Государственное общеобразовательное учреждение

Высшего профессионального образования

ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ

Кафедра «Электротехника, электроника и электромеханика»

**Курсовой проект**

По дисциплине: “Электрические машины”

на тему: “Расчет машины постоянного тока”

Хабаровск 2011

**Содержание**

Введение

1. Выбор главных размеров

2. Выбор обмотки якоря

3. Расчет геометрии зубцовой зоны

4. Расчет обмотки якоря

5. Определение размеров магнитной цепи

6. Расчет сечения магнитной цепи

7. Средние длины магнитных линий

8. Индукция в расчетных сечениях магнитной цепи

9. Магнитное напряжение отдельных участков магнитной цепи

10. Расчет параллельной обмотки возбуждения

11. Коллектор и щетки

12. Расчет обмотки добавочных полюсов

13. Потери и КПД

Заключение

Список используемой литературы

**Введение**

В общем объеме производства электротехнической промышленности электрические машины занимают ведущее место, а поэтому эксплуатационные свойства новых электрических машин имеют важное значение для экономики России.

Проектирование электрических машин основано на знании процессов электромеханического преобразования энергии и опыта инженеров – электромехаников, умеющих применять вычислительную технику.

При проектировании электрических машин конструктивные элементы должны быть рассчитаны так, что бы при изготовлении машины трудоёмкость и расход материалов были наименьшими, а при эксплуатации они должны обладать оптимальными энергетическими показателями с учетом современного мирового уровня изготовления, а также требований государственных и отраслевых стандартов.

Высокая трудоемкость расчетов электрических машин не позволяет проводить, исследования, оптимизировать различные параметры и характеристики, создавать реальные проекты электрических машин. Громоздкие расчетные формулы не дают возможности увидеть закономерности сложных процессов, протекающих в электрических машинах, а также создания высоконадежной техники на уровне лучших мировых образцов.

В данном курсовом проекте производится расчет двигателя постоянного тока параллельного возбуждения без стабилизирующей обмотки, исполнения по степени защиты - IP22, по способу охлаждения – IC01, изоляция класса В, за основу принята машина постоянного тока серии 2П.

Исходные данные:

Номинальная мощность –



Номинальное напряжение –



Номинальная частота вращения –



Высота оси вращения –



Возбуждение параллельное без стабилизирующей обмотки. Исполнение по степени защиты – IP22, по способу охлаждения – самовентиляция (ICO1).

Режим работы – длительный. Изоляция класса нагревостойкости – В.

За основу конструкции принять машину постоянного тока серии П или 2П.

**1. Выбор главных размеров**

**двигатель постоянный ток обмотка якорь**

Предварительное значение КПД



Номинальный ток (предварительное значение) определяется по формуле:

(1.1)



Ток якоря определяется по формуле:

(1.2)



где – коэффициент, который для машин мощностью от 10 – 100 кВт берется в интервале 0,035 – 0,02;



Электромагнитная мощностьдля электрических машин общего назначения:

(1.3)



Наружный диаметр машины определяется из уравнения:

(1.4)



Для четырех полюсной машины (2р = 4) D≈ h.



Линейная нагрузка якоря равняется ;



Индукция в воздушном зазоре равняется ;



Расчетный коэффициент полюсной дуги ;



Расчетная длина якоря:

(1.5)



Отношение длины магнитопровода якоря к его диаметру:

(1.6)



Для машины общепромышленного применения рекомендованные значения λ находятся в пределах 0,4 ≤ λ ≤ 1,25.

Число полюсов машины равно 2р = 4;

Полюсное деление:

(1.7)



Расчетная ширина полюсного наконечника:

(1.8)



Действительная ширина полюсного наконечника ;



**2. Выбор обмотки якоря**

Ток параллельной ветви:

(2.1)



Предварительное общее число эффективных проводников обмотки якоря:

(2.2)



Крайние пределы чисел пазов якоря:

(2.3)



где t1 – зубцовый шаг, крайние пределы которого определяются для различных высот вращения из следующих соотношений:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| h, мм | 80–200 | 225–315 | 355–500 |
| t, мм | 10–20 | 15–35 | 18–40 |



Ориентировочно число пазов можно определить по формуле:

(2.4)



отношение



При выбранном Z t1:

(2.5)



Число эффективных проводников в пазу (целое число):

(2.6)



Максимальное число коллекторных пластин:

(2.7)



где – число элементарных пазов в одном реальном и ;



Напряжения между соседними коллекторными пластинами:

(2.8)



Коллекторное деление:

(2.9)



где DК – диаметр коллектора и при полузакрытых пазах DК = (0,65–0,85) D.



Число коллекторных пластин уточняют путём сравнения вариантов:

**Таблица 2.1 Варианты выполнения обмотки якоря**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | un | К=unZ | Wc=N/2K | Uк ср | t к, мм |
| 1 | 1 | 44 | 2 | 10 | 12 |
| 2 | 2 | 88 | 1 | 5 | 5,9 |
| 3 | 3 | 132 | 0,66 | 3,3 | 3,99 |
| Принято | 1 | 44 | 2 | 10 | 12 |

Число витков в секции (целое число):

(2.10)



Уточненное значение линейной нагрузки:

(2.11)



Скорректированная длина якоря:

(2.12)



Окружная скорость коллектора:

(2.13)



Полный ток паза:

(2.14)



Предварительное значение плотности тока в обмотке якоря:

(2.15)



где



Предварительное сечение эффективного провода:

(2.16)



Для всыпных обмоток с полузакрытыми пазами из таблицы 2.4 [1] выбираем круглый провод марки ПЭТВ при классе нагревостойкости B:

nэл = 6

qэл = 1,539 мм2 .

dнеиз = 1,4 мм.

dиз = 1,485 мм.

### Определяем сечение эффективного проводника:

qa=nэлqэл(2.19)

qa=6∙1,539 = 9,234 мм2 .

**3. Расчет геометрии зубцовой зоны**

Площадь поперечного сечения обмотки, уложенной в один полузакрытый паз:

(3.1)



где – диаметр одного изолированного провода; – число элементарных проводников в одном эффективном; – число витков в секции; – число элементарных пазов в одном реальном; – коэффициент заполнения паза изолированными проводниками .



Высота паза ;



Ширина шлица ;



Высота шлица ;



Ширина зубца:

(3.2)



где – допустимое значение индукции в зубцах; КС – коэффициент заполнения пакета якоря сталью, КС = 0,95.



Большой радиус паза:

(3.3)



Меньший радиус паза:

(3.4)



Расстояние между центрами радиусов:

(3.5)



Минимальное сечение зубцов якоря:

(3.6)



Рис. 3.1 Полузакрытые пазы овальной формы с параллельными сторонами зубцов

Составляется эскиз пазов овальной формы по рис. 3.1.

Предварительное значение внутреннего диаметра якоря и диаметра вала:

(3.7)



Предварительное значение ЭДС:

(3.8)



где – коэффициент;



Предварительное значение магнитного потока на полюс:

(3.9)



Для магнитопровода якоря принимается сталь марки 2312. Индукция в сечении зубцов:

(3.10)



**4. Расчет обмотки якоря**

Длина лобовой части витка:

(4.1)



Средняя длина полувитка обмотки якоря:

(4.2)



где –длина якоря, приближенно для машин без радиальной вентиляции .



Полная длина проводников обмотки якоря:

(4.3)



Сопротивление обмотки якоря при температуре 20 °С:

(4.4)



Сопротивление обмотки якоря при температуре 75 °С:

(4.5)



Масса меди обмотки якоря:

(4.6)



Расчет шагов обмотки:

Шаг по коллектору :



(4.7)



Первый частичный шаг :



(4.8)



где ∑ – дробное число, с помощью которого Y1 округляется до целого числа



# 5. Определение размеров магнитной цепи

Высота спинки якоря (см. рис. 3.1):

(5.1)



Магнитная индукция в спинке якоря:

(5.2)



где – площадь поперечного сечения спинки якоря с учетом аксиальных каналов диаметром d.



Предельно допустимое значение магнитной индукции в спинке якоря Bj=1.4÷1.45 Тл.



Ширина выступа полюсного наконечника:

(5.3)



где из п. 1.13.



Ширина сердечника главного полюса:

(5.4)



Индукция в сердечнике:

(5.5)



где для четырех полюсной машины.



Для стали 3411 предельно допустимая индукция



Размеры главного полюса показаны на рис. 5.1



Рис. 5.1 Полюсный наконечник главного полюса.



Сечение станины:

(5.6)



где ВС – индукция в станине, ВС = 1,3 Тл.



Длина станины:

(5.7)



Высота станины:

(5.8)



Наружный диаметр станины:

(5.9)



Внутренний диаметр станины:

(5.10)



Высота главного полюса:

(5.11)



где δ – воздушный зазор; δ = 0,0018



**6. Расчетные сечения магнитной цепи**

Сечение воздушного зазора:

(6.1)



Длина стали якоря:

(6.2)



Минимальное сечение зубцов якоря:

SZ из п. 3.7



Сечение спинки якоря:

(6.3)



Сечение сердечников главных полюсов:

(6.4)



где



Сечение станины:

из п. 5.5



**7. Средние длины магнитных линий**

Воздушный зазор:



Коэффициент воздушного зазора, учитывающий наличие пазов на якоре:

(7.1)



Расчетная длина воздушного зазора:

(7.2)



Зубцы якоря:

(7.3)



Спинка якоря:

(7.4)



Сердечник главного полюса:



Воздушный зазор между главным полюсом и станиной:

(7.5)



Станина:

(7.6)



# 

# 8. Индукция в расчетных сечениях магнитной цепи

Индукция в воздушном зазоре:

(8.1)



Индукция в сечении зубцов якоря:

(8.2)



Индукция в спинке якоря:

из п. 5.1



Индукция в сердечнике главного полюса:

из п. 5.4



Индукция в станине:

(8.3)



где для четырех полюсной машины;



**9. Магнитное напряжение отдельных участков магнитной цепи**

Таблица 9.2 - Расчёт характеристики намагничивания

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Расчётная величина | Расчётная формула | Ед. изм. | 0,5Φδн | 0,75Φδн | Φδн | 1,1Φδн | 1,15Φδн | 1,2Φδн |
| ЭДС | E | В | 53,35 | 80 | 106,7 | 117,4 | 122,7 | 128 |
| Магнитный поток |  | Вб | 0,006 | 0,009 | 0,012 | 0,0132 | 0,0138 | 0,0144 |
| Магнитная индукция в воздушном зазоре |  | Тл | 0,305 | 0,457 | 0,61 | 0,67 | 0,7 | 0,732 |
| МДС воздушного зазора | Fδ=1,6∙106BδLδ | А | 1054,45 | 1581,67 | 2108,9 | 2319,39 | 2425,235 | 2530,68 |
| Магнитная индукция в зубцах якоря | Bz=KzBδ | Тл | 0,805 | 1,21 | 1,61 | 1,77 | 1,85 | 1,93 |
| Напряжённость магнитного поля в зубцах якоря | Hz | А/м | 140 | 410 | 3600 | 11700 | 16400 | 23700 |
| Магнитное напряжение зубцов | Fz=2HzLz | А | 5,6 | 16,456 | 144,49 | 469,6063 | 658,25 | 951,2539 |
| Магнитная индукция в спинке якоря |  | Тл | 0,465 | 0,6975 | 0,93 | 1,023 | 1,0695 | 1,116 |
| Напряжённость магнитного поля в спинке якоря | Hj | А/м | 73 | 96 | 205 | 252 | 282 | 320 |
| Магнитное напряжение в спинке якоря | Fj=HjLj | А | 2,26 | 3,39 | 14,53 | 4,972 | 5,198 | 5,424 |
| Магнитный поток главного полюса | Φг=σгΦδ | Вб | 0,007275 | 0,01091 | 0,01455 | 0,016 | 0,0167 | 0,0175 |
| Магнитная индукция в сердечнике главного полюса |  | Тл | 0,55 | 0,825 | 1,1 | 1,21 | 1,256 | 1,32 |
| Напряжённость магнитного поля в сердечнике главного полюса | Hг | А/м | 81 | 136 | 213 | 246 | 261 | 283 |
| Магнитное напряжение сердечника главного полюса | Fг=2HгLг | А | 13,467 | 22,61 | 35,41 | 40,90 | 43,395 | 47,053 |
| Магнитная индукция в воздушном зазоре между главным полюсом и станиной | Bс п=Вг | Тл | 0,55 | 0,825 | 1,1 | 1,21 | 1,256 | 1, 32 |
| Магнитное напряжение воздушного зазора между главным полюсом и станиной | Fс п=1,6∙106BгLс п | А | 102,6313 | 153,947 | 205,4 | 225,789 | 234,373 | 246,315 |
| Магнитная индукция в станине |  | Тл | 0,65 | 0,98 | 1,30 | 1,43 | 1,50 | 1,56 |
| Напряжённость магнитного поля в станине | Нс | А/м | 535 | 898 | 1590 | 2300 | 2890 | 3560 |
| Магнитное напряжение станины | Fc=HсLс | А | 93,827 | 157,49 | 278,852 | 403,37 | 506,844 | 624,348 |
| Суммарная МДС на пару полюсов | FΣ=Fδ+Fz+Fj+Fг+Fc n+Fc | А | 1272,235 | 1935,563 | 2787,58 | 3464 | 3873,295 | 4405,07 |
| МДС переходного слоя | Fdjz=Fδ+Fz+Fj | А | 1060,05 | 1601,52 | 2267,9 | 2793,97 | 3088,68 | 3487,358 |

По данным таблицы 9.2 строится переходная характеристика Bδ=f(FδZj) рис. 9.1.



Рисунок 9.1 Характеристика холостого хода и переходная характеристика



**10. Расчет параллельной обмотки возбуждения**

Необходимая МДС параллельной обмотки:

(10.1)



Средняя длина витка катушки параллельной обмотки:

(10.2)



Толщина изоляции принимается приближенно при диаметрах якоря до . .



Сечение меди параллельной обмотки:

(10.3)



где –коэффициент запаса; – коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления меди при увеличении температуры до 75 0С.



Номинальная плотность тока принимается:

(10.4)



Число витков на пару полюсов:

(10.5)



Номинальный ток возбуждения:

(10.6)



Полная длина обмотки:

(10.7)



Сопротивление обмотки возбуждения при температуре 20°С:

(10.8)



Сопротивление обмотки возбуждения при температуре 75°С:

(10.9)



Масса меди параллельной обмотки:

(10.10)



**11. Коллектор и щетки**

Ширина нейтральной зоны:

(11.1)



Принимается ширина щетки:

(11.2)



Поверхность соприкосновения щетки с коллектором:

(11.3)



При допустимой плотности тока , число щеток на болт:



(11.4)



Поверхность соприкосновения всех щеток с коллектором:

(11.5)



Плотность тока под щетками:

(11.6)



Активная длина коллектора:

(11.7)



**12. Расчет обмотки добавочных полюсов**

МДС обмотки добавочных полюсов для машин постоянного тока без компенсационной обмотки находится в пределах:

(12.1)



Число витков на один полюс:

(12.2)



где ад – число параллельных ветвей обмотки добавочных полюсов, ад=1



Предварительное сечение проводников:

(12.3)



где , при IP23



Принимаем сердечник добавочного полюса длиной :



при равной длине якоря



Ширина сердечника



Средняя длина витка обмотки добавочного полюса:

(12.4)



где –ширина катушки добавочного полюса; и – односторонний размер зазора между сердечником добавочного полюса и катушкой с учетом изоляции сердечника; при диаметрах якоря D до 0,5 м.



Полная длина проводников обмотки:

(12.5)



12.7 Сопротивление обмотки добавочных полюсов при температуре 20 0С:

(12.6)



Сопротивление при температуре 75 0С:

(12.7)



Масса меди обмотки добавочных полюсов:

(12.8)



**13. Потери и КПД**

Электрические потери в обмотке якоря:

(13.1)



Электрические потери в обмотке добавочных полюсов:

(13.2)



Электрические потери в параллельной обмотке возбуждения:

(13.3)



Электрические потери в переходном контакте щеток на коллекторе:

(13.4)



где – потери напряжения в переходных контактах



Потери на трение щеток о коллектор:

(13.5)



где – давление на щётку ; – коэффициент трения щетки ;



Потери в подшипниках и на вентиляцию:

Принимаем



Масса стали ярма якоря:

(13.6)



Условная масса стали зубцов якоря с овальными пазами:

(13.7)



Магнитные потери в ярме якоря:

(13.8)



где – удельные потери в ярме якоря:



(13.9)



где – удельные потери в стали для и ; – частота перемагничивания ;



Магнитные потери в зубцах якоря:

(13.10)



где



Добавочные потери:

(13.11)



Сумма потерь:

(13.12)



КПД машин:

(13.13)



Конструкция двигателя постоянного тока



**Заключение**

В данной работе был выполнен расчет двигателя постоянного тока параллельного возбуждения: исполнения по степени защиты – IP22, по способу охлаждения – IC01, изоляция класса В, за основу была взята машина серии 2П.

В частности был произведен расчет главных размеров двигателя, выбрана и рассчитана обмотка якоря, произведен расчет и проверка магнитной цепи машины, также расчет параллельной обмотки возбуждения, щеточно-коллекторного узла и добавочных полюсов. В заключении был произведен расчет потерь и коэффициента полезного действия машины и сделан подробный чертеж машины постоянного тока с приведенной спецификацией.

**Список используемой литературы**

1. Вольдек А.И. Электрические машины. – Л.: Энергия, 1978.

2. Виноградов Н.В. Производство электрических машин. – М.: Энергия, 1970.

3. Иванов – Смоленский А.В. Электрические машины. – М.: Энергия, 1980.

4. Копылова И.П. Электрические машины. – М.: Энергоатомиздат, 1986.

5. Проектирование электрических машин. / Под ред. Копылова И.П. – М.: Энергия, 1980.