициент зазора *k*δ = 1,064. Насыще-нием магнитной цепи машины пренебречь.

7. В таблице приведены характеристики холостого хода (х.х.х.) и индукционная нагрузочная (и.н.х.) при номинальном токе якоря синхронного генератора с номинальными данными: полная мощность *S*Н= 7,5 МВ·А; линейное напряжение *U*НЛ= 6,3 кВ. Схема обмотки статора звезда. Определите индуктивное сопротивление Потье *хР* в относительных единицах и в Ом.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *F*\* *f* | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 1,79 | 2,1 | 2,5 | 2,94 | 3,16 |
| *Е*\* *f* | 0,56 | 1,0 | 1,19 | 1,27 | 1,33 | 1,39 | 1,44 | 1,47 |
| *U*\* | – | – | – | 0 | 0,34 | 0,75 | 1,0 | 1,1 |

9. Определите активное сопротивление цепи возбуждения двух-полюсного турбогенератора, если известны номинальные ток возбуж-дения *If* Н = 476 А; КПД η Н = 97,8 %; вращающий момент турбины на валу генератора *М*1Н = 8,137·10 4 Нм. Потери мощности генерато-ра при номинальной нагрузке: механические *р*МЕХ = 182,9 кВт; маг-нитные *р*М = 159,1 кВт; электрические в обмотке якоря *р*Э = 57,4 кВт; добавочные *р*Д = 61,7 кВт. КПД возбудителя η*f* = 0,92.

10. Параллельно с электрической системой работает синхронный генератор с номинальными данными: *S*Н= 31,25 МВ·А; *U*НЛ= 10,5 кВ; cosφН = 0,8. Обмотка статора соединена в звезду, синхронные индук-тивные сопротивления фазы обмотки якоря: продольное *x*\**d* = 1,22 и поперечное  *x*\**q* = 0,73. Рассчитайте угловую характеристику активной мощности и начертите график характеристики. Определите угол на-грузки генератора в номинальном режиме. Насыщением магнитной системы пренебречь.

12. Номинальный полезный механический момент на валу син-хронного двигателя *М*2Н = 6,016·10 3 Нм. Номинальные данные двига-теля: *U*НЛ = 6000 В; *I*НЛ = 37 А; cosφН = 0,9; *f*1 = 50 Гц. Число пар по-люсов *р* = 6. Определите полную и активную мощности, потребляе-мые двигателем из сети, а также КПД машины в номинальном ре-жиме.

В а р и а н т 22

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной петлевой обмотки со следующими данными: *Z* = 30; *p* = 1; *a* = 2; *y* = 0,6τ.

2. Известны номинальные полная мощность гидрогенератора *S*Н= 26,2 МВ·А; линейное напряжение обмотки статора *U*НЛ= 10,5 кВ; номинальная частота *f*1 = 50 Гц; номинальная частота вращения ро- тора *n*Н = 125 об/мин. Схема соединения обмотки статора звезда; число последовательно соединенных витков фазы *w*1 = 126; обмо-точный коэффициент *k*О1 = 0,94. Определите амплитуду и частоту вращения основной гармонической МДС якоря.

7. Определите ОКЗ синхронного турбогенератора со следующими номинальными данными: *S*Н= 31,25 МВ·А; *U*НЛ= 10,5 кВ. Синхронное индуктивное сопротивление фазы статора *x*C = *xd* = 6,57 Ом. Обмотка статора соединена по схеме звезда. Характеристика холостого хода приведена в таблице.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *F*\* *f* | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 |
| *Е*\* *f* | 0,56 | 1,0 | 1,2 | 1,31 | 1,37 | 1,43 |

9. Определите номинальные электромагнитные мощность и мо-мент синхронного двухполюсного турбогенератора со следующими номинальными данными: *S*Н= 62,5 МВ·А; *U*НФ= 6062 В; cosφН = 0,8; η Н = 98,35 %; *f*1 = 50 Гц. Потери мощности в номинальном режиме: механические *р*МЕХ = 176,7 кВт; на возбуждение *рf* = 115,2 кВт; доба-вочные *р*Д = 85,1 кВт; магнитные *р*М = 298,2 кВт.

10. Какую максимальную активную мощность может отдавать синхронный гидрогенератор при токе возбуждения *If* = 0. Номиналь-ные данные генератора: *S*Н= 107 МВ·А; *U*НЛ= 13,8 кВ; cosφН = 0,8.

Схема обмотки статора звезда, сопротивления фазы обмотки стато-ра: продольное *x*\**d* = 1,44; поперечное *x*\**q* = 0,82.

12. Двухполюсный синхронный двигатель нагружен номиналь-ной мощностью *Р*\*2Н = 0,9. Синхронное индуктивное сопротивление якоря *x*\*С = *x*\**d* = 1,9. Ток возбуждения двигателя *I*\* *f* = 2,4. Характе-ристика холостого хода нормальная. Оцените устойчивость работы двигателя при снижении напряжения сети в 1,2 раза и неизменной нагрузке на валу. Если двигатель останется в синхронизме, то оп-ределите угол нагрузки θ двигателя при пониженном напряжении сети. Если двигатель выйдет из синхронизма, определите, как и до какой величины нужно изменить ток возбуждения, чтобы восстано-вить устойчивость работы двигателя. Потерями мощности и насы-щением машины пренебречь.

В а р и а н т 23

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной волновой обмотки со следующими данными: *Z* = 48; 2*p* = 8; *a* = 1; *y* = 0,8τ.

2. Основная гармоническая магнитного потока возбуждения *Фf* = 0,06 Вб индуктирует в трехфазной обмотке статора ЭДС часто-той *f*1 = 50 Гц. Действующее значение линейной ЭДС равно 400 В. Обмотка статора соединена в звезду; обмоточный коэффициент об-мотки статора *k*О1 = 0,92. Определите число последовательно соеди-ненных витков фазы статора.

7. В таблице приведены характеристики холостого хода (х.х.х.) и индукционная нагрузочная (и.н.х.) при номинальном токе якоря турбогенератора со следующими номинальными данными: активная мощность *P*H = 200 МВт; линейное напряжение *U*НЛ = 15,75 кВ; коэф-фициент мощности cosφH = 0,85. Определите стороны реактивного треугольника в относительных единицах, индуктивное сопротивле-ние Потье *x*\**Р*, приведенную к обмотке возбуждения номинальную МДС обмотки якоря *F*\**a f* Н и рассчитайте графически и.н.х. при то-ке якоря *I*\* = 0,5.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Ff* , А | 36060 | 64940 | 79760 | 94470 | 125800 | 174700 | 209000 | 254000 |
| *Ef* , В | 5460 | 9090 | 10000 | 10780 | 11380 | 12270 | 12800 | 13150 |
| *U*, В | – | – | – | – | 0 | 6500 | 9090 | 10000 |

9. Определите номинальные механическую вращающую мощ-ность турбины, электромагнитную и активную электрическую мощ-ности двухполюсного синхронного турбогенератора. К валу генера-тора от турбины подведен вращающий момент *M*1Н = 6,456·10 5 Нм. Частота тока *f*1 = 50 Гц; ток в фазе обмотки якоря *I*НФ = 8625 А. Ак-тивное сопротивление фазы обмотки якоря *r* = 1,974·10 – 3 Ом. На-пряжение возбуждения *Uf* = 350 В; сопротивление обмотки возбуж-дения *rf* = 0,114 Ом; КПД возбудителя η*f* = 0,92. Потери мощности в режиме номинальной нагрузки: магнитные *p*М = 394 кВт; механичес-кие *p*МЕХ = 468 кВт; добавочные *p*Д = 616 кВт.

10. Синхронный генератор включен в электрическую систему и нагружен номинальной мощностью. Статическая перегружаемость *k*П = 1,6; номинальный коэффициент мощности cosφН = 0,9. Оцените устойчивость работы генератора при медленном кратковременном увеличении момента на валу в 1,6 раза. Если работа генератора ус-тойчива, то определите угол нагрузке θ после увеличения момента на валу.

12. Номинальные данные синхронного двигателя: полезная ме-ханическая мощность на валу *P*2Н = 400 кВт; линейное напряжение *U*НЛ = 6000 В; КПД ηН = 93 %; коэффициент мощности cosφН = 0,833. Определите линейный ток и потребляемую двигателем из сети ак-тивную мощность.

В а р и а н т 24

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной волновой обмотки со следующими данными: *Z* = 24; *p* = 1; *a* = 1; *y* = 0,7τ.

2. Определите амплитуды основных гармонических МДС *Ff* 1m и индукции в зазоре *B*δ *f* 1m распределенной обмотки возбуждения двух-полюсного турбогенератора. Число витков обмотки возбуждения *wf* = 256; отношение обмотанной части ротора ко всей окружности ротора γ = 0,686; зазор между статором и ротором δ = 27мм; коэф-фициент зазора *k*δ = 1,138; ток возбуждения *If* = 158A. Насыщением магнитной цепи пренебречь.

7. В таблице приведена характеристика холостого хода синхрон-ного гидрогенератора. Определите ток установившегося трехфазного

короткого замыкания *I*\*K, если ток возбуждения *I*\**f* = *I\* f* Х. Известны номинальные данные генератора: полная мощность *S*H = 78,8 MB·A; линейное напряжение *U*HЛ = 13,8кВ. Индуктивные сопротивления об-мотки статора: рассеяния *х*σ = 0,484 Ом; продольное взаимоиндукции *ха d* = 2,08 Ом; схема обмотки статора звезда.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *I*\**f* | 0 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 |
| *E*\**f* | 0 | 0,55 | 1,0 | 1,21 | 1,27 |

9. В режиме номинальной нагрузки гидрогенератора механичес-кий вращающий момент турбины *M*1H = 1,024·10 6 Hм; коэффициент мощности cosφН = 0,8; частота напряжения *f*1 = 50 Гц. На роторе ге-нератора 12 полюсов. Потери мощности холостого хода (постоян-ные) *p*ХХ = 601,6 кВт; короткого замыкания (переменные) при номи-нальной нагрузке *p*KH = 632 кВт. Определите активную и полную электрические мощности генератора. Рассчитайте зависимость КПД от загрузки при работе с постоянным cosφН для значений коэффи-циента загрузки *k*З = 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,25.

10. Определите в Вт и относительных единицах предел стати-ческой устойчивости синхронного гидрогенератора со следующими данными: *S*H = 203,5 MB·A; *U*HЛ = 13,8 кВ; cosφН = 0,85. Схема обмот-ки статора звезда, синхронные индуктивные сопротивления обмотки статора: продольное *х*\**d* = 1,05; поперечное *х*\**q* = 0,69. Ток возбужде-ния в режиме номинальной нагрузки  *I*\* *f* Н = 1,81. Характеристика хо-лостого хода нормальная. Насыщением магнитной цепи пренебречь.

12. Синхронный двигатель включен в сеть с линейным напря-жением *U*HЛ = 6000 В, частотой *f*1 = 50 Гц и нагружен номинальной мощностью *P*2H = 800 кВт. Номинальные КПД ηН = 94,5 % и коэффи-циент мощности cosφН = 0,85. На роторе двигателя 12 полюсов. Оп-ределите номинальный вращающий момент, линейный ток якоря и активную мощность, потребляемую двигателем из сети.

В а р и а н т 25

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной волновой обмотки со следующими данными: *Z* = 36; *p* = 3; *a* = 1; *y* = 0,8τ.

2. Определите амплитуду основной гармонической МДС якоря трехфазного синхронного генератора при номинальном токе в об- мотке якоря. Номинальные данные генератора: полная мощность

*S*Н = 40 МВ·А; линейное напряжение *U*НЛ = 6,3 кВ; число полюсов 2*р* = 2; число пазов статора *z*1 = 48. Двухслойная петлевая обмотка якоря соединена по схеме звезда; шаг обмотки *y*1 = 20; число парал-лельных ветвей *а*1 = 2; в каждой катушке обмотки один виток.

7. Турбогенератор со следующими данными: *S*Н = 235 МВ·А; *U*НЛ = 20 кВ работает с МДС возбуждения *F\* f* = 1,7 током нагрузки *I*\* = 0,5 и номинальным коэффициентом мощности cosφН = 0,85. Об-мотка статора генератора соединена в звезду. Характеристика хо-лостого хода приведена в таблице. Определите в относительных единицах и в В увеличение напряжения при отключении генерато-ра от сети и неизменном токе возбуждения.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *F\* f* | 0 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 |
| *E\* f* | 0 | 0,56 | 1,0 | 1,22 | 1,32 | 1,38 | 1,43 | 1,47 |

9. Определите мощность возбудителя синхронного гидрогене-ратора со следующими номинальными данными: линейные напряже-ние *U*НЛ = 13,8 кВ; линейный ток *I*НЛ = 4480 А; коэффициент мощнос-ти cosφН = 0,8; КПД ηН = 97,6 %. Известны потери мощности в ре-жиме номинальной нагрузки: механические *p*МЕХ = 552 кВт; магнит-ные *p*М = 453 кВт; добавочные *p*Д = 418 кВт, электрические в обмот-ке якоря *p*Э = 471 кВт.

10. Турбогенератор отдает в электрическую систему номиналь-ную мощность. Статическая перегружаемость генератора *k*П = 1,7; номинальный коэффициент мощности cosφН = 0,85. Останется ли устойчивой работа генератора при постоянной механической мощ-ности на валу и уменьшении тока возбуждения в 1,8 раза? Если работа машина будет устойчива, то определите угол нагрузки при уменьшенном токе возбуждения.

12. Номинальные данные синхронного двигателя: *Р*2Н = 630 кВт; *U*НЛ = 6 кВ; cosφН = 0,85. Схема обмотки статора звезда; синхронные индуктивные сопротивления обмотки якоря: продольное *х*\**d* = 1,27; поперечное *х*\**q* = 0,89. Номинальный ток возбуждения *I*\**f* Н = 1,92. Ха-рактеристика холостого хода нормальная. Рассчитайте и начертите угловую характеристику. Определите номинальный и максимальный углы нагрузки. Насыщение магнитной системы и потери мощности не учитывайте.

В а р и а н т 26

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной петлевой обмотки со следующими данными: *Z* = 42; *p* = 1; *a* = 1; *y* = 0,65τ.

2. Определите действующее значение основной гармонической фазной ЭДС обмотки статора турбогенератора в режиме холостого хода. Основная гармоническая магнитного потока возбуждения в за-зоре машины *Фf* = 2,21 Вб. Частота индуктируемой в обмотке стато-ра ЭДС *f*1 = 50 Гц. Схема обмотки статора звезда; число последова-тельно соединенных витков фазы *w*1 = 8; обмоточный коэффициент *k*О1 = 0,93. Рассчитайте полную номинальную мощность генератора, если номинальный фазный ток якоря *I*Н = 3660 А.

7. В таблице приведены характеристики холостого хода (х.х.х.) и индукционная нагрузочная (и.н.х.) при номинальном токе якоря синхронного гидрогенератора с номинальными данными: полная мощность *S*H = 134 МВ**.**А; линейное напряжение *U*НЛ = 11 кВ. Схема обмотки статора – звезда. Определите в относительных единицах и в Ом индуктивное сопротивление взаимоиндукции *хa d* при токах возбуждения *I*\**f* = *I*\**f* Х и *I*\**f* Н = 1,8.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *I*\**f* | 0,5 | 0,94 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,14 | 2,6 |
| *E*\**f* | 0,53 | 0,96 | 1,0 | 1,22 | 1,3 | 1,31 | 1,35 |
| *U*\* | – | 0 | 0,06 | 0,61 | 0,94 | 1,0 | 1,1 |

9. Номинальные данные двухполюсного турбогенератора: фаз-ные напряжение и ток обмотки якоря *U*НФ = 7,97 кВ; *I*НФ = 5228 A; коэффициент мощности cosφН = 0,8; частота напряжения  *f*1 = 50 Гц. Потери мощности при номинальной нагрузке: электрические в об-мотке якоре (включая добавочные)  *p*Э = 376,7 кВт; в обмотке воз-буждения *рf* = 337,1 кВт; механические  *p*МЕХ = 243,5 кВт; магнитные *р*М = 439,2 кВт. Определите номинальные активную и полную элек-трические мощности генератора; механические вращающиеся мощ-ности *Р*1Н и момент *М*1Н  турбины. Рассчитайте КПД генератора при номинальной нагрузке.

10. Номинальные данные гидрогенератора: активная мощность *Р*Н = 115 МВт; линейное напряжение *U*НЛ = 11 кВ. Синхронные ин-дуктивные сопротивления обмотки якоря: продольное *х*\**d* = 0,86; по-

перечное *х*\**q* = 0,54. Определите в Вт и в относительных единицах предел статической устойчивости в режиме номинальной нагрузки генератора.

12. Синхронный двигатель в номинальном режиме развивает полезный механический момент на валу *М*2Н = 1,273·104 Нм. Данные двигателя: *U*НЛ = 6000 В; η Н = 93 %; *f*1 = 50 Гц; cosφН = 0,9. Число пар полюсов *р* = 8. Определите номинальный ток якоря; активную мощ-ность, потребляемую двигателем; реактивную мощность, генерируе-мую двигателем.

В а р и а н т 27

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной петлевой обмотки со следующими данными: *Z* = 48; *p* = 2; *a* = 1; *y* = 0,8τ.

2. В таблице приведена характеристика холостого хода турбо-генератора в относительных единицах. Номинальные данные турбо-генератора: полная мощность *S*Н = 40 МВ⋅А; линейное напряжение *U*НЛ = 6,3 кВ; частота *f*1 = 50 Гц. Ток возбуждения, обеспечивающий номинальное напряжение при холостом ходе, *If* Х = 178 А. Схема об-мотки статора звезда. Число последовательно соединенных витков фазы *w*1 = 8; обмоточный коэффициент *k*О1= 0,93. Число витков обмотки возбуждения *wf* = 128. Рассчитайте характеристику холостого хода (х.х.х.) *Еf* = *f* (*Ff* ); определите поток обмотки возбуждения при номинальном напряжении генератора.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *F*\**f* | 0,5 | 1,0 | 1,62 | 2,1 | 2,7 |
| *F*\**f* | 0,58 | 1,0 | 1,21 | 1,33 | 1,4 |

7. Определите ОКЗ синхронного генератора с сопротивления-ми обмотки статора: рассеяния *х*σ = 0,12 Ом; взаимоиндукции по про-дольной оси *хa d* = 1,72 Ом. Номинальные данные и характеристика холостого хода генератора приведены в задаче № 2.

9. Определите механические мощность и момент турбины, под-водимые в режиме номинальной нагрузки к валу гидрогенератора со следующими номинальными данными: частота *f*1  = 50 Гц; полная электрическая мощность *S*Н = 253 МВ⋅А; КПД η Н = 98,3 %; коэффици-ент мощности cosφН = 0,85. Число пар полюсов генератора *p* = 22.

10. Турбогенератор включен в электрическую систему и рабо-тает в режиме номинальной нагрузки с номинальным коэффициент-том мощности cosφН = 0,85. Синхронное индуктивное сопротивление обмотки якоря *х*\* С = *х*\* *d* = 2,62. Пренебрегая насыщением магнитной системы, рассчитайте в относительных единицах угловую характе-ристику активной мощности и определите статическую перегружае-мость генератора. Ток возбуждения соответствует номинальному ре-жиму генератора.

12. Данные синхронного двигателя: *Р*2Н = 630 кВт; *f*1 = 50 Гц. кратность максимального момента *М*m /*М*Н = 1,7. Число пар полюсов машины *р* = 6. Определите максимальный момент нагрузки, при ко-тором сохранится устойчивая работа двигателя, если уменьшить ток возбуждения в 1,8 раза. Явнополюсностью машины, потерями мощ- ности и насыщением магнитной системы пренебречь.

В а р и а н т 28

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной петлевой обмотки со следующими данными: *Z* = 24; *p* = 2; *a* = 1; *y* = 0,8τ.

2. В электрическую систему с частотой напряжения *f*1 = 50 Гц включены двухполюсные турбогенераторы и гидрогенераторы с чис-лом пар полюсов *р* = 25. Определите частоты вращения роторов тур- бо- и гидрогенераторов.

7. В таблице приведены характеристики холостого хода (х.х.х.) и индукционная нагрузочная (и.н.х.) при номинальном токе якоря синхронного турбогенератора. Номинальные данные генератора: ак-тивная электрическая мощность *P*H = 250 МВт; линейное напряжение *U*HЛ = 20 кВ; коэффициент мощности cosφН = 0,85. Схема обмотки ста-тора звезда. Определите индуктивное сопротивление Потье *х*\**Р* (*х*\*σ).

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Ff*, A | 39600 | 79250 | 90300 | 119000 | 158500 | 192000 | 238000 |
| *Ef*, B | 6120 | 11550 | 12950 | 13880 | 14700 | 15150 | 15500 |
| *U*, B | – | – | 0 | 3240 | 9020 | 11550 | 12830 |

9. Определите номинальные КПД и коэффициент мощности синхронного двухполюсного турбогенератора с номинальными дан-ными: фазное напряжение *U*HФ = 11547 В; фазный ток *I*НФ = 16980 А.

Активное сопротивление фазы якоря *r* = 1,484·10 – 3 Ом. Номинальный вращающий момент турбины *М*1Н = 1,612·10 6 Нм. Номинальный ток возбуждения *If* Н = 3611 A при напряжении возбуждения *Uf* = 451 В; КПД возбудителя η *f* = 0,95. Потери мощности в режиме номиналь-ной нагрузки: механические *p*МЕХ = 966 кВт; магнитные *p*М = 692 кВт; добавочные *p*Д = 1760 кВт.

10. Номинальные данные синхронного турбогенератора: полная мощность *S*H = 1111 МВ·А; линейное напряжение *U*HЛ = 24 кВ; коэф-фициент мощности cosφН = 0,9. Схема обмотки статора звезда; син-хронное индуктивное сопротивление *х*\*С = *х*\**d* = 2,9. К валу от турби-ны приложена механическая мощность *P*\*1 = 0,7. Ток возбуждения машины *I*\**f* = 2,2. Характеристика холостого хода нормальная. Оце-ните устойчивость работы генератора. Если работа генератора ус-тойчива, то определите угол нагрузки генератора. Насыщением маг-нитопровода пренебречь.

12. Трехфазный синхронный двигатель с номинальными данны-ми: *U*HЛ = 10 кВ; *I*HЛ = 670 А; η Н = 95,8 % развивает полезную механи-ческую мощность на валу *P*2H = 10000 кВт. Определите электричес-кую потребляемую двигателем из сети активную мощность, и коэф-фициент мощности.

В а р и а н т 29

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной волновой обмотки со следующими данными: *Z* = 48; 2*p* = 4; *a* = 2; *y* = 0,75τ.

2. Определите действующее значение основной гармонической линей­ной ЭДС обмотки статора турбогенератора в режиме холосто-го хода. Основная гармоническая магнитного потока возбуждения в зазоре Ф*f* = 2,81 Вб. Частота индуктированной ЭДС *f*1 = 50 Гц. Схема обмотки статора звезда; обмотка статора двухслойная; число полю- сов обмотки2*p* = 2; число параллельных ветвей *a*1 = 1. Число зубцов статора *z*1 = 42; шаг обмотки *у*1 = 17. Все катушки одновитковые.

7. Для синхронного генератора с данными, приведенными в за-дачах № 3, №4, рассчитайте графически индукционную нагрузочную характеристику при токе якоря *I*\* = 0,8. Изменением сопротивления рассеяния об­мотки статора пренебречь.

9. К валу гидрогенератора в режиме номинальной нагрузки под-ведён механический вращающий момент турбины *М*1Н = 25,257⋅10 6 Нм. Номинальные дан­ные генератора: частота *f*1 = 50 Гц; линейное на-пряжение *U*НЛ = 15,75 кВ; коэффициент мощности cosφН = 0,9. Схема обмотки статора звезда. На роторе генератора 84 полюса. Потери мощности при номинальной нагрузке: механические *p*МЕХ = 793кВт; магнитные *p*М = 493 кВт; на возбуждение *pf* = 643 кВт; электрические в обмотке якоря *p*Э = 837 кВт; добавочные *p*Д = 368 кВт. Определите номинальный КПД, активную и полную электрические мощности, отдаваемые генератором в сеть.

10. Турбогенератор с нормальной характеристикой холостого хо-да вклю­чен в электрическую систему с напряжением *U*\* = 1 и работа- ет с номинальной на­грузкой и коэффициентом мощности cosφН = 0,85. Ток возбуждения генератора *I\* f* H = 3,05. Синхронное индуктивное со-противление обмотки статора *х*\* С = *х*\**d* = 2,51. Пренебрегая насыщени-ем магнитной сис­темы, рассчитайте в относительных единицах угло-вую характеристику активной мощности и начертите график этой ха-рактеристики. Опреде­лите номинальный угол нагрузки θН  машины.

12. Номинальные данные двигателя: *U*НЛ = 6000В; *I*НЛ = 440,4А; cosφН = 0,9. Потери мощности: холостого хода *p*ХХ = 52 кВт; корот-кого замыкания *p*КН = 67,5 кВт. Рассчитайте зависимость КПД двига-теля от нагрузки для значений коэффициента загрузки *k*З = 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,25. Начертите график этой зависимости.

В а р и а н т 30

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной петлевой обмотки со следующими данными: *Z* = 42; *p* = 1; *a* = 2; *y* = 0,65τ.

2. Определить амплитуду и частоту вращения основной гармо-нической МДС обмотки якоря трёхфазного синхронного турбогене-ратора со следующими данными: номинальная частота  *f*1 = 50 Гц; число последовательно соединённых витков фазы статора *w*1= 14; число пар полюсов *p* = 1; коэффициент укорочения обмотки статора *k*У1= 0,956; коэффициент распределения *k*Р1= 0,956; номинальный фазный ток якоря *I*HФ= 4200 А.

7. По приведённым в таблице характеристикам холостого хода (х.х.х.) и индукционной нагрузочной (и.н.х.) при номинальном токе якоря определите приведённую к обмотке возбуждения МДС якоря *F*\**a f* при токе якоря *I*\* = 0,5. Данные турбогенератора: номинальные полная электрическая мощность *S*H= 125 МВ·А и линейное напря-жение *U*НЛ = 10,5 кВ; схема обмотки статора звезда.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Ff* , А | 27090 | 48890 | 73870 | 97800 | 117200 | 131000 | 151000 |
| *Ef* , В | 4620 | 7970 | 9640 | 10280 | 10520 | 10600 | 10680 |
| *U* , В | – | – | 0 | 3820 | 6850 | 7970 | 8770 |

9. Номинальные данные двухполюсного турбогенератора: пол-ная электрическая мощность *S*H= 31,25 МВ·А; линейное напряжение *U*НЛ = 10,5 кВ; коэффициент мощности cosφН = 0,8; частота *f*1= 50 Гц. Обмотка статора соединена по схеме звезда. Потери мощности в но-минальном режиме генератора: магнитные *p*М = 143 кВт; механи-ческие *p*МЕХ= 129 кВт; на возбуждение *pf* = 72 кВт; электрические в обмотке якоря *p*Э = 208 кВт; добавочные *p*Д = 37 кВт. Определите ме-ханический момент *М*1Н турбины, вращающей ротор турбогенерато-ра. Рассчитайте зависимость КПД от нагрузки при работе с посто-янным коэффициентом мощности cosφН для значений коэффициента загрузки *k*З = 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,25.

10. Двухполюсный турбогенератор работает параллельно с элек-трической системой при токе возбуждения *I*\**f* = 1,5. Номинальные дан-ные генератора: *S*H = 888 МВ·А; *U*НЛ = 24 кВ; cosφН = 0,9; *f*1= 50 Гц. Обмотка статора соединена по схеме звезда, синхронное индуктив-ное сопротивление фазы статора *х\** C= *х*\**d* = 2,44. Характеристика хо-лостого хода нормальная. Определите в Вт и в относительных еди-ницах максимальную электромагнитную мощность, до которой мож-но нагрузить генератор при условии сохранения статической устой-чивости. Насыщением магнитопровода пренебречь.

12. Определите полезный механический момент *М*2 на валу и КПД синхронного двигателя со следующими данными: *U*НЛ= 10 кВ; *I*НЛ = 829,6 А; cosφН = 0,9. Потери мощности холостого хода (посто-янные) *p*ХХ = 180 кВт; короткого замыкания (переменные) при номи-нальной нагрузке  *p*КН = 237 кВт. Число пар полюсов машины *р* = 14.

В а р и а н т 31

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной петлевой обмотки со следующими данными: *Z* = 30; *p* = 1; *a* = 1; *y* = 0,7τ.

2. Ротор синхронного генератора вращается с угловой механи-ческой скоростью Ω = 78,5 рад/сек. Магнитный поток обмотки воз-буждения индуктирует в трёхфазной обмотке статора ЭДС частотой *f*1 = 50 Гц. Определите число полюсов машины и частоту вращения основной гармонической магнитодвижущей силы (МДС) якоря.

7. Рассчитайте и начертите характеристику короткого замыка-ния *I*К = *f* (*Ff* ) синхронного генератора с индуктивными сопротивле-ниями обмотки якоря: рассеяния *х*\*σ = 0,11 и продольным взаимоин-дукции *х*\**a d* = 1,73. Номинальные данные турбогенератора: активная электрическая мощность *P*Н = 100 МВт; линейное напряжение обмот-ки якоря *U*НЛ = 13,8 кВ; коэффициент мощности cosφН = 0,8. Схема обмотки статора звезда. Характеристика холостого хода приведена в таблице.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Ff* , А | 144000 | 28800 | 43200 | 53000 | 72000 | 80800 | 91500 | 109200 |
| *Ef* , В | 4300 | 7970 | 9080 | 9480 | 10120 | 10350 | 10600 | 10840 |

9. К валу ротора гидрогенератора с числом пар полюсов *р* = 40 подведён номинальный вращающий механический момент турбины *M*1Н = 22,855·10 6 Нм. Номинальные КПД η Н = 98,05 % и коэффици-ент мощности cosφН = 0,9. Частота напряжения *f*1 = 50 Гц. Известны потери мощности при номинальной нагрузке: электрические в об-мотке якоря *p*Э = 847 кВт; магнитные *p*М = 653 кВт. Определите но-минальные электромагнитные мощность и момент генератора.

10. Рассчитайте и начертите угловую характеристику активной мощности синхронного гидрогенератора со следующими номиналь-ными данными: *P*Н = 176 МВт; *U*НЛ = 13,8 кВ; *I*НЛ = 8170 А. Обмотка статора соединена по схеме звезда, синхронные индуктивные сопро-тивления: продольное *х*\**d* = 0,61; поперечное *х*\**q* = 0,53. Определите номинальный и максимальный углы нагрузки генератора. Насыще-ние магнитопроводов не учитывайте.

12. Двухполюсный синхронный двигатель нагружен номиналь-ной мощностью *P*\*2Н = 0,9. Ток возбуждения номинальный *I*\**f* Н = 2,1. Продольное синхронное индуктивное сопротивление якоря *х*\**d* = 1,5. Характеристика холостого хода нормальная. При соединении обмот-ки статора в треугольник фазное напряжение *U*\*Ф = *U*\*НФ = 1 и дви-гатель работает с достаточным запасом устойчивости. Оцените ус-

тойчивость работы двигателя в случае соединения обмотки статора в звезду при неизменных напряжении в сети, токе возбуждения, на-грузке на валу двигателя. Если двигатель останется в синхронизме, определите угол нагрузки. В противном случае укажите, как и до какой величины нужно изменить мощность нагрузки на валу *P*2, чтобы двигатель работал устойчиво при соединении обмотки стато-ра в звезду.

В а р и а н т 32

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной волновой обмотки со следующими данными: *Z* = 60; *p* = 5; *a* = 2; *y* = 0,85τ.

2. Определите амплитуды первых гармонических МДС *Ff* 1m и индукции в зазоре *B*δ *f* 1m распределённой обмотки возбуждения тур-богенератора с числом пар полюсов *р* = 1. Зазор между статором и ротором δ = 55 мм; коэффициент зазора *k*δ = 1,11. Отношение обмо-танной части ротора к полной окружности ротора γчисло витков обмотки возбуждения *wf* = 112. Ток возбуждения *If* = 725 А. Насыщением магнитной цепи пренебречь.

7. По исходным данным и результатам решения задач № 3, № 4, №5 и №6 определите в относительных единицах и в А ток установившегося короткого замыкания при номинальной МДС возбуждения *F\*f* H синхронного генератора.

9. Номинальные данные синхронного гидрогенератора: полная электрическая мощность *S*H = 31,18 МВ·А; линейное напряжение обмотки якоря *U*НЛ = 10,5 кВ; частота *f*1 = 50 Гц; коэффициент мощности cosφН = 0,85. Обмотка якоря с числом пар полюсов *р* = 20 соединена по схеме звезда. Номинальный электромагнитный момент генератора *M*H = 1,69910 6 Нм. Потери мощности в магнитопроводе генератора *р*М = 126 кВт. Определите активное сопротивление фазы обмотки статора в Ом и относительных единицах.

10. Двухполюсный турбогенератор номинальной активной мощ-ностью *Р*Н = 63 МВт включен в электрическую систему с номинальным линейным напряжением *U*НЛ = 10,5 кВ частотой *f*1 = 50 Гц. Схема обмотки статора звезда; продольное синхронное индуктивное сопротивление *х*\**d* = 2,31. Ток возбуждения *I*\**f* = 1,4. Характеристика холостого хода нормальная.

Оцените устойчивость работы генератора при моменте турбины на валу *M*1 = 0,1510 6 Нм. Если режим работы устойчив, то найдите угол нагрузки генератора. В противном случае определите, до какой величины и как следует изменить ток возбуждения, чтобы обеспечить устойчивую работу генератора. Потерями мощности и насыщением магнитной системы пренебречь.

12. Номинальный механический вращающий момент на валу синхронного двигателя *M*2Н = 10 4 Нм. Данные двигатели: *I*НЛ= 37 А; *U*НЛ = 6000 В; cosφН = 0,9. Число полюсов на ротор 2*р* = 20. Определите полную и активную электрические мощности, потребляемые из сети, и КПД двигателя при номинальной нагрузке.

В а р и а н т 33

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной петлевой обмотки со следующими данными: *Z* = 24; *p* = 2; *a* = 2; *y* = 0,8τ.

2. Определите амплитуду основной гармонической индукции магнитного поля якоря трехфазного синхронного турбогенератора со следующими данными: число пар полюсов *р* = 1; число пазов ста-тора *z*1 = 42; шаг обмотки *y*1 = 17; число параллельных ветвей фазы обмотки статора *a*1 = 1. Фазный ток статора *I* = 2400 А. Зазор меж-ду статором и ротором δ = 55 мм; коэффициент зазора *k*δ = 1,11. На-сыщением магнитной цепи машины пренебречь.

7. Определите графически индукционную нагрузочную характеристику (и.н.х.) синхронного гидрогенератора при номинальном токе якоря *I*\*Н = 1. Данные генератора: номинальные полная электрическая мощность *S*H = 264,7 МВ·А и линейное напряжение обмотки статора *U*НЛ = 15,75 кВ; схема обмотки статора звезда; продольные индуктивные сопротивления фазы якоря – взаимоиндукции *х*\**a d* = 0,86 и синхронное  *х*\**d* = 1,07. Характеристика холостого хода приведена в таблице. Пересчитайте и.н.х. в именованные единицы, принимая ток возбуждения *If* Х = 720 А.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *I*\**f* | 0 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 |
| *E*\**f* | 0 | 0,54 | 1,0 | 1,22 | 1,28 |

9. Определите КПД и вращающий механический момент турбины синхронного гидрогенератора со следующими номинальными данными: линейное напряжение обмотки якоря *U*НЛ = 15,75 кВ; линейный ток якоря *I*НЛ = 21600 А; коэффициент мощности cosφН = 0,85; частота *f*1 = 50 Гц. На роторе гидрогенератора 64 полюса. Полные потери мощности при номинальной нагрузке Σ*р* = 10,725 МВт.

10. В электрическую систему включен гидрогенератор с нор-мальной характеристикой холостого хода. Номинальные данные гид-рогенератора: *Р*Н = 26,5 МВт; *U*НЛ = 10,5 кВ; *I*НЛ = 1715 А. Схема со-единения обмотки статора звезда. Синхронные индуктивные сопро-тивления обмотки якоря: продольное *х*\**d* = 1,2; поперечное *х*\**q* = 0,75. Номинальный ток возбуждения *I*\**f* Н = 1,74. Определите статическую перегружаемость генератора без учета насыщения магнитной системы машины.

12. Кратность максимального момента четырехполюсного син-хронного двигателя *М*m / *М*Н = 1,65. Данные двигателя: *Р*2Н = 2000 кВт; *f*1 = 50 Гц; cosφН = 0,9. Создаваемый нагрузкой момент на валу двигателя *M*2 = 1,273·10 4 Нм. Останется ли двигатель в синхронизме если уменьшить тока возбуждения в 2 раза при неизменной нагрузке на валу двигателя. Если работа двигателя устойчива, найдите угол нагрузки двигателя. В противном случае определите, во сколько раз и как нужно изменить ток возбуждения, чтобы обеспечить устойчивость работы двигателя. Явнополюсностью машины, потерями мощности и насыщением магнитопровода пренебречь.

В а р и а н т 34

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной волновой обмотки со следующими данными: *Z* = 36; *p* = 2; *a* = 2; *y* = 0,8τ.

2. В таблице приведена кривая намагничивания Ф*f* = *f* (*Ff* ) трех-фазного синхронного турбогенератора. Данные турбогенератора: но-минальное линейное напряжение *U*НЛ = 13,8 кВ; частота *f*1 = 50 Гц; число последовательно соединенных витков фазы *w*1 = 14; обмоточ-ный коэффициент *k*О1 = 0,913; схема обмотки статора звезда. Рас-считайте характеристику холостого хода в относительных единицах.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Ff* , A | 2,42·10 4 | 4,39·10 4 | 5,09·10 4 | 6,81·10 4 | 8,98·10 4 |
| Ф*f* , Вб | 1,618 | 2,81 | 3,068 | 3,38 | 3,71 |

7. В таблице приведена индукционная нагрузочная характерис-тика турбогенератора при номинальном токе обмотки якоря *I*\*Н = 1. Номинальная полная мощность генератора *S*H = 100 МВ·А. Используя исходные данные и результаты решения задачи № 2, определите в именованных и относительных единицах стороны реактивного тре-угольника.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *F*\**f* | 1,8 | 2,26 | 3,0 | 3,36 | 4,16 |
| *U*\* | 0 | 0,5 | 1,0 | 1,1 | 1,2 |

9. Определите электромагнитные мощность и момент синхрон-ного двухполюсного турбогенератора со следующими номинальными данными: полная электрическая мощность *S*H = 7,5 МВ·А; линейное напряжение обмотки статора *U*НЛ = 6,73кВ; коэффициент мощности cosφН = 0,8; КПД ηН = 97,44 %; частота напряжения *f*1 = 50 Гц. Схема обмотки статора звезда. Известны потери мощности: механические *р*МЕХ = 47,3 кВт; добавочные *р*Д = 13,4 кВт. Номинальный ток возбуждения *If* Н = 243 А; активное сопротивление цепи возбуждения *rf* = 0,42 Ом; КПД возбудителя η *f* = 89 %.

10. Синхронный гидрогенератор включен в сеть с номинальным напряжением. Синхронные сопротивления фазы обмотки якоря: про-дольное *х*\**d* = 1,21; поперечное *х*\**q* = 0,84. Механическая мощность турбины *Р*\*1 = 0,5. Сохранится ли устойчивость работы генератора при потере возбуждения (*I*\**f* = 0). Если работа генератора будет устойчива, определите угол нагрузки машины.

12. Рассчитайте угловую характеристику момента двухполюсно- го синхронного турбодвигателя *M*2 = *f* (θ). Номинальные данные дви-гателя: *Р*2Н = 31500 кВт; *U*НЛ = 10 кВ; cosφН = 0,9. Схема обмотки ста-тора звезда; синхронное индуктивное сопротивление фазы статора *х*\*С = *х*\**d* = 1,82. Номинальный ток возбуждения *I*\**f* Н = 2,4. Характеристика холостого хода нормальная. Начертите зависимость *M*2 = *f* (θ). Определите номинальный и максимальный углы нагрузки. Насыще-нием магнитопровода и потерями мощности пренебречь.

В а р и а н т 36

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной петлевой обмотки со следующими данными: *Z* = 48; *p* = 4; *a* = 4; *y* = 0,8τ.

2. Магнитный поток основной гармонической индукции магнит-ного потока обмотки возбуждения Ф*f* = 6,28 Вб индуктирует в об-мотке статора трёхфазного синхронного турбогенератора линейную ЭДС *Ef* Л = 20 кВ частотой *f*1 = 50 Гц. Схема обмотки статора звез-да. Коэффициент укорочения *k*У1 = 0,96; коэффициент распределения *k*Р1 = 0,96. Определите число последовательно соединённых витков фазы обмотки статора.

7. Гидрогенератор с номинальными данными: полная электри-ческая мощность *S*Н = 65,5 МВА; линейное напряжение *U*НЛ =10,5 кВ включен в сеть и работает с номинальными коэффициентом мощ-ности cosφН = 0,8 и током нагрузки *I*\*Н = 1. При этом МДС возбуж-дения *F*\**f* H = 2,19. Продольные индуктивные сопротивления обмотки статора: синхронное *х*\**d* = 1,29; взаимоиндукции *х*\**a d* = 1,14; Обмотка статора соединена по схеме звезда. Характеристика холостого хода приведена в таблице. Определите в относительных единицах и в В изменение напряжения Δ*U* при отключении генератора от сети и постоянном токе возбуждения *I*\**f* = *I*\**f* H = сonst, а также составляю-щие Δ*U*, обусловленные реакцией якоря и падением напряжения на сопротивлении рассеяния.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *F*\**f* | 0 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 |
| *E*\**f* | 0 | 0,54 | 1,0 | 1,22 | 1,28 |

9. Номинальный механический вращающий момент на валу двухполюсного турбогенератора *M*1Н = 1,61710 5 Нм. Частота генери-руемого напряжения *f*1 = 50 Гц, номинальный коэффициент мощнос-ти cosφН = 0,8. Потери холостого хода (постоянные) *р*ХХ = 471 кВт; потери короткого замыкания (переменные) при номинальной нагруз-ке *р*КН = 338 кВт. Определите активную и полную электрические мощности генератора. Рассчитайте зависимость КПД от нагрузки при неизменном коэффициенте мощности cosφН для значений коэф-фициента загрузки *k*З = 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,25 и начертите график этой зависимости.

10. Рассчитайте угловую характеристику активной мощности турбогенератор с номинальнымими данными: активная электрическая мощность *Р*Н = 110 МВт; линейное напряжение *U*HЛ = 10,5 кВ; коэффициент мощности cosφН = 0,8.Схема обмотки статора звезда, синхронное индуктивное сопротивление фазы статора *х*\*C = *х*\**d* = 2,13.

Начертите график характеристики и определите номинальный угол нагрузки θН  генератора. Насыщение магнитной системы не учиты-вайте. Ток возбуждения генератора считайте соответствующим но-минальному режиму.

12. Определите линейный ток и потребляемую из сети актив-ную мощность синхронного двигателя со следующими номинальны-ми данными: полезная механическая мощность на валу *Р*2Н = 630 кВт; линейное напряжение *U*НЛ = 10 кВ; КПД ηН = 95,6 %; коэффициент мощности cosφН = 0,9.

В а р и а н т 36

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной волновой обмотки со следующими данными: *Z* = 54; *p* = 1; *a* = 2; *y* = 0,85τ.

2. Определите действующие значения фазной и линейной ЭДС обмотки статора трёхфазного синхронного генератора при холостом ходе. Основная гармоническая магнитного потока обмотки возбуж-дения *Фf* = 0,025 Вб; частота индуктируемой ЭДС *f*1 = 50 Гц. Число последовательно соединенных витков фазы обмотки *w*1 = 48; обмо-точный коэффициент *k*О1 = 0,9. Схема обмотки статора звезда.

7. В таблице приведены характеристики холостого хода (х.х.х) и индукционная нагрузка (и.н.х.) при номинальном токе якоря син-хронного турбогенератора с номинальными данными: полная элек-трическая мощность *S*H = 125 МВ·А; линейное напряжение обмотки якоря *U*НЛ = 13,8 кВ. Схема обмотки якоря звезда. Определите в Ом и относительных единицах индуктивные сопротивления обмотки яко-ря: рассеяния *х*σ; продольные взаимоиндукции *хa d* и синхронное *хd* . Сопротивления *хd* и *хa d* определите для двух значений МДС воз-буждения *F*\**f* = 1,51 и *F*\**f**H* = 2,35.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Ff* , А | 0,55 | 1,0 | 1,51 | 2,0 | 2,4 | 2,68 | 3,08 |
| *Ef* , В | 0,58 | 1,0 | 1,21 | 1,29 | 1,32 | 1,34 | 1,35 |
| *U*\* | – | – | 0 | 0,48 | 0,86 | 1,0 | 1,1 |

9. Определите мощность возбуждения турбогенератора с номи-нальными данными: фазные напряжение *U*НФ = 9093 В и ток якоря *I*НФ = 8625 А; коэффициент мощности cosφН = 0,85; КПД ηH = 98,62 %;

частота *f*1 = 50 Гц. Потери мощности при номинальной нагрузке: механические *р*МЕХ = 468 кВт; магнитные *р*М = 394 кВт; электрические в обмотке якоря  *р*Э = 677 кВт; добавочные *р*Д = 379 кВт; КПД воз-будителя η *f* = 0,92.

10. Определите до какой максимальной активной мощности можно нагрузить синхронный гидрогенератор при уменьшении тока возбуждения до нуля. Данные гидрогенератора: *S*H = 65,5 МВ·А; *U*НЛ = 10,5 кВ; cosφН = 0,8. Схема обмотки статора звезда, синхрон-ные индуктивные сопротивления: продольное *х*\**d* = 1,29; поперечное *х*\**q* = 0,77. Какова величина максимального угла нагрузки при токе возбуждения  *If* = 0?

12. Восьмиполюсный синхронный двигатель включен в сеть с напряжением *U*НЛ = 6 кВ частотой *f*1 = 50 Гц и нагружен номиналь-ной мощностью на валу *Р*2Н = 630 кВт. Номинальные коэффициент мощности cosφН = 0,9 и КПД ηН = 94,3 %. Определите номинальные частоту вращения ротора; полезный механический момент на валу; потребляемую из сети активную мощность; линейный ток статора двигателя.

В а р и а н т 37

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной петлевой обмотки со следующими данными: *Z* = 24; *p* = 1; *a* = 2; *y* = 0,66τ.

2. Турбогенератор номинальной мощностью *S*H = 31,25 МВ·А включен в сеть с фазным напряжением *U*HФ = 6,06 кВ и частотой *f*1 = 50 Гц. Схема обмотки статора звезда; число пар полюсов *p* = 1. Число последовательно соединенных витков фазы статора *w*1 = 16; коэффициент укорочения *k*У1 = 0,966; коэффициент распределения *k*Р1 = 0,956. Определите амплитуду и частоту вращения основной гар-монической МДС якоря.

7. Для гидрогенератора с нормальной характеристикой холос-того хода определите ОКЗ. Номинальные данные гидрогенератора: активная мощность *P*H = 82,5 МВт; линейное напряжение обмотки якоря *U*HЛ = 13,8 кВ; коэффициент мощности cosφН = 0,8. Схема об-мотки статора звезда. Индуктивные сопротивления обмотки якоря: рассеяния  *х*σ= 0,257 Ом; продольное взаимоиндукции *хa d* = 1,375 Ом.

9. Определите механические мощность и момент турбины, элек-тромагнитную и активную электрическую мощности двухполюсного синхронного турбогенератора в номинальном режиме. Номинальные данные турбогенератора: *U*HЛ = 13,8 кВ; *I*HЛ = 7,875 кА; cosφН = 0,85; *f*1 = 50 Гц. Схема обмотки статора звезда; активное сопротивление фазы обмотки статора *r* = 2,89·10 – 3 Ом. Номинальный ток обмотки возбуждения *If* H = 1900 А; активное сопротивление цепи возбужде-ния *rf* = 0,1631 Ом; КПД возбудителя η*f* = 0,9. Потери мощности ге-нератора: механические *p*МЕХ = 295 кВт; магнитные *p*М = 314 кВт; до-бавочные *p*Д = 609 кВт.

10. К валу турбогенератора подведена механическая мощность *P*\*1 = 0,5*P*\*H. Статическая перегружаемость генератора *k*П = 1,65; но-минальный коэффициент мощности cosφН = 0,85. Напряжение элек-трической системы, в которую включен генератор, номинальное. Определите угол нагрузки машины при токах возбуждения *I*\**f* = *I*\**f* H и *I*\**f* = 0,5*I*\**f* H. Потерями мощности и насыщением магнитной систе-мы пренебречь.

12. Трехфазный синхронный двигатель с номинальными данны-ми: *U*HЛ = 6 кВ; *I*HЛ = 57,1 А; ηН = 93,7 % развивает полезную меха-ническую мощность на валу *P*2H = 500 кВт. Определите потребляе-мую двигателем из сети активную электрическую мощность и ко-эффициент мощности.

В а р и а н т 38

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной волновой обмотки со следующими данными: *Z* = 60; *p* = 1; *a* = 2; *y* = 0,833τ.

2. Определите угловую механическую скорость вращения рото- ра синхронного генератора, если в обмотке статора с числом пар полюсов *р* = 5 индуктируется ЭДС частотой *f*1 = 50 Гц.

7. По приведенным в таблице характеристикам холостого хода (х.х.х.) и индукционной нагрузочной (и.н.х.) при номинальном токе якоря определите индуктивное сопротивление Потье *х*\**Р* и приведен-ную к обмотке возбуждения МДС якоря *F*\**a f* H  синхронного гидроге-нератора. Графически рассчитайте и.н.х. генератора при токе в фазе якоря *I*\* = 0,5. Номинальные данные гидрогенератора: активная элек-трическая мощность *P*H = 120 МВт; линейное напряжение обмотки якоря *U*HЛ = 11 кВ; коэффициент мощности cosφН = 0,9. Схема об-мотки статора звезда.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *If* , А | 527 | 990 | 1055 | 1580 | 2110 | 2250 | 2740 |
| *Ef* , А | 3370 | 6100 | 6370 | 7780 | 8290 | 8350 | 8610 |
| *U*, В | – | – | 382 | 3880 | 5980 | 6370 | 7020 |

9. Гидрогенератор с *р* = 7 включен в сеть промышленной часто-ты *f*1 = 50 Гц с номинальным линейным напряжением *U*HЛ = 10,5 кВ. Генератор работает с номинальными механическим вращающим мо-ментом турбины *М*1Н = 12,569·10 5 Нм и коэффициентом мощности cosφН = 0,8. Потери мощности: на возбуждение *рf* = 247 кВт; меха-нические *p*МЕХ = 552 кВт; магнитные *p*М = 321 кВт; электрические в обмотке якоря (включая добавочные) в режиме номинальной нагруз- ки  *p*Э = 290 кВт. Определите номинальный КПД, полную и актив-ную электрические мощности машины в номинальном режиме.

10. Определите в Вт и относительных единицах предел стати-ческой устойчивости гидрогенератора мощностью *S*Н = 144 МВ·А с линейным напряжением *U*HЛ = 10,5 кВ. Обмотка статора соединена в звезду; синхронные индуктивные сопротивления фазы якоря: про-дольное *х*\**d* = 1,16 и поперечное *х*\**q* = 0,78. Номинальный ток воз-буждения *I*\**f* H = 1,7. Характеристика холостого хода нормальная. На-сыщением магнитной системы машины пренебречь.

12. Кратность максимального момента трехфазного синхронно-го двигателя *М*m /*М*Н = 1,65. Данные двигателя: номинальная полез-ная мощность на валу *P*2H = 500 кВт, частота *f*1 = 50 Гц. Число пар полюсов *р* = 12. Определите максимальный момент нагрузки, при котором двигатель удерживается в синхронизме, если уменьшить ток возбуждения в два раза. Явнополюсностью машины, насыщени-ем магнитопроводов и потерями мощности пренебречь.

В а р и а н т 39

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной петлевой обмотки со следующими данными: *Z* = 36; *p* = 3; *a* = 3; *y* = 0,8τ.

2. Трехфазная обмотка статора двухполюсного синхронного тур-богенератора включена в сеть частотой *f*1 = 50 Гц. Ротор невозбуж-

ден и вращается с синхронной скоростью. Ток в фазах обмотки ста- тора *I* = 1300 А образует вращающееся магнитное поле машины, ко-торое индуктирует в обмотке статора ЭДС самоиндукции. Опреде-лите действующее значение основной гармонической ЭДС фазы ста-тора. Данные обмотки статора: число последовательно соединенных витков фазы *w*1 = 16; число пазов на полюс и фазу *q*1 = 8; шаг об-мотки *y* = 20; полюсное деление τ = 1500 мм; расчетная длина магни-топровода *l*δ = 2100 мм. Зазор между статором и ротором δ = 32 мм; коэффициент зазора *k*δ = 1,095. Насыщением магнитной цепи и рас-сеянием обмотки статора пренебречь

7. По исходным данным и результатам решения задач № 3, № 4, №5 и №6 определите в относительных единицах и в А ток трехфазного установившегося короткого замыкания обмотки якоря при номинальной МДС возбуждения *F\*f* H синхронного генератора.

9. Определите механический вращающий момент, подведенный от турбины к валу гидрогенератора со следующими номинальными данными: полная электрическая мощность *S*Н = 144,44 МВ·А; линей-ное напряжение *U*HЛ = 10,5 кВ; коэффициент мощности cosφН = 0,9; КПД ηН = 98,1 %; частота *f*1 = 50 Гц. На роторе генератора 32 полю-са. Обмотка статора соединена по схеме звезда.

10. Синхронный турбогенератор включен в электрическую сис-тему и работает в режиме номинальной нагрузки. Статическая пере-гружаемость генератора *k*П = 1,7; номинальный коэффициент мощ-ности cosφН = 0,85. Останется ли устойчивой работа генератора при неизменном вращающем моменте на валу и уменьшении тока воз-буждения в 1,7 раза. Если работа генератора устойчива, то опреде-лите угол нагрузки генератора θ.

12. Номинальные данные синхронного двигателя: полезная мощ-ность на валу *P*2H = 20 МВт; линейное напряжение *U*HЛ = 10 кВ; ко-эффициент мощности cosφН = 0,9. Схема обмотки статора звезда; синхронные индуктивные сопротивления: продольное и поперечное *х*\**d* = *х*\**q* = 1,65. Номинальный ток возбуждения *I*\**f* H = 2,15. Характе-ристика холостого хода нормальная. Рассчитайте угловую характе-ристику двигателя *Р*2 = *f* (θ) и начертите график этой характеристи-ки. Определите номинальный и максимальный углы нагрузки. Насы-щением магнитной системы и потерями мощности пренебречь.

В а р и а н т 40

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной петлевой обмотки со следующими данными: *Z* = 12; *p* = 1; *a* = 2; *y* = 0,67τ.

2. Определите амплитуду и частоту вращения основной гармо-нической МДС якоря трехфазного двухполюсного турбогенератора при токе в обмотке якоря *I* = 1500 А. Частота тока в об­мотке якоря *f*1 = 50 Гц. Обмотка якоря двухслойная, петлевая. Число пазов стато-ра *z*1 = 48, шаг об­мотки *y* = 20. Число витков в катушке *w*К = 1. Чис-ло параллельных ветвей обмотки статора *а* = 1.

7. Для синхронного гидрогенератора с номинальными данными: активная электрическая мощность *P*Н = 640 МВт; линейное напряже-ние *U*НЛ = 15,75 кВ; коэффициент мощности cosφН = 0,9 определите продольное синхронное индук­тивное сопротивление в относитель-ных единицах и в Ом. Обмотка статора соединена по схеме звезда. Ток установившегося трехфазного короткого замыкания *I*\*К = 0,342 при токе возбуждения *If* = 745 А. Характеристика холостого хода ге-нератора приведена в таблице.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *If* , A | 0 | 745 | 1490 | 2240 | 2980 | 4020 |
| *Ef* , В | 0 | 4920 | 9093 | 11100 | 11820 | 12280 |

9. Номинальные данные синхронного двухполюсного турбогене-ратора: линейные напряжение *U*НЛ = 10,5 кВ и ток *I*НЛ= 3437 А; ко-эффициент мощности cosφН = 0,8; частота *f*1 = 50 Гц. Потери мощ-ности при номинальной нагрузке: магнитные *р*М = 296,2 кВт; меха-нические *р*МЕХ = 176,7 кВт; электрические потери в обмотке якоря (включая добавочные) *р*Э = 219 кВт; на возбуждение *рf* = 115,2 кВт. Определите номинальные активную электрическую мощность гене-ратора; механические мощность и момент турбины.

10. Известны номинальные данные синхронного гидрогенерато-ра: *S*Н = 63 МВ⋅А; *U*НЛ = 10,5 кВ; cosφН = 0,8. Обмотка статора соеди-нена в звезду, синхронные индуктивные сопротивления: продольное *х*\**d* = 1,06; поперечное *х*\**q* = 0,65. ЭДС обмотки статора в номиналь-ном режиме *E*\**f* = 1,8. Определите в Вт и относи­тельных единицах предел статической устойчивости и максимальный угол нагрузки генератора.

12. Синхронный двигатель в номинальном режиме развивает полезный механический момент на валу *М*2Н = 1,273⋅10 4 Нм. Данные двигатели: *U*НЛ = 6000 В; ηН = 95,4 %; *f*1 = 50 Гц; cosφН = 0,9 (опережа-ющий). На роторе двигателя 4 полюса. Определите линейный ток якоря; ак­тивную мощность, потребляемую двигателем из сети; реак-тивную мощ­ность, генерируемую двигателем.

В а р и а н т 41

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной петлевой обмотки со следующими данными: *Z* = 48; *p* = 2; *a* = 2; *y* = 0,85τ.

2. В таблице приведена характеристика холостого хода турбо-генератора в относительных единицах. Номинальное линейное напря-жение генератора *U*НЛ = 13,8 кВ; ток возбуждения, обеспечивающий номинальное напряжение при холостом ходе, *If* Х= 785 A; номиналь-ная частота *f*1 = 50 Гц. Схема обмотки статора звезда; число после-довательно соединенных витков фазы статора *w*1 = 14; обмоточный коэффициент *k*О1 = 0,913. Число витков обмотки ротора *wf* = 56. Рас-считайте характеристику холостого хода в именованных единицах; определите магнитный поток обмотки возбуждения при номиналь-ном напряжении генератора в режиме холостого хода.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *F*\**f* , A | 0,53 | 1,0 | 1,16 | 1,55 | 2,04 | 2,62 |
| *E*\**f* , В | 0,58 | 1,0 | 1,1 | 1,21 | 1,33 | 1,4 |

7. В таблице приведена индукционная нагрузочная характерис-тика при номинальном токе якоря синхронного турбогенератора с номинальными данными: активная мощность *Р*Н = 80 МВт; коэффи-циент мощности cosφН = 0,8. Характеристика холостого хода и дру-гие данные генератора приведены в задаче № 2. Определите в от-носительных единицах и в Ом индуктивное сопротивление рассея-ния (Потье) *х*\*σ ≈ *х*\**Р* обмотки якоря.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *F*\**f* , A | 1,8 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 | 4,0 |
| *E*\**f* , В | 0 | 0,23 | 0,72 | 1,0 | 1,13 | 1,19 |

9. Определите номинальные КПД и коэффициент мощности син-хронного двухполюсного турбогенератора с линейными напряжением *U*НЛ = 6,3 кВ и током *I*НЛ= 687,3 А. Активное сопротивление фазы

обмотки статора *r* = 17,1·10 – 3 Ом. Номинальный механический вра-щающий момент на валу *М*1Н = 1,96·10 4 Нм. Номинальный ток воз-буждения *If* Н = 234,5 А; активное сопротивление цепи возбуждения *rf* = 0,465 Ом; КПД возбудителя η*f* = 0,9. Обмотка статора соединена по схеме звезда. Потери мощности в режиме номинальной нагруз-ки: механические *р*МЕХ = 47,3 кВт; магнитные *р*М = 43,5 кВт; добавоч-ные *р*Д = 24,2 кВт.

10. Турбогенератор включен в электрическую систему и рабо-тает в режиме номинальной нагрузки с коэффициентом мощности cosφН = 0,9. Синхронное индуктивное сопротивление обмотки якоря *х*\*С = *х*\**d* = 2,38. Пренебрегая насыщением магнитной системы, рас-считайте в относительных единицах угловую характеристику актив-ной мощности. Начертите характеристику. Определите статическую перегружаемость генератора.

12. Двухполюсный синхронный турбодвигатель включен в сеть на холостом ходу с током возбуждения *I*\**f* = *I*\**f* Х. Характеристика хо-лостого хода нормальная. Синхронное индуктивное сопротивление обмотки якоря *х*\*С = *х*\**d* = 1,6. Пренебрегая насыщением магнитной системы и потерями мощности, оцените устойчивость работы двига-теля при механической мощности нагрузки на валу *Р*\*2 = 0,7. Если работа двигателя устойчива, определите угол нагрузки генератора.

В а р и а н т 42

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной волновой обмотки со следующими данными: *Z* = 36; *p* = 2; *a* = 1; *y* = 0,8τ.

2. Ротор синхронного генератора с числом пар полюсов *p* = 2 вращается с угловой механической скоростью Ω = 187,4 рад/с. Основ-ная гармоническая магнитного потока возбуждения Ф*f* = 0,1 Вб. Чис-ло последовательно соединённых витков фазы *w*1 = 10; обмоточный коэффициент *k*О1 = 0,9; схема обмотки статора звезда. Определите частоту и действующие значения линейной и фазной ЭДС обмотки статора генератора.

7. Рассчитайте и начертите характеристику короткого замыкания синхронного турбогенератора со следующими данными: номинальная активная электрическая мощность *P*Н = 200 МВт; номинальное линей-

ное напряжение *U*НЛ = 15,75 кВ; схема обмотки статора звезда; син-хронное индуктивное сопротивление обмотки якоря *х*\*С = *х*\**d* = 1,96. Характеристика холостого хода приведена в таблице. Номинальный коэффициент мощности cosφН = 0,85.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *F*\**f* , A | 36060 | 64940 | 79760 | 94470 | 122100 | 202600 |
| *E*\**f* , В | 5456 | 9093 | 10000 | 10910 | 11820 | 12730 |

9. Номинальные данные синхронного двухполюсного турбоге-нератора: *S*Н = 125 МВ⋅А; *U*НЛ = 13,8 кВ; cosφН = 0,8; *f*1 = 50 Гц. Обмот-ка статора соединена по схеме звезда. Потери холостого хода (пос-тоянные) *p*ХХ = 682,6 кВт; потери короткого замыкания (переменные) при номинальной нагрузке *p*КН = 714 кВт. Определите номинальный вращающий момент *М*1Н на валу генератора. Рассчитайте зависимость КПД от загрузки при постоянном cosφН для значений коэффициен-та загрузки *k*З = 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,25.

10. Известны номинальные данные синхронного турбогенерато-ра: *Р*Н = 100 МВт; *U*НЛ = 10,5 кВ; *I*НЛ = 6875А. Схема обмотки стато-ра звезда, синхронное индуктивное сопротивление фазы обмотки ста-тора *х*\*С = *х*\**d* = 2,06. Механическая мощность на валу *Р*\*1 = 0,6. Ха-рактеристика холостого хода нормальная. Ток возбуждения *I*\**f* = 2,0. Пренебрегая насыщением, оцените устойчивость работы генератора. При устойчивой работе генератора определите угол нагрузки θ. В противном случае определите, как и до какой величины нужно из-менить ток возбуждения, чтобы работы машины была устойчивой.

12. Номинальные данные синхронного двигателя: *P*2Н = 630 кВт; *U*НЛ = 6000 В; cosφН = 0,9 (опережающий). Число пар полюсов маши-ны *р* = 16. Схема обмотки статора звезда; синхронные индуктивные сопротивления: продольное *х*\**d* = 1,2 и поперечное *х*\**q* = 0,7. Номи-нальный ток возбуждения *I*\**f* Н = 1,7. Характеристика холостого хода нормальная. Рассчитайте и начертите график угловой характеристи-ки момента *М* = *f* (θ). Определите номинальный и максимальный уг-лы нагрузки. Насыщением магнитной системы и пренебречь.

В а р и а н т 43

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной петлевой обмотки со следующими данными: *Z* = 24; *p* = 2; *a* = 4; *y* = 0,85τ.

57

2. В катушке обмотки возбуждения на полюсе явнополюсного ротора 189 витков. Ток в катушке *If* = 3,5 А. Воздушный зазор под центром (на оси) полюса между статором и ротором δ = 1 мм. Оп-ределите индукцию *B*δ *f* m магнитного потока возбуждения в зазоре под центром полюса.

7. Определите графически индукционную нагрузочную характе-ристику при токе якоря *I*\*Н = 1 для синхронного турбогенератора со следующими данными: номинальные активная электрическая мощность *Р*H = 80 МВт и линейное напряжение *U*НЛ = 13,8 кВ; коэффициент мощности cosφН = 0,85; схема обмотки статора звезда; индуктивное сопротивление рассеяния фазы статора *х*\*σ = 0,16; приведенная к обмотке возбуждения номинальная МДС якоря *F*\**a f* Н = 1,58. Характеристика холостого хода приведена в таблице.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Ff* , А | 24240 | 43890 | 50900 | 68140 | 89750 | 114800 |
| *Ef* , В | 4620 | 7970 | 8767 | 9644 | 10600 | 11160 |

9. Определите электромагнитные мощность и момент синхрон-ного гидрогенератора с номинальными данными: фазные напряжение *U*НФ = 9093 В и ток *I*НФ = 6968 А; частота *f*1 = 50 Гц; коэффициент мощности cosφН = 0,9; КПД η Н = 98,2 %. Число полюсов на роторе машины 2*р* = 84. Потери мощности в режиме номинальной нагруз-ки: механические *p*МЕХ = 793 кВт; на возбуждение *pf* = 643 кВт; доба-вочные *p*Д = 368 кВт.

10. Номинальные данные синхронного двухполюсного турбоге-нератора: *Р*Н = 200 МВт; *U*НЛ = 15,75 кВ; cosφН = 0,85. Номинальный ток возбуждения *I*\**f* Н = 2,6. Схема обмотки статора звезда, синхрон-ное индуктивное сопротивление фазы якоря *х*\*С = *х*\**d* = 2,28. Харак- теристика холостого хода нормальная. Пренебрегая насыщением маг-нитной системы, рассчитайте в относительных единицах угловую ха-рактеристику активной мощности генератора, начертите график ха-рактеристики. Определите номинальный угол нагрузки генератора.

12. Неявнополюсный синхронный двигатель нагружен полезной механической мощностью *Р*\*2 = 0,65 при токе возбуждения *I*\**f* = 1,1. Характеристика холостого хода нормальная. Синхронное индуктив-ное сопротивление обмотки якоря двигателя *х*\*С = *х*\**d* = 1,9. Оцените устойчивость работы двигателя. Если работа двигателя устойчива, определите угол нагрузки θ. Если двигатель выпадает из синхрониз-

ма, определите, как и до какого значения следует изменить ток воз-буждения, чтобы работа двигателя была устойчива. Насыщением магнитопровода и потерями мощности пренебречь.

В а р и а н т 44

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной волновой обмотки со следующими данными: *Z* = 54; *p* = 1; *a* = 1; *y* = 0,7τ.

2. Определите амплитуду и частоту вращения основной гармо-нической МДС якоря трехфазной синхронной машины со следующими данными: число пар полюсов *р* = 2; число последовательно соединенных витков фазы *w*1= 35; коэффициент укорочения *k*У1 = 0,951, коэффициент распределения  *k*Р1 = 0,954. Ток в фазе якоря *I* = 108 А.

7. По исходным данным и результатам решения задач № 3, № 4, №5 и №6 определите в относительных единицах и в А ток трехфазного установившегося короткого замыкания при МДС возбуждения *F\*f* = 0,75*F\*f* H синхронного генератора.

9. Определите в Ом и относительных единицах активное сопро-тивление фазы обмотки статора двухполюсного турбогенератора со следующими номинальными данными: полная электрическая мощность *S*Н = 188,2 МВ·А; линейное напряжение *U*НЛ = 13,8 кВ; коэффициент мощности cosφН = 0,85; частота напряжения *f*1 = 50 Гц. Схема обмотки статора звезда. Номинальный электромагнитный момент машины *М*Н = 0,512·10 6 Нм. Магнитные потери мощности в сердечнике статора генератора *p*М = 314 кВт.

10. Турбогенератор работает параллельно с электрической сис-темой в режиме холостого хода с током возбуждения *I*\**f* Х = 1. Данные генератора: *S*Н = 125 МВ·А; *U*НЛ = 10,5 кВ; cosφН = 0,8; *f*1 = 50 Гц. Обмотка статора соединена по схеме звезда, синхронное индуктивное сопротивление якоря *х*\*С = *х*\**d* = 2,15. Характеристика холостого хода нормальная. Определите в Вт и относительных единицах максимальную электромагнитную мощность, до которой может быть на-гружен генератор. Насыщением магнитной системы пренебречь.

12. Определите частоту вращения ротора, полезный механический момент на валу и КПД синхронного двигателя со следующими номинальными данными: *U*НЛ = 6000 В; *I* НЛ = 71,9 А; cosφН = 0,9. Число пар полюсов  *р* = 12. Потери мощности: холостого хода (постоянные) *р*ХХ = 22,7 кВт; короткого замыкания (переменные) при номинальной нагрузке  *р*КН = 19 кВт.

В а р и а н т 45

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной петлевой обмотки со следующими данными: *Z* = 24; *p* = 1; *a* = 2; *y* = 0,6τ.

2. Определите амплитуды основных гармонических МДС *Ff* 1m и индукции в зазоре *B*δ *f* 1m обмотки возбуждения двухполюсного тур-богенератора. Число витков обмотки возбуждения *wf* = 108; ток воз-буждения *If* = 500 А; отношение обмотанной части ротора к полной длине окружности ротора γзазор между статором и ротором δ = 34 мм; коэффициент зазора *k*δ = 1,12. Насыщением магнитной системы пренебречь.

7. В таблице приведена характеристика холостого хода синхронного гидрогенератора с номинальными данными: активная электрическая мощность *Р*Н = 171 МВт; линейное напряжение *U*НЛ = 15,75 кВ; коэффициент мощности cosφН = 0,9. При номинальной нагрузке ге-нератора МДС возбуждения *F\*f* H = 1,74. Определите в относительных единицах и в В изменение напряжения Δ*U* при сбросе нагрузки. Выделите составляющие изменения напряжения, обусловленные действием МДС якоря и падением напряжения на сопротивлении рассеяния.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *F\*f* | 0 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 |
| *E\*f* | 0 | 0,55 | 1,0 | 1,21 | 1,27 |

9. Номинальные данные гидрогенератора: линейные напряжение *U*НЛ = 13,8 кВ и ток *I*НЛ = 8179 А; частота напряжения *f*1 = 50 Гц; коэффициент мощности cosφН = 0,9. Полные потери мощности при номинальной нагрузке Σр = 3888 кВт. Определите КПД генератора в режиме номинальной нагрузки.

10. Рассчитайте и начертите угловую характеристику активной мощности, определите номинальный угол нагрузки трехфазного синхронного гидрогенератора с номинальными данными: полная электрическая мощность *S*Н = 133,33 МВ·А; линейное напряжение обмотки статора *U*НЛ = 13,8 кВ; коэффициент мощности cosφН = 0,8.

Схема обмотки статора звезда; синхронные индуктивные сопротивления фа- зы статора: продольное *х*\**d* = 0,54; поперечное *х*\**q* = 0,36. Номиналь-ный ток возбуждения *I*\**f* Н = 1,32. Характеристика холостого хода нормальная. Насыщением магнитопровода машины пренебречь.

12. Двухполюсный синхронный двигатель нагружен номиналь-ной мощностью *Р*\*2Н = 0,9. Синхронное индуктивное сопротивление фазы обмотки статора *х*\*С = *х*\**d* = 1,72. Номинальный ток возбужде-ния *I*\**f* Н = 2,1. Характеристика холостого хода нормальная. Останет-ся ли двигатель в синхронизме при уменьшении тока возбуждения в 1,5 раза и неизменном моменте нагрузки на валу. Если работа двигателя устойчива, определите угол нагрузки θ. Если двигатель выйдет из синхронизма, определите минимальный ток возбуждения, при котором работа двигателя будет устойчива. Насыщением маши-ны и потерями мощности пренебречь.

В а р и а н т 46

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной волновой обмотки со следующими данными: *Z* = 60; *p* = 5; *a* = 1; *y* = 0,8τ.

2. Определите действующие значения основных гармонических линейной и фазной ЭДС якоря синхронного турбогенератора в режиме холостого хода. Основная гармоническая магнитного потока возбуждения Ф*f* = 1,38 Вб. Частота индуктируемой ЭДС *f*1 = 50 Гц. Схема обмотки статора звезда; число последовательно соединенных витков фазы *w*1 = 28. Коэффициент укорочения *k*У1 = 0,965; коэффициент распределения *k*Р1 = 0,96.

7. В таблице приведены характеристики холостого хода (х.х.х.) и индукционная нагрузочная (и.н.х.) при номинальном токе якоря трехфазного синхронного генератора. Номинальные данные машины: активная электрическая мощность *Р*Н = 250 МВт; линейное напряжение обмотки якоря *U*НЛ = 20 кВ; коэффициент мощности cosφН = 0,85. Схема обмотки статора звезда. Определите в относительных единицах и в А приведенную к обмотке возбуждения МДС якоря при токе якоря *I*\* = 1.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *Ff* , A | 39600 | 79250 | 90300 | 119000 | 158500 | 192000 | 238000 |
| *Ef* , B | 6120 | 11550 | 12950 | 13880 | 14700 | 15150 | 15500 |
| *U*, B | – | – | 0 | 3240 | 9020 | 11550 | 12830 |

9. Определите электромагнитные мощность и момент трехфазного двухполюсного турбогенератора с номинальными данными: полная электрическая мощность *S*Н = 31,25 МВ⋅А; линейное напряжение обмотки статора *U*НЛ = 10,5 кВ; коэффициент мощности cosφН = 0,8; КПД ηН = 97,7 %. Номинальный ток возбуждения *If* Н =476 А; напряжение возбуждения *Uf* = 164 В; КПД возбудителя η *f* = 0,92. Потери мощности: механические *р*МЕХ = 183 кВт; добавочные *р*Д = 44,2 кВт.

10. Турбогенератор с нормальной характеристикой холостого хода мощностью *Р*Н = 12 МВт включен в сеть с линейным напряжением *U*НЛ = 6,3 кВ. Номинальный коэффициент мощности генератора cosφН = 0,8. Обмотка статора генератора соединена по схеме звезда, синхронное индуктивное сопротивление фазы якоря *х*\*С = *х*\**d* = 2,09. Генератор работает с номинальным током возбуждения  *I*\**f* Н = 2,54 и нагружен активной мощностью *Р*\* = 0,6. Определите угол нагрузки генератора. Как изменится угол нагрузки при снижении напряжения в 1,4 раза и неизменной механической мощности турбины на валу. Потерями мощности и насыщением магнитопровода пренебречь.

12. Перегрузочная способность (статическая перегружаемость) синхронного двигателя *k*П = 1,9. Данные двигателя: *Р*2Н = 17,5 МВт; *f*1 = 50 Гц; cosφН = 0,9. На роторе двигателя 16 полюсов. Останется ли двигатель в синхронизме при уменьшении тока возбуждения в 2 раза и моменте нагрузки на валу *М*2 = 0,446⋅10 6 Нм. Потерями мощности, насыщением магнитопровода и явнополюсностью машины пренебречь.

В а р и а н т 47

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной петлевой обмотки со следующими данными: *Z* = 36; *p* = 2; *a* = 2; *y* = 0,85τ.

2. Основная гармоническая магнитного потока обмотки возбуждения Ф*f* = 2,84 Вб индуктирует в обмотке статора трехфазного турбогенератора фазную ЭДС *Еf* = 10,4 кВ частотой *f*1 = 50 Гц. Коэффициенты укорочения *k*У1 = 0,958 и распределения *k*Р1 = 0,965. Определите число последовательно соединенных витков фазы.

1. Определите ОКЗ синхронного гидрогенератора с номинальными данными: активная электрическая мощность *Р*Н = 25 МВт; линейное напряжение обмотки якоря *U*НЛ = 10,5 кВ; коэффициент мощности cosφН = 0,8. Обмотка статора соединена по схеме звезда. Ин-дуктивные сопротивления обмотки статора: рассеяния *х*σ = 0,423 Ом; продольное взаимоиндукции *хa d* = 3,88 Ом. Характеристика холостого хода генератора приведена в таблице.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *F*\**f* | 0 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 |
| *E*\**f* | 0 | 0,53 | 1,0 | 1,22 | 1,28 |

9. Номинальный механический вращающий момент турбины на валу двухполюсного турбогенератора *М*1Н = 1,612⋅10 6 Нм. Генератор включен в сеть частотой *f*1 = 50 Гц и работает с номинальным коэффициентом мощности cosφН = 0,9. Потери холостого хода (постоянные) *р*ХХ = 3034 кВт; потери короткого замыкания (переменные) при номинальной нагрузке *р*КН = 3473 кВт. Определите активную и полную электрические мощности генератора. Рассчитайте зависимость КПД от загрузки машины при неизменном cosφН для значений коэффициента загрузки *k*З = 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0; 1,25 и начертите график зависимости η = *f* (*k*З).

10. Турбогенератор номинальной мощностью *S*Н = 3,125 МВ·А включен в электрическую систему с номинальным линейным напря-жением *U*НЛ = 3,15 кВ и частотой *f*1 = 50 Гц. Схема обмотки статора звезда, синхронное индуктивное сопротивление фазы обмотки якоря *х*\*С = *х*\**d* = 1,77. Ток возбуждения генератора  *I*\**f*  = *I*\**f* Х. Характеристика холостого хода нормальная. Число пар полюсов машины *р* = 1. Оцените статическую устойчивость генератора при подаче на вал ротора вращающего механического момента турбины *М*1 = 8⋅10 3 Нм. Если генератор работает устойчиво, то определите угол нагрузки θ. В противном случае определите минимальный ток возбуждения, при котором будет обеспечена устойчивость генератора. Потерями мощности и насыщением магнитной системы пренебречь.

12. Синхронный двигатель с техническими данными: *U*НЛ = 6 кВ; *I*НЛ = 562 А; ηН = 95,2 % развивает полезную механическую мощность на валу *Р*2Н = 5000 кВт. Определите потребляемую из сети активную электрическую мощность и коэффициент мощности.

В а р и а н т 48

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной волновой обмотки со следующими данными: *Z* = 48; *p* = 4; *a* = 2; *y* = 0,8τ.

2. Ротор синхронного генератора вращается с угловой механи-ческой скоростью Ω = 62,8 рад/с. Магнитный поток обмотки возбуж-дения индуктирует в трехфазной обмотке статора ЭДС с частотой *f*1 = 50 Гц. Определите число полюсов машины и частоту вращения МДС якоря генератора.

7. В таблице приведены характеристики холостого хода (х.х.х.) и индукционная нагрузочная (и.н.х.) при номинальном токе якоря синхронного генератора. Номинальные данные генератора: полная электрическая мощность *S*Н = 133,33 МВ·А; линейное напряжение об-мотки якоря *U*НЛ = 13,8 кВ; коэффициент мощности cosφН = 0,9. Схе-ма обмотки статора звезда. Определите в относительных единицах и в Ом индуктивное сопротивление взаимоиндукции обмотки якоря при токах возбуждения *I*\**f* = *I*\**f* Х и *I*\**f* Н = 1,83.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *I*\**f* | 0,5 | 0,93 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,14 | 2,63 |
| *E*\**f* | 0,54 | 0,95 | 1,0 | 1,22 | 1,3 | 1,31 | 1,35 |
| *U*\* | – | 0 | 0,07 | 0,62 | 0,94 | 1,0 | 1,1 |

9. Определите мощность возбудителя гидрогенератора с номи-нальными данными: линейные напряжение *U*НЛ = 15,75 кВ и ток об-мотки статора *I*НЛ = 21560 А; коэффициент мощности cosφН = 0,85; КПД ηН = 97,9 %. Число пар полюсов машины *р* = 64, частота напря-жения *f*1= 50 Гц. Потери мощности при номинальной нагрузке: ме-ханические *p*МЕХ = 3076 кВт; магнитные *p*М = 1945 кВт; электрические в обмотке якоря *p*Э = 2769 кВт; добавочные *p*Д = 650 кВт.

10. В электрическую систему включен гидрогенератор со сле-дующими номинальными данными: *S*H = 29,55 МВ·А; *U*НЛ = 6,3 кВ; cosφН = 0,9. Схема соединения обмотки статора звезда, синхронные индуктивные сопротивления *х*\**d* = 1,0; *х*\**q* = 0,68. Определите стати-ческую перегружаемость, номинальный и максимальный углы на-грузки генератора без учета насыщения магнитопровода машины. Ток возбуждения генератора считайте соответствующим номиналь-ному режиму работы генератора.

12. Синхронный двигатель включен в сеть промышленной час-тоты с линейным напряжением *U*НЛ = 10 кВ и нагружен номинальной мощностью на валу *P*2Н = 8000 кВт. Номинальные КПД ηН = 95,9 % и коэффициент мощности cosφН = 0,9. Число пар полюсов обмотки ста-тора *р* = 9. Определите номинальную частоту вращения ротора; по-лезный момент на валу, линейный ток якоря, потребляемую из се-ти активную электрическую мощность.

В а р и а н т 49

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной петлевой обмотки со следующими данными: *Z* = 36; *p* = 2; *a* = 4; *y* = 0,85τ.

2. Номинальная полная электрическая мощность турбогенера-тора *S*Н = 15 МВ·А; номинальное линейное напряжение обмотки ста-тора *U*НЛ = 6,3 кВ; номинальная частота *f*1 = 50 Гц; число пар полю-сов *p* = 1; схема соединения фаз статора звезда; число последова-тельно соединенных витков фазы *w*1 = 14; обмоточный коэффициент обмотки статора *k*О1 = 0,917. Определите амплитуду основной гармо-нической МДС якоря.

7. Определите продольное синхронное индуктивное сопротив-ление обмотки якоря синхронного генератора в относительных еди-ницах и в Ом. При токе возбуждения *I\*f* = 0,5 ток трехфазного ко-роткого замыкания обмотки якоря *I*К = 2880 А. Номинальные данные генератора: активная электрическая мощность *P*Н = 78 МВт, фазный ток статора *I*НФ =3840 А; коэффициент мощности cosφН = 0,85. Схе-ма обмотки статора звезда. Характеристика холостого хода генера-тора приведена в таблице.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *I*\**f* | 0 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 |
| *E*\**f* | 0 | 0,54 | 1,0 | 1,21 | 1,27 |

9. Номинальные данные гидрогенератора: линейные напряжение *U*НЛ = 10,5 кВ и ток *I*НЛ = 1440 А; коэффициент мощности cosφН = 0,8; частота *f*1 = 50 Гц. Число пар полюсов *p* = 24. Обмотка статора со-единена по схеме звезда. Активное сопротивление фазы обмотки ста-тора *r* =0,0213 Ом. Номинальный ток возбуждения *If* Н = 858 А; ак-тивное сопротивление цепи возбуждения *rf* = 0,193 Ом; КПД возбу-дителя η *f* = 0,85. Потери мощности: магнитные *p*М = 138,5 кВт; меха-

нические *p*МЕХ = 88,3 кВт; добавочные *p*Д = 62,8 кВт. Определите ме-ханические мощность и момент, подводимые к валу генератора; ак-тивную электрическую и электромагнитную мощности генератора.

10. Синхронный гидрогенератор включен в сеть с номинальным напряжением. Синхронные индуктивные сопротивления обмотки яко- ря: продольное *x*\**d* = 1,37; поперечное *x*\**q* = 0,92. Механическая мощ-ность турбины на валу генератора *P*\*1 = 0,33. Оцените устойчивость генератора при потере возбуждения (*If* = 0). Если работа генератора устойчива, то укажите угол нагрузки, с которым будет работать ге-нератор, и после снижения тока возбуждения до нуля. Потерями мощ-ности пренебречь.

12. Номинальные данные синхронного двигателя: полезная ме-ханическая мощность на валу *P*2Н = 5000 кВт; линейное напряжение *U*НЛ = 10 кВ; КПД ηн = 95 %; коэффициент мощности cosφН  = 0,9. Определите линейный ток и потребляемую из сети активную элек-трическую мощность при номинальной нагрузке двигателя.

В а р и а н т 50

1. Начертите схему-развертку трехфазной двухслойной волновой обмотки со следующими данными: *Z* = 60; *p* = 1; *a* = 1; *y* = 0,8τ.

2. Определите амплитуду основной гармонической магнитного пол­я якоря трехфазного синхронного турбогенератора со следующи-ми дан­ными: число пар полюсов *р* = 2; число пазов сердечника ста-тора *z*1 = 54; шаг обмотки *y* = 22; число последовательно соединен-ных витков фазы *w*1 = 18; фазный ток обмотки статора *I* = 3200 A. Зазор машины δ= 80 мм; коэффициент зазора *k*δ = 1,07. Насыщением магнитной системы генератора пренебречь.

7. Рассчитайте графически индукционную нагрузочную харак-теристику синхронного гидрогенератора при токе якоря *I*\* = 0,65. Номинальные данные генератора: активная электрическая мощность *Р*Н = 135 МВт; линейное напряжение обмотки статора *U*НЛ = 13,8 кВ; коэффициент мощности cosφН = 0,9. Схема об­мотки статора звезда. Индуктивные сопротивления фазы статора: рассеяния *x*σ = 0,166 Ом и продольное взаимоиндукции *xad* = 0,916 Ом. Характеристика холос-того хода генератора нор­мальная.

9. Определите номинальные КПД и механический вращающий момент турбины на валу двух­полюсного турбогенератора с номи-нальными данными: полная электрическая мощность *S*Н = 62,5 МВ⋅А; коэффициент мощности cosφН = 0,8; частота *f*1 = 50 Гц. Полные по-тери мощности при номи­нальной нагрузке Σ*p* = 843 кВт.

10. Рассчитайте угловую характеристику активной мощности трехфазного двухполюсного турбо­генератора со следующими номи-нальными данными: *Р*Н = 4 МВт; *U*НЛ = 3,15 кВ; cosφН = 0,8. Схема обмотки статора звезда; синхронное сопротивление фазы обмотки статора *х*\*С = *х*\**d* = 1,92. Начертите гра­фик характеристики и опреде-лите номинальный угол нагрузки гене­ратора. Насыщение магнито-провода не учитывайте. Ток возбуждения считайте соответствующим номинальному режиму работы генератора.

12. Кратность максимального момента синхронного двигателя *М*m /*М*Н = 1,9. Номинальная полезная механическая мощность на ва-лу двигателя *Р*2Н = 6300 кВт. Частота напряжения сети *f*1 =50 Гц. На роторе двигателя 20 полюсов. Определите максимальный момент на валу, при котором двигатель удержится в синхронизме, если ток возбуждения уменьшится в 2,5 раза по сравнению с номинальным. Явнополюсностью машины, насыщением магнитопровода и потеря-ми мощности пренебречь.

П Р И Л О Ж Е Н И Я

## *Таблица П1*

## Технические данные трехфазных вертикальных синхронных гидрогенераторов.

Схема обмотки якоря звезда. Частота напряжения 50 Гц. Ток якоря отстающий

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  зада-ния | 2*р* | *Р*Н ,  МВт | *U*НЛ ,  кВ | cosφН | ОКЗ | Параметры (сопротивления) фазы обмотки якоря, Ом | | | | | | | | Момент инерции *J*·10 – 6, кг·м 2 |
|  |  |  |  |  |  | *x*2 | *x*0 |
| 01  02  03  04  05  06  07  08  09  10  11  12  13  14  15  16  17  18 | 42  64  30  24  30  48  48  40  44  40  60  84  60  96  20  88  48  88 | 640  500  300  260  250  240  225  220  215  200  175  171  150  175  173  128  117  115 | 15,75  15,75  15,75  15,75  15,75  15,75  15,75  15,75  15,75  15,75  15,75  15,75  15,75  13,8  13,8  13,8  13,8  13,8 | 0,9  0,85  0,85  0,85  0,85  0,85  0,85  0,93  0,85  0,85  0,85  0,9  0,85  0,9  0,85  0,8  0,85  0,9 | 0,67  0,67  0,81  0,64  0,72  0,87  0,99  0,77  1,0  0,75  1,05  0,96  1,04  1,74  1,0  0,61  0,91  0,81 | 0,0642  0,0852  0,109  0,0973  0,105  0,197  0,154  0,231  0,134  0,244  0,172  0,227  0,225  0,149  0,102  0,29  0,151  0,325 | 0,551  0,666  0,921  1,34  1,24  1,39  1,0  1,44  1,03  1,5  1,22  1,44  1,43  0,6  0,98  2,08  1,61  1,95 | 0,15  0,177  0,257  0,341  0,277  0,433  0,328  0,419  0,314  0,485  0,458  0,483  0,495  0,299  0,271  0,678  0,443  0,656 | 0,103  0,127  0,171  0,226  0,162  0,285  0,225  0,294  0,206  0,337  0,265  0,34  0,347  0,221  0,168  0,476  0,263  0,492 | 0,338  0,38  0,594  0,876  0,754  0,888  0,675  0,957  0,677  1,01  0,81  0,96  0,96  0,52  0,65  1,324  1,01  1,267 | 0,11  0,135  0,177  0,235  0,17  0,285  0,234  0,304  0,206  0,359  0,272  0,342  0,363  0,235  0,178  0,5  0,263  0,522 | 0,106  0,131  0,176  0,23  0,148  0,285  0,225  0,309  0,206  0,348  0,269  0,341  0,354  0,226  0,173  0,488  0,263  0,507 | 0,052  0,068  0,077  0,08  0,084  0,159  0,105  0,126  0,084  0,095  0,128  0,119  0,162  0,118  0,07  0,149  0,066  0,17 | 25,5  46,75  6,625  2,0  5,375  13,75  14,0  8,0  11,25  7,5  18,25  20,5  15,5  25,0  1,75  15,3  9,4  17,6 |

## *Продолжение табл. П1*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  зада-ния | 2*р* | *Р*Н ,  МВт | *U*НЛ ,  кВ | cosφН | ОКЗ | Параметры (сопротивления) обмотки якоря, Ом | | | | | | | | Момент инерции *J*·10 – 6, кг·м 2 |
|  |  |  |  |  |  | *x*2 | *x*0 |
| 19  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30  31  32  33  34  35  36  37  38  39 | 40  12  52  30  24  20  16  30  32  32  14  40  12  30  20  36  44  32  32  18  14 | 100  85,5  80  80  67  115  60  27,5  130  57  55  55  52,4  50,5  46  41,5  40  37,5  36  35  32,5 | 13,8  13,8  13,8  13,8  13,8  11,0  11,0  11,0  10,5  10,5  10,5  10,5  10,5  10,5  10,5  10,5  10,5  10,5  10,5  10,5  10,5 | 0,9  0,8  0,8  0,85  0,85  0,9  0,9  0,9  0,9  0,85  0,8  0,85  0,8  0,8  0,9  0,91  0,8  0,85  0,8  0,8  0,8 | 1,1  0,74  0,96  0,92  0,99  1,23  1,21  0,96  0,91  1,02  0,93  1,15  0,82  1,0  1,05  0,92  1,03  0,94  1,07  1,03  1,06 | 0,295  0,209  0,286  0,249  0,258  0,092  0,153  0,554  0,109  0,206  0,178  0,222  0,162  0,206  0,207  0,382  0,337  0,338  0,245  0,328  0,288 | 1,66  2,57  2,1  2,33  2,59  0,82  1,59  4,36  0,885  1,71  1,83  1,57  2,17  1,84  2,37  2,78  2,27  2,83  2,7  2,6  2,71 | 0,634  0,49  0,648  0,633  0,652  0,217  0,4  1,39  0,267  0,477  0,45  0,583  0,471  0,47  0,561  0,895  0,662  0,75  0,735  0,731  0,76 | 0,442  0,321  0,419  0,389  0,483  0,146  0,245  0,974  0,168  0,345  0,289  0,368  0,269  0,309  0,345  0,58  0,507  0,55  0,466  0,529  0,461 | 1,18  1,46  1,41  1,51  1,6  0,511  1,07  2,81  0,6  1,13  1,11  1,06  1,3  1,14  1,4  1,81  1,35  1,88  1,62  1,69  1,74 | 0,454  0,339  0,447  0,395  0,573  0,152  0,249  0,99  0,176  0,362  0,313  0,375  0,269  0,314  0,367  0,604  0,54  0,575  0,49  0,554  0,461 | 0,447  0,33  0,432  0,392  0,527  0,149  0,247  0,982  0,172  0,354  0,3  0,37  0,269  0,312  0,356  0,592  0,525  0,563  0,478  0,542  0,461 | 0,168  0,15  0,19  0,158  0,138  0,068  0,096  0,376  0,075  0,107  0,12  0,135  0,113  0,138  0,151  0,339  0,212  0,2  0,147  0,227  0,149 | 2,72  0,22  6,0  1,75  0,83  1,12  0,38  0,35  3,5  0,87  0,18  1,68  0,1  1,12  0,39  1,27  1,89  0,58  0,66  0,23  0,15 |

## *Окончание табл. П1*

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  зада-ния | 2*р* | *Р*Н ,  МВт | *U*НЛ ,  кВ | cosφН | ОКЗ | Параметры (сопротивления) обмотки якоря, Ом | | | | | | | | Момент инерции *J*·10 – 6, кг·м 2 |
|  |  |  |  |  |  | *x*2 | *x*0 |
| 40  41  42  43  44  45  46  47  48  49  50 | 32  24  52  40  32  16  52  20  40  28  40 | 30  29  28  26,5  25,5  25  23,5  22  21,6  21,5  20 | 10,5  10,5  10,5  10,5  10,5  10,5  10,5  6,3  10,5  10,5  10,5 | 0,8  0,9  0,8  0,85  0,85  0,8  0,8  0,8  0,8  0,8  0,85 | 1,01  0,95  0,96  0,91  0,99  0,87  1,04  0,79  1,01  1,15  1,11 | 0,5  0,448  0,567  0,594  0,456  0,42  0,574  0,173  0,6  0,418  0,679 | 3,08  3,83  3,47  4,14  3,93  4,44  3,83  1,95  4,29  3,77  4,48 | 0,906  1,1  1,32  1,2  0,99  1,0  1,35  0,433  1,12  1,11  1,55 | 0,7  0,684  0,882  0,884  0,735  0,72  0,863  0,303  0,87  0,779  1,05 | 1,91  2,5  2,27  2,65  2,37  2,58  2,55  1,13  2,64  2,22  3,07 | 0,735  0,719  0,945  0,955  0,772  0,776  0,863  0,361  1,0  0,903  1,08 | 0,717  0,7  0,914  0,92  0,753  0,744  0,863  0,332  0,935  0,841  1,07 | 0,28  0,281  0,378  0,336  0,313  0,215  0,267  0,079  0,327  0,238  0,422 | 0,46  0,29  1,45  0,77  0,4  0,13  1,04  0,15  0,81  0,325  0,43 |

*Таблица П2*

Нормальные характеристики холостого хода:

# Т – турбогенераторы, Г – гидрогенераторы

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *I*\**f* (*F*\**f* ) | | 0 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 |
| *Е*\**f* | Т | 0 | 0,58 | 1,0 | 1,21 | 1,33 | 1,4 | 1,46 | 1,51 |
| Г | 0 | 0,53 | 1,0 | 1,23 | 1,3 | — | — | — |

70

# **Б И Б Л И О Г Р А Ф И Ч Е С К И Й С П И С О К**

1. Копылов И.П. Электрические машины / И.П. Копылов. М.: Высшая школа; Логос, 2000. 607 с.

2. Копылов И.П. Электрические машины / И.П. Копылов. М.: Энергоатомиздат, 1986. 360 с.

3. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины / А.В. Ива-нов-Смоленский. М.: Энергия, 1980. 928 с.

4. Вольдек А.И. Электрические машины / А.И. Вольдек. Л.: Энергия, 1978. 832 с.

5. Брускин Д.Э. Электрические машины: Ч. 1,2 / Д.Э. Брускин, А.Е. Зорохович, В.С. Хвостов. М.: Высшая школа, 1979. 288 с; 304 с.

6. Костенко М.П. Электрические машины. Ч. 1,2 / М.П. Костен-ко, Л.М. Пиотровский. Л.: Энергия, 1973. 544 с; 648 с.

7. Асинхронные и синхронные машины: Метод. указания / Со-став.: Л.Ф. Силин, А.Н. Грунов. Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2003. 40 с.

# **С О Д Е Р Ж А Н И Е**

Введение 3

Рекомендуемая литература 4

Общие задачи 5

Варианты задач 7

Приложения: таблица П1 67

таблица П2 69

Библиографический список 70

Содержание 71