1. **СИНХРОННЫЙ НЕЯВНО ПОЛЮСНЫЙ ГЕНЕРАТОР**

Синхронный генератор (СГ) самый распространенный электромеханический преобразователь, используемый в различного рода установках по производству электрической энергии. В расчетном задании рассматривается автономный режим работы неявно полюсного СГ при различном характере номинальной нагрузки.

**3.1. Содержание задания**

1. Определить недостающие потери при cosφн = 0,8 (φн > 0), установить Р2н и номинальное значение КПД ηн . Привести энергетическую диаграмму генератора для рассмотренного случая.

2. Определить величину электромагнитного момента Мэм.н и момент приводного устройства М1.н .

3. Определить напряжение на выводах обмотки якоря U0 = E0 при снятии номинальной нагрузки при cosφн = 0,8 , если ток возбуждения остался прежним *I*в = const. При каком угле нагрузки θн работал СГ.

4. Повторить задание п.3, если cosφн = 1. Как изменится величина θн .

**3.2. Краткие сведения и основные формулы**

В синхронной машине основное магнитное поле создается постоянным током и относительно индуктора оно неподвижно ω2 = 0, как показано на рисунке 3.1. При вращении индуктора (с механической угловой скоростью Ω2 ) это магнитное поле индуктирует в обмотке якоря ЭДС *Е*0 , под действием которой при включении нагрузки протекает ток *I*а , создающий также магнитное поле, проявляющее себя в виде бегущей синусоидальной волны с угловой скоростью ω1 . Относительно друг друга эти поля неподвижны, а возникающий электромагнитный момент результат их взаимодействия, величина которого зависит от угла нагрузки θ между напряжением *U* и ЭДС *Е*0 (смотри векторную диаграмму рисунка 3.2,б)

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 3.1 К взаимодействию магнитных полей в синхронной машине |

Схема замещения неявно полюсного СГ относительно проста (рисунок 3.2,а), поэтому математическая модель описывается несложными выражениями, которые приведены ниже.

Основные уравнения и формулы для неявно полюсного СГ

|  |  |
| --- | --- |
|  | результирующая ЭДС якоря, В; |
|  | уравнение равновесия для обмотки якоря, В; |
| *х*с = *х*а + *х*аσ | полное синхронное сопротивление, Ом; |
| *Р*эм = (*m**U*ф*Е*0 /*х*с) sinθ | электромагнитная мощность, Вт; |
| *М*эм = *Р*эм/Ω1 *= m**U*ф*Е*0 sinθ/Ω1*х*с | электромагнитный момент, Н∙м; |
| Ω1 = ω/р = 2π*f/р* | синхронная угловая скорость, 1/с; |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| а) | б) |  |
| Рисунок 3.2 – Схема замещения а) и упрощенная векторные диаграмма б) неявно полюсного СГ | | Рисунок 3.3 – Энергетическая диаграмма синхронного генератора |

**3.3. Методические указания к выполнению задания**

Изучив материал раздел 3 [2] и используя выше приведенные формулы расчетная часть, выполняется в следующей последовательности.

**К пункту 1.**

По техническим данным задания (таблица П3) при cosφ = 0,8 устанавливают значения *Р*1н и *I*1н принимая во внимание, что обмотка якоря (статора) имеет соединение в звезду. Определение недостающих потерь *Р*эл.а , *Р*в и *Р*доб и суммарных ΣР не должны вызвать затруднений. Установив значения *Р*2н и ηн следует построить энергетическую диаграмму по типу рисунка 3.3, указав числами все виды потерь, также *Р*1н **,** *Р*эм.н и *Р*2н **.**

**К пункту 2.**

По известным значениям *Р*1н **,** *Р*эм.н и синхронной угловой скорости ω1 определяют значение моментов *М*1н и *М*эм.н .

**К пункту 3.**

Для этой цели следует использовать векторную диаграмму рисунка 3.2,б с помощью которой нетрудно установить

 и 

**К пункту 4.**

При cosφ = 1 (φ = 0, ток и напряжение по фазе совпадают) выражения для ЭДС *Е*0 и угла нагрузки θ упрощаются.

Сравнивая результаты п. 3 и 4 следует сделать вывод о влиянии cosφ на ЭДС *Е*0 и угол нагрузки θ.

1. **ДВИГАТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА**

Несмотря на конструктивную сложность машины постоянного тока она находит применение как в генерирующих установках, так и в системах электропривода. Это объясняется хорошими регулировочными свойствами двигателей, поэтому задачей расчетной части является детальная проработка теоретических положений на примере двигателя постоянного тока с параллельным возбуждением.

**4.1. Содержание задания**

1. Определить недостающие потери и построить энергетическую диаграмму для номинального режима работы двигателя.

2. Определить скорость холостого хода двигателя *n0* .

3. Определить *R*доб для получения *n* = 0,5∙*n*н  при *М*2 = М2н и *U* = *U*н.

4. Определить пусковой резистор *R*п из условия *М*2 = 2,5∙*М*2н при *U* = *U*н .

5. Определить максимальный КПД *η*max и значение тока якоря *I*a.m  при этом.

**4.2. Краткие сведения и основные формулы**

Принцип взаимодействия магнитных полей в машинах постоянного тока имеет свои специфические особенности. Индуктор, который теперь является неподвижным, создает неподвижное магнитное поле, так как обмотка питается постоянным током. Соответственно, и магнитное поле обмотки якоря должно быть также неподвижным. Последнее достигается использованием в машинах постоянного поля коллектора, с помощью которого происходит переключение секции обмотки якоря таким образом, что в параллельных ветвях ее токи протекают только в одном направлении (в генераторе – ток вытекает, а в двигателе – втекает), что и создает при вращающемся якоре Ωа =var неподвижное магнитное поле ωа = 0 (см. рисунок 4.1) относительно индуктора, амплитуда которого зависит от величины тока якоря. Однако, для получения наибольшего значения электромагнитного момента угол между полями (электрический) должен составлять θ = 900, что достигается соответствующей установкой щеток на коллекторе.

|  |
| --- |
| Рисунок 4.1 – К взаимодействию магнитных полей в двигателе постоянного тока |

На рисунке 4.2 приведена схема включения обмоток двигателя с параллельным возбуждением, в которой помимо названных ранее обмоток используется и обмотка дополнительных полюсов (ОДП). Роль последней состоит в обеспечении удовлетворительной коммутации (устранения искрения в процессе переключения секций обмотки из одной параллельной ветви в другую). Для ограничения пускового тока при пуске двигателя используется резистор *R*п , который по завершению переходного процесса закорачивается.

На рисунке 4.3 приведена энергетическая диаграмма двигателя постоянного тока, которая имеет отличие от такой же диаграммы, но асинхронного двигателя. Одно из принципиальных отличий состоит в том, что магнитные потери в машине постоянного тока покрываются не электрической мощностью, а механической.

|  |  |
| --- | --- |
| Рисунок 4.2 – Схема двигателя  с параллельным возбуждением | Рисунок 4.3 – Энергетическая диаграмма двигателя постоянного тока |

Основные формулы

|  |  |
| --- | --- |
| *U = Е*а + *r*а *I*а + *∆U*щ | уравнение равновесия для якорной цепи, В; |
| *Е*а = *с*0 *Ωа Ф*δ | ЭДС параллельной ветви обмотки якоря, В; |
| *Ωа* = *π∙nа* /30 | угловая скорость якоря (если *nа* в мин-1), с-1; |
| *М*эм = *с*0 *I*a *Ф*δ | электромагнитный момент, Н∙м; |
| *М*эм = *P*эм /*Ωа* |
| *М*0 = *(∆Р*мех+*Р*мг)/*Ωа* | момент холостого хода, Н∙м; |
| *Р*эм = *I*a *E*a | электромагнитная мощность, Вт; |
| *Р*эм = *Ωа М*эм = *с*0 *Ωа I*a *Ф*δ |
| *Р*эм = *Р*2н+*Р*доб + *∆Р*мех+*Р*мг |
| *Р*эм = *Р*1н – *Р*эл.а – *Р*в – *Р*щ |
| *Р*1н = *I*1н*U*н | потребляемая (номинальная) мощность, Вт; |
| *Р*1н = *Р*2н + *ΣР* |
| *Р*эл.а = *r*а *I*а2 | составляющие потерь в двигателе, Вт; |
| *Р*в = *r*в *I*в2 |
| *Р*щ = *I*a *∆U*щ |
| *Р*доб = 0,01∙*Р*1н(*I*a/*I*a.н)2 |
| (*∆Р*мех+*Р*мг) = *Р*эм – *Р*2н+*Р*доб |

**4.3. Методические указания к выполнению задания**

Изучив материал раздела 2 [1] и используя выше приведенные формулы расчетная часть выполняется в той последовательности.

**К пункту 1.**

Определяются недостающие потери, как и в предыдущих заданиях, строится в соответствии с рисунком 4.3 энергетическая диаграмма и проставляются числовые значения составляющих потерь и Р1н , Рэм.н , Р2н .

**К пункту 2.**

Вначале определяют поток двигателя с помощью выражения

и ток якоря при ХХ *I*a.0 = *I*0 – *I*в , а затем

.

**К пункту 3.**

Допускаем, что *М*′эм ≈ *М*2н + 0,5(*∆Р*мех + *Р*мг), то есть магнитные и механические потери изменяются пропорционально частоте вращения якоря. Определяют ток якоря *I*′a = *М*′эм /с0 *Ф*δ , а из выражения для получения заданной частоты вращения получаем

.

**К пункту 4.**

Условие выглядит в следующем виде: *I*а.п = 2,5*I*а.н или *r*a+ *R*п = *U*/*I*а.п , откуда получаем выражение *R*п = *U*/*I*а.п – *r*a .

**К пункту 5.**

Максимальное значение КПД наступает при условии равенства постоянных потерь переменным: *Р*пост = *Р*пер . К постоянным следует отнести *Р*пост = *Р*в + *Р*мг + ∆*Р*мех , а переменным *Р*эл.а = *r*a *I*a2 = β2 *Р*эл.н . Определяют коэффициент нагрузки при котором η = ηmax : βm = √(*Р*пост /*Р*эл.н). Ток якоря при этом условии равен *I*a.m = βm *I*a.н , а максимальный КПД

ηmax = 1 – (*Р*пост + βm2 *Р*эл.н)/(*UI*a.m + *Р*пост + βm2 *Р*эл.н).

Приложение 3

Таблица П3 - Технические данные и параметры синхронных

неявно полюсных генераторов (nc = 3000 мин-1)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | ***S*н** | ***Uн*** | ***x*σ** | ***x*a** | ***r*а** | ***r*в** | ***I*в** | ***Р*мг** | ***∆Р*мех** |
| п/п | МВ∙A | кВ | Ом | Ом | Ом | Ом | А | кВт | кВт |
| 1. | 1,25 | 0,40 | 0,018 | 0,211 | 0,0016 | 0,64 | 45 | 15,0 | 15,0 |
| 2. | 1,50 | 0,40 | 0,015 | 0,170 | 0,0013 | 0,60 | 53 | 17,0 | 17,0 |
| 3. | 1,875 | 0,40 | 0,013 | 0,133 | 0,0010 | 0,68 | 60 | 20,0 | 20,0 |
| 4. | 1,875 | 6,30 | 2,4 | 32,90 | 0,2350 | 0,60 | 60 | 20,0 | 20,0 |
| 5. | 3,00 | 3,15 | 0,6 | 8,00 | 0,060 | 0,60 | 65 | 32,0 | 23,0 |
| 6. | 3,75 | 3,15 | 0,32 | 4,00 | 0,020 | 0,30 | 125 | 30,0 | 35,0 |
| 7. | 3,75 | 6,30 | 1,28 | 16,2 | 0,085 | 0,33 | 116 | 36,0 | 35,0 |
| **8.** | **4,38** | **3,15** | **0,25** | **3,50** | **0,017** | **0,28** | **135** | **42,0** | **41,0** |
| 9. | 4,38 | 6,30 | 1,06 | 13,8 | 0,076 | 0,27 | 132 | 41,0 | 40,0 |
| 10. | 7,15 | 6,30 | 0,65 | 8,35 | 0,035 | 0,40 | 132 | 62,0 | 80,0 |
| 11. | 7,50 | 3,15 | 0,154 | 1,98 | 0,0086 | 0,40 | 132 | 62,0 | 80,0 |
| 12. | 7,50 | 10,5 | 1,8 | 23,0 | 0,120 | 0,40 | 132 | 62,0 | 80,0 |
| 13. | 11,3 | 6,30 | 0,41 | 6,50 | 0,020 | 0,55 | 100 | 80,0 | 110,0 |
| 14. | 15,0 | 3,15 | 0,08 | 1,25 | 0,003 | 0,70 | 98 | 105,0 | 150,0 |
| 15. | 15,0 | 6,30 | 0,31 | 4,93 | 0,0144 | 0,68 | 95 | 103,0 | 140,0 |
| 16. | 15,0 | 10,5 | 0,97 | 15,4 | 0,0406 | 0,68 | 90 | 103,0 | 140,0 |
| 17. | 18,75 | 10,5 | 0,8 | 12,3 | 0,030 | 0,80 | 100 | 125,0 | 170,0 |
| 18. | 31,3 | 6,30 | 0,19 | 0,30 | 0,007 | 0,337 | 170 | 117,0 | 67,0 |

Приложение 4

Таблица П4 - Данные двигателей постоянного тока параллельного

возбуждения

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | *Р*2н | *U*н | *n*н | *η*н | *r*a | *r*в | *I*0 | *∆Р*мех |
| п/п | кВт | В | мин-1 | о.е. | Ом | Ом | А | кВт |
| 1. | 5,2 | 110 | 800 | 0,810 | 0,170 | 50,0 | 4,60 | 0,110 |
| 2. | 220 | 800 | 0,815 | 0,740 | 200,0 | 2,22 | 0,110 |
| 3. | 7,5 | 110 | 1000 | 0,830 | 0,108 | 50,0 | 4,84 | 0,150 |
| 4. | 220 | 1000 | 0,840 | 0,460 | 200,0 | 2,42 | 0,150 |
| 5. | 15,0 | 110 | 1500 | 0,840 | 0,058 | 26,8 | 8,20 | 0,200 |
| 6. | 220 | 1500 | 0,850 | 0,0232 | 107,1 | 4,10 | 0,200 |
| 7. | 8,5 | 110 | 800 | 0,810 | 0,123 | 80,9 | 5,55 | 0,160 |
| **8.** | **220** | **800** | **0,820** | **0,536** | **40,55** | **2,77** | **0,160** |
| 9. | 13,0 | 110 | 1120 | 0,840 | 0,062 | 26,5 | 8,18 | 0,200 |
| 10. | 220 | 1120 | 0,850 | 0,0228 | 105,0 | 4,10 | 0,200 |
| 11. | 6,0 | 110 | 750 | 0,815 | 0,139 | 34,4 | 5,40 | 0,100 |
| 12. | 220 | 750 | 0,830 | 0,480 | 68,8 | 2,70 | 0,100 |
| 13. | 10,0 | 110 | 1000 | 0,825 | 0,092 | 31,4 | 6,50 | 0,160 |
| 14. | 220 | 1000 | 0,825 | 0,370 | 62,8 | 3,25 | 0,160 |
| 15. | 11,0 | 110 | 1500 | 0,840 | 0,065 | 26,3 | 7,90 | 0,180 |
| 16. | 220 | 1500 | 0,845 | 0,225 | 67,5 | 3,96 | 0,180 |
| 17. | 15,0 | 110 | 750 | 0,820 | 0,067 | 41,6 | 9,00 | 0,180 |
| 18. | 220 | 750 | 0,825 | 0,510 | 65,0 | 4,50 | 0,180 |