# Введение

Двигатели постоянного тока обладают большой глубиной регулирования частоты вращения и сохраняют во всём диапазоне регулирования высокий коэффициент полезного действия. Несмотря на то, что при традиционной конструкции они в 2 – 3 раза дороже асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором их применяют во всех тех случаях, когда их свойства имеют решающее значение. Двигатели постоянного тока находят применение в металлообрабатывающих станках, с их помощью приводятся в действие прокатные станы (слябинги и блюминги). Крановые двигатели находят применение в приводах различных подъёмных механизмов. Двигатели постоянного тока широко используются в электрической тяге, например, на магистральных электровозах, в качестве рабочих двигателей на тепловозах, на пригородных электропоездах, в метрополитенах, на трамваях, троллейбусах и т.д. Двигатели постоянного тока используют для привода во вращение гребных винтов на морских судах. Они используются в автомобилях, тракторах, самолётах и других летательных аппаратах, где имеется питание на постоянном токе.

В данном курсовом проекте произведен расчет двигателя постоянного тока на основе двигателя типа 2П.

Серия машин постоянного тока спроектирована к 1974 году в полном соответствии с рекомендациями Международной электротехнической комиссии (МЭК). Серия охватывает высоты оси вращения от 90 мм до 315 мм и диапазон мощностей от 0,37 кВт до 200 кВт. Машины этой серии предназначены для работы в широко регулируемых приводах.



В машинах серии , по сравнению с машинами других серий, повышена перегрузочная способность, расширен диапазон регулирования частоты вращения, повышена мощность на единицу массы, улучшены динамические свойства, уменьшены шум и вибрации, увеличена надёжность и ресурс работы. В основу построения серии машин постоянного тока был положен не габарит, а высота оси вращения.



Структура условного обозначения машин постоянного тока серии :



,



где 1 – название серии: вторая серия машин постоянного тока;

2 – исполнение по способу защиты и вентиляции: - защищённое с самовентиляцией, - защищённое с независимой вентиляцией от постороннего вентилятора, - закрытое с естественным охлаждением, - закрытое с внешним обдувом от постороннего вентилятора;



3 – высота оси вращения, мм;

4 – условное обозначение длины сердечника якоря: - средняя, - большая;



5 – буква при наличии встроенного тахогенератора (в двигателях без тахогенератора – опускается);



6 – климатическое исполнение и категория размещения (регламентируются ГОСТ 15150-69 и ГОСТ 15543-70).

Двигатели постоянного тока серии предназначены для работы от сети постоянного тока или от тиристорных преобразователей. Номинальное напряжение якорной цепи 110, 220, 440 и 660 Вольт. В машинах с независимым возбуждением напряжение источника питания обмотки возбуждения составляет 110 В или 220 В.



Двигатели с высотой оси вращения и выполняются с двумя главными полюсами, а при большей высоте оси вращения - с четырьмя полюсами. Двигатели серии выполняются с полным числом добавочных полюсов.



1. Определение главных размеров. Выбор электромагнитных нагрузок

1.1 Определение главных параметров

1.1.1 Главными размерами машины постоянного тока являются наружный диаметр якоря D и расчётная длина сердечника lδ.

Наружный диаметр якоря D определяется заданной высотой оси вращения

[1] , стр. 339, и он равен

D = (h - 0,004) = 0,221 м (1.1)

1.1.2 Согласно рекомендации рисунка 8.9 [1] и рисунка 8.8 [1] выбираем значения магнитной индукции в воздушном зазоре  Тл и линейной нагрузки  А/м. Согласно рисунку 8.7 [1] расчётный коэффициент полюсного перекрытия в зависимости от диаметра якоря принимаем .

Расчетная электромагнитная мощность:

, (1.2)

где  кВт – номинальная мощность двигателя,

Предварительное значение КПД электродвигателя выбираем

по рис. 8-6 [1]: η=0,86

 Вт.

1.1.3 Определяем длину сердечника якоря:

, (1.3)

где  – номинальная частота вращения ротора,

мм – диаметр якоря.

 м.

Длина магнитопровода якоря равна расчетной длине машины.

1.1.4 Определяем отношение длины магнитопровода якоря к его диаметру:

 (1.4)



.

Полученное λ удовлетворяет условию 

1.2 Выбор типа обмотки якоря

1.2.1 Предварительное значение номинального тока двигателя:

, (1.5)

где В — номинальное напряжение.

 А.

1.2.2 Для выбора типа обмотки якоря двигателя постоянного тока параллельного возбуждения необходимо значение номинального тока якоря.

Предварительное значение номинального тока якоря:

, (1.6)

где – коэффициент, определяющий отношение тока возбуждения  к току якоря, по таблице 8-10 [1]

,

 А.

Исходя из принятого числа главных полюсов и предварительного значения тока якоря , принимаем простую волновую обмотку. Число параллельных ветвей .

1.2.3 Ток параллельной ветви обмотки якоря, А:

, (1.7)

 А.

1.3 Определение обмоточных данных

1.3.1 Предварительное значение числа проводников обмотки якоря:

, (1.8)

.

1.3.2 При высоте оси вращения  мм, зубцовое деление  мм.

 [1] стр. 342

Определяем число пазов якоря:

,  (1.9)

,

.

Выбираем .

1.3.3 Зубцовое деление

; (1.10)

 м.

1.3.4 Число эффективных проводников в пазу:

, (1.11)

.

Принимаем , уточняем 

1.3.5. Диаметр коллектора

; (1.12)

.

Принимаем .

1.3.6 Для того чтобы обмотку выполнить симметричной, необходимо число элементарных пазов в одном реальном  принять нечётным числом. Число витков в секции:

, (1.13)

1.3.7 Число коллекторных пластин:

, (1.14)

1.3.8 Среднее напряжение между коллекторными пластинами, В:

, (1.15)

Результаты расчета выполнения обмотки при различных значениях  целесообразно занести в таблицу 1.

Таблица 1 - Результаты расчета выполнения обмотки при различных значениях 

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | wc |  |  |  |
| 1 | 2 | 27 | 10 | 70,4 |
| 3 | 81 | 81 | 3 | 21,7 |
| 5 | 135 | 135 | 2 | 14,1 |

Выбираем вариант с .

1.3.9 Уточняем число проводников обмотки якоря:

, (1.16)

.

1.3.10 Определяем число витков обмотки якоря:

, (1.17)

.

1.3.11 Первый частичный шаг обмотки принимается близким полюсному делению:

, , (1.18)

где ε - коэффициент удлинения шага обмотки;



1.3.12 Шаг по коллектору и второй частичный шаг

 , где p - число полюсов (1.20)



 (1.21)



1.3.13 Уточненная линейная нагрузка

; (1.22)

 А/м.

1.3.14 Уточняем длину воздушного зазора

; (1.23)

 м.

1.3.15 Плотность тока в обмотке якоря

, (1.24)

где  - предварительно заданное по справочнику значение для класса нагревостойкости В. 

 А/м2.

1.3.16 Поперечное сечение эффективного проводника

; (1.25)

 м2.

Так как полученное значение qa>1,094 мм2 , разобьем проводник на 5 элементарных проводника. Полученное сечение проводника нормируется. Имеем nЭЛ=5,  м2,  м, м.

Сечение эффективного проводника

 м2.

1.3.17 Сопротивление обмотки якоря

, (1.26)

где mt - температурный коэффициент, учитывающий повышение удельного сопротивления при рабочей температуре ;

ρ - удельное сопротивление меди;

lacp - средняя длина полувитка обмотки якоря.

lacp=lп+ lл=lδ+ lл, (1.27)

где lп - длина пазовой части; lп= lδ;

lл - длина лобовой части обмотки якоря, принимается равной .

м.

Получим

 Ом.

1.3.18 Масса проводников обмотки меди

, (1.28)

где mM - удельная масса меди; mM=8900 кг/м3.

кг.

1.4 Расчет геометрии зубцовой зоны

1.4.1 Ширина зубца при овальной форме паза

, (1.29)

где кС - коэффициент заполнения пакета якоря сталью при оксидировании; кС=0,97; [1] табл. 6-11 ВZД - допустимое значение индукции в зубце, принимаемое в зависимости от частоты перемагничивания, степени защиты и способа охлаждения.

Частоту перемагничивания определим по формуле

; (1.30)

 Гц.

Принимаем значение допустимой индукции  Тл. [1] табл. 8-11

 м.

1.4.2 Высота паза  м. [1] рис. 8-12

1.4.3 Внутренний диаметр якоря

DO ≈ 0,3·D; (1.31)

DO ≈ 0,3·0,221 = 0,065.

Величина DO нормируется [1] табл. 8-13

Принимаем DO = 0,065 м.

1.4.4 Большой радиус паза

, (1.32)

где  - высота шлица паза;  [1] стр. 345

 м.

1.4.5 Малый радиус паза

; (1.33)

 м.

1.4.6 Расстояние между центрами радиусов

; (1.34)

 м.

1.4.7 Площадь паза в штампе

; (1.35)

 м2.

1.4.8 Площадь пазовой изоляции

, (1.36)

где  - толщина пазовой изоляции;  м. [1] табл. 3-15

 м2.

1.4.9 Площадь пазового клина

; (1.37)

 м2.

1.4.10 Площадь паза под обмотку

; (1.38)

 м2.

1.4.11 Площадь обмотки

; (1.39)

 м2.

1.4.12 Коэффициент заполнения паза

; (1.40)



2. Магнитная система машин постоянного тока

2.1 Воздушный зазор под главным полюсом

2.1.1 Величина воздушного зазора под главным полюсом

; (2.1)

 м.

2.1.2 Полюсное деление

; (2.2)

м.

2.1.3 Ширина полюсного наконечника

; (2.3)

 м.

2.1.4 Коэффициент воздушного зазора

, (2.4)

где  - ширина шлица паза; м. [1] стр. 345

.

2.1.5 Уточнение величины воздушного зазора

; (2.5)

м.

Принимаем  м.

2.1.6 Предварительное значение ЭДС якоря

; (2.6)

где кД - коэффициент, учитывающий падение напряжения в якорной цепи;

кД=0,9 [2] табл. 5.1

 В.

2.1.7 Магнитный поток в воздушном зазоре

; (2.7)

Вб.

2.1.8 Площадь поперечного сечения

; (2.8)

.

2.1.9 Магнитная индукция воздушного зазора

; (2.9)

 Тл.

2.1.10 Напряженность магнитного поля в воздушном зазоре

; (2.10)

 А/м.

2.1.11 Расчётная длина воздушного зазора

, (2.11)

где  - коэффициент Картера, учитывающий зубчатость якоря.

 м.

электрический двигатель ток коллекторный

2.1.12 Магнитное напряжение воздушного зазора

; (2.12)



2.2 Зубцовая зона сердечника якоря

2.2.1 Магнитный поток в зубцовой зоне

; (2.13)

 Вб.

2.2.2 Площадь сечения зубцовой зоны при овальной форме паза

; (2.14)

 м2.

2.2.3 Магнитная индукция зубцовой зоны

; (2.15)

Тл.

Выбираем марку стали зубцовой зоны якоря 2312 [2] табл. 5.2

2.2.4 Определим по приложению П-18 [1] для стали 2312 напряженность магнитного поля зубцовой зоны якоря  А/м.

2.2.5 Расчетная длина зубцового слоя при пазах овальной формы

; (2.16)

м.

2.2.7 Магнитное напряжение зубцового слоя

; (2.17)

А.

2.3 Ярмо сердечника якоря

2.3.1 Магнитный поток в ярме якоря

; (2.18)

 Вб.

2.3.2 Площадь сечения ярма сердечника

, (2.19)

где  - высота ярма сердечника якоря.

; (2.20)

 м.

Получим

 м2

2.3.3 Магнитная индукция ярма сердечника якоря

; (2.21)

Тл.

Bj удовлетворяет условию Bj ≤ Bjд. Bjд = 1,45 [1], табл. 8-12. Выбираем для ярма сердечника якоря марку стали 2312.

2.3.4 По основной приложению П-18 [1] для стали 2312 определим напряженность магнитного поля в ярме сердечника якоря А/м.

2.3.5 Расчетная длина ярма сердечника якоря

; (2.22)

м.

2.3.6 Магнитное напряжение ярма сердечника якоря

; (2.23)

 А.

2.4 Сердечник главного полюса

2.4.1 Магнитный поток в сердечнике главного полюса

, (2.24)

где  - коэффициент магнитного рассеяния главных полюсов;

 [1] стр. 355

Вб.

2.4.2 Площадь сечения сердечника главного полюса

, (2.25)

где  - коэффициент заполнения сердечника главного полюса сталью; ;

 - длина сердечника главного полюса;

 - ширина сердечника главного полюса.

, м

; (2.26)

м

 (2.27)

м.

Получим

 м2.

2.4.3 Магнитная индукция в сердечнике главного полюса

; (2.28)

 Тл.

Вг удовлетворяет условию Вг ≤ Вгд. Вгд = 1,6 [1] стр. 355.

Выбираем для сердечника главного полюса марку стали 3411.

2.4.4 По приложению П-27 [1] для стали 3411 определим напряженность магнитного поля в сердечнике главного полюса А/м.

2.4.5 Расчетная длина сердечника главного полюса

,

где  - высота сердечника главного полюса; м; [2] табл. 5.3

м.

2.4.6 Магнитное напряжение сердечника главного полюса

; (2.29)

 А.

2.5 Зазор между полюсом и станиной

2.5.1 Магнитный поток в зазоре между станиной и полюсом

;

 Вб.

2.5.2 Площадь сечения зазора между станиной и полюсом

;

 м2.

2.5.3 Магнитная индукция в воздушном зазоре между главным полюсом и станиной

,

Тл.

2.5.4 Напряженность магнитного поля в зазоре

; (2.30)

А/м.

2.5.5 Расчетная длина зазора между полюсом и станиной

; (2.31)

м.

2.5.6 Магнитное напряжение воздушного зазора между главным полюсом и станиной

; (2.32)

А.

2.6 Станина

2.6.1 Магнитный поток в станине с учетом его разветвления

; (2.33)

Вб.

2.6.2 Площадь сечения станины

, (2.34)

где  - допустимое значение индукции в станине двигателя, выбирается в зависимости от степени защиты и способа охлаждения;  Тл. [1] стр. 355

м2.

2.6.3 Магнитная индукция в станине

; (2.35)

 Тл.

Марка стали станины Ст3.

2.6.4 По приложению П-25 [1] для стали Ст3 определим напряженность магнитного поля в станине: А/м.

2.6.5 Расчетная длина станины

, (2.36)

где  - толщина станины.

, (2.37)

где  - длина станины.

; (2.38)

 м.

 м.

где  - наружный диаметр станины.

; (2.39)

м.

Получим

м.

2.6.6 Магнитное напряжение в станине

; (2.40)

А.

2.7 Характеристика намагничивания. Переходная характеристика

2.7.1 Суммарная МДС на полюс

; (2.41)

А.

2.7.2 МДС переходного слоя

; (2.46)

А.

Аналогичным образом производим расчет для потоков равных 0,5; 0,75; 0,9; 1,1; 1,15 номинального значения. Результаты расчета сводим в таблицу 2. По данным таблицы 2 построим характеристику намагничивания машины постоянного тока  и переходную характеристику . Вид характеристик представлен на рисунке 1

Таблица 2 - Расчет характеристик намагничивания машины постоянного тока

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Расчетная величина | 0,5·ЕН | 0,75·ЕН | 0,9·ЕН | 1,0·ЕН | 1,1·ЕН | 1,15·ЕН |
| ЭДС обмотки якоря Ен =kд·Uн=396 В | 198 | 297 | 356,4 | 396 | 435,6 | 455,4 |
| Воздушный зазор под главным полюсом | | | | | | |
| 2.1.7 Магнитный поток в воздушном зазоре Фδ, Вб· | 0,0122 | 0,0183 | 0,022 | 0,0244 | 0,0268 | 0,028 |
| 2.1.8 Площадь сечения воздушного зазора Sδ=0,032, м2 | | | | | | |
| 2.1.9 Магнитная индукция в воздушном зазоре Вδ, Тл | 0,38 | 0,57 | 0,684 | 0,76 | 0,836 | 0,874 |
| 2.1.10 Напряжённость магнитного поля в воздушном зазоре Нδ, А/м | 305000 | 460000 | 550000 | 610000 | 671000 | 700000 |
| 2.1.11 Расчетная длина воздушного зазора Lδ=0,00215,м | | | | | |  |
| 2.1.12 Магнитное напряжение воздушного зазора F, А | 655,75 | 989 | 1182 | 1310 | 1442,65 | 1505 |
| Зубцовая зона сердечника якоря | | | | | | |
| 2.2.1 Магнитный поток в зубцовой зоне ФZ, Вб | 0,0122 | 0,0183 | 0,02196 | 0,0244 | 0,0268 | 0,028 |
| 2.2.2 Площадь сечения зубцовой зоны при овальной форме паза SZ=0,01356, м2 | | | | | | |
| 2.2.3 Магнитная индукция в зубцах якоря ВZ, Тл | 0,9 | 1,35 | 1,62 | 1,799 | 1,98 | 2,07 |
| 2.2.4 Напряжённость магнитного поля в зубцах якоря НZ, А/м | 190 | 730 | 3800 | 12864 | 34400 | 54500 |
| 2.2.5 Расчетная длина зубцового слоя при овальной форме паза LZ=0,0287, м2 | | | | | | |
| 2.2.6 Магнитное напряжение зубцов якоря FZ, A | 5,45 | 20,95 | 109,1 | 369,2 | 987 | 1564 |
| Ярмо сердечника якоря | | | | | | |
| 2.3.1 Магнитный поток в ярме сердечника якоря Фj, Вб·10-3 | 0,006 | 0,009 | 0,0108 | 0,012 | 0,0132 | 0,0138 |
| 2.3.2 Площадь сечения ярма сердечника якоря Sj=0,021, м2 | | | | | | |
| 2.3.3 Магнитная индукция в ярме сердечника якоря Вj, Тл | 0,47 | 0,71 | 0,85 | 0,94 | 1,03 | 1,08 |
| 2.3.4 Напряжённость магнитного поля в ярме сердечника якоря Нj, А/м | 74 | 99 | 165 | 210 | 258 | 288 |
| 2.3.5 Расчетная длина ярма сердечника якоря Lj=0,068, м | | | | | | |
| 2.3.6 Магнитное напряжение ярма сердечника якоря Fj, А | 5,03 | 6,73 | 11,22 | 14,4 | 17,54 | 19,58 |
| Сердечник главного полюса | | | | | | |
| 2.4.1 Магнитный поток в сердечнике главного полюса ФГ, Вб· | 0,0145 | 0,022 | 0,026 | 0,029 | 0,032 | 0,033 |
| 2.4.2 Площадь сечения сердечника главного полюса SГ=0,025, м2 | | | | | | |
| 2.4.3 Магнитная индукция в сердечнике главного полюса ВГ, Тл | 0,59 | 0,88 | 1,05 | 1,17 | 1,29 | 1,35 |
| 2.4.4 Напряжённость магнитного поля в сердечнике главного полюса НГ, А/м | 100 | 150 | 190 | 260 | 360 | 430 |
| 2.4.5 Расчетная длина сердечника главного полюса LГ=0,1 , м | | | | | | |
| 2.4.6 Магнитное напряжение сердечника главного полюса FГ, А | 10 | 15 | 19 | 26 | 36 | 43 |
| Зазор между станиной и полюсом | | | | | | |
| 2.5.1 Магнитный поток в зазоре между станиной и полюсом ФСП,Вб | 0,0145 | 0,022 | 0,0261 | 0,029 | 0,032 | 0,033 |
| 2.5.2 Площадь сечения зазора между станиной и полюсом SСП=0,025, м2 | | | | | | |
| 2.5.3 Магнитная индукция в зазоре между станиной и полюсом ВСП, Тл | 0,585 | 0,878 | 1,053 | 1,17 | 1,287 | 1,346 |
| 2.5.4 Напряжённость магнитного поля в зазоре НСП, А/м | 468000 | 700000 | 840000 | 936000 | 1,03·106 | 1,08·106 |
| 2.5.5 Расчетная длина зазора между станиной и полюсом LСП=0,156·103, м2 | | | | | | |
| 2.5.6 Магнит. напряжение зазора между станиной и полюсом FСП, А | 73 | 109,2 | 131 | 146,2 | 160,7 | 168 |
| Станина | | | | | | |
| 2.6.1 Магнитный поток в станине с учётом его разветвления ФС,Вб | 0,0073 | 0,011 | 0,0131 | 0,0145 | 0,016 | 0,0167 |
| 2.6.2 Площадь сечения станины SС=0,011, м2 | | | | | | |
| 2.6.3 Магнитная индукция в станине ВС, Тл | 0,67 | 1,0 | 1,2 | 1,33 | 1,46 | 1,53 |
| 2.6.4 Напряжённость магнитного поля в станине НС, А/м | 554 | 924 | 1290 | 1720 | 2530 | 3210 |
| 2.6.5 Расчетная длина станины LС=0,192, м | | | | | | |
| 2.6.6 Магнитное напряжение станины FС, А | 106,4 | 172,4 | 247,7 | 330,24 | 485,8 | 616 |
| Сумма магнитных напряжений всех участков магнитной цепи F∑, А | 855,63 | 1318,28 | 1700 | 2196 | 3130 | 3915,8 |
| Сумма магнитных напряжений участков переходного слоя FδZj, A | 666,23 | 1016,7 | 1302,3 | 1693,6 | 2447,5 | 3088,8 |

3. Расчет системы возбуждения

3.1 Определение размагничивающего действия поперечной реакции якоря

3.1.1 Определим величину

; (3.1)

 А.

3.1.2 По переходной характеристике определим величины и 

 Тл,  Тл.

3.1.3 Среднее значение индукции в воздушном зазоре

; (3.2)

 Тл.

3.1.4 По переходной характеристике определим размагничивающее действие поперечной реакции якоря А.

3.2 Расчет обмоток при параллельном возбуждении

3.2.1 Необходимое значение МДС обмотки параллельного возбуждения

;  , (3.3)

,  А.

3.2.2 Поперечное сечение проводников параллельной обмотки возбуждения

; (3.4)

где ;

 - число параллельных ветвей параллельной обмотки возбуждения, в некомпенсированных машинах; ;

 - коэффициент запаса; ;

 - толщина изоляции плюс односторонний зазор между катушкой и полюсом;  [1] стр. 358

 - средняя длина витка параллельной обмотки возбуждения.

, (3.5)

где - ширина катушки обмотки возбуждения.

; (3.6)

 м.

 м.

 м2.

Поперечное сечение проводников нормируется, получим

 м2. [1] стр. 359

3.2.3 Число витков на один полюс

; (3.7)

, (3.8)

где  - значение плотности тока в параллельной обмотке возбуждения;

 А/м2. [1] стр. 359

 А.

.

Принимаем число витков .

3.2.4 Сопротивление обмотки возбуждения

; (3.9)

 Ом.

3.2.5 Масса меди обмотки возбуждения

; (3.10)

 кг.

3.2.6 Коэффициент запаса

, (3.11)

где  - максимальное значение тока обмотки возбуждения;

. (3.12)

 А, получим

.

4. Оценка коммутационных параметров

4.1 Расчет коммутационных параметров

4.1.1 Окружная скорость якоря

; (4.1)

 м/с.

4.1.2 Коэффициент удельной проводимости пазового рассеяния для овального паза

; (4.2)

.

4.1.3 Значение реактивной ЭДС

; (4.3)

 В.

4.2 Расчет щеточно-коллекторного узла

4.2.1 Ширина щетки

, (4.4)

где γ – коэффициент щеточного перекрытия; .[1] П-34

м.

Из условия,  В, выберем графитные щетки марки 611М. [1] П-35

Принимаем ширину щетки .

4.2.2 Ширина зоны коммутации

; (4.5)

м.

4.2.3 Коэффициент зоны коммутации

; (4.6)

.

4.2.4 Контактная площадь щеток на один щеточный болт

, (4.7)

где  - плотность тока под щеткой;  А/м2. [1] П-35

 м2.

4.2.5 Длина щетки

, (4.8)

где  - число щеток на щеточный болт; .

 м.

Принимаем длину щетки м. [1] П-34

4.2.6 Уточненное значение плотности тока под щеткой

; (4.9)

 А/м2.

4.2.7 Активная длина коллектора

; (4.10)

 м.

4.3 Расчет магнитной цепи добавочных полюсов

4.3.1 Воздушный зазор под добавочным полюсом

; (4.11)

 м.

4.3.2 ЭДС коммутации

; (4.12)

 В.

4.3.3 Индукция под добавочным полюсом

; (4.13)

 Тл.

4.3.4 Магнитный поток в воздушном зазоре под добавочным полюсом

, (4.14)

где  - длина наконечника добавочного полюса; ;

 - ширина наконечника добавочного полюса.

. (4.15)

Получим

 м.

Получим в конечном результате, что

 Вб.

4.3.5 Магнитный поток в сердечнике добавочного полюса

, (4.16)

где σД - коэффициент магнитного рассеяния добавочного полюса.

В машинах без компенсационной обмотки , примем . [1] стр. 362

Получим

 Вб.

4.3.6 Индукция в сердечнике добавочного полюса

, (4.17)

где  - сечение сердечника добавочного полюса.

, (4.18)

где  - длина сердечника добавочного полюса; ;

, м – ширина сердечника добавочного полюса;

. (4.19)

Получим

м

Далее имеем

 м2.

Получим в итоге

 Тл.

4.4 Расчет обмотки добавочного полюса

4.4.1 Приближенное значение МДС обмотки добавочных полюсов

; (4.20)

 А

Принимаем  А.

4.4.2 Число витков в обмотке добавочных полюсов

, (4.21)

где  - число параллельных ветвей обмотки добавочных полюсов; .

.

Принимаем .

4.4.3 Площадь поперечного сечения проводников обмотки добавочных полюсов

, (4.22)

где  - плотность тока в обмотке добавочных полюсов;

А/м2. [1] стр.365

 м2.

Принимаем провод прямоугольного сечения марки ПЭВП с площадью сечения  м2, номинальными размерами м и м. [1] П-29

4.4.4 Средняя длина витка катушки обмотки добавочного полюса

, (4.23)

где  - ширины катушки обмотки добавочного полюса; .

 м.

4.4.5 Сопротивление обмотки добавочных полюсов

, (4.24)

где  - количество добавочных полюсов в машине; 

Ом.

4.4.6 Масса меди обмотки добавочных полюсов

; (4.25)

кг.

5. Потери мощности и рабочие характеристики

5.1 Расчет потерь мощности

5.1.1 Механические потери мощности на трение щеток о коллектор

, (5.1)

где  - коэффициент трения щеток о коллектор; ;

 - удельное давление на щетку;  Па; [1] П-35

 - окружная скорость коллектора; , м/с .

; (5.2)

 м/с.

 Вт.

5.1.2 Механические потери мощности на трение в подшипниках и вентиляцию определим предварительно из графика [1] рис. 8-30

 кВт. (5.3)

5.1.3 Механические потери мощности

; (5.4)

 Вт.

5.1.4 Электрические потери в обмотке якоря

; (5.5)

 Вт.

5.1.5 Электрические потери в обмотке добавочных полюсов

; (5.6)

 Вт.

5.1.6 Электрические потери мощности в параллельной обмотке возбуждения

; (5.7)

 Вт.

5.1.8 Электрические потери мощности в щеточно – коллекторном контакте

, (5.8)

где  - падение напряжения на пару щеток;  В. [1] П-35

Вт.

5.1.9 Основные электрические потери

; (5.9)

Вт.

5.1.10 Масса зубцов сердечника якоря

, (5.10)

где  - удельная масса стали; кг/м3.

 кг.

5.1.11 Масса ярма сердечника якоря

; (5.11)

 кг.

5.1.12 Магнитные потери в зубцах якоря

, (5.12)

где  - технологический поправочный коэффициент; ;

 - удельные магнитные потери для стали марки 2312; ;

 - показатель степени; . [2] табл. 5.1

;(5.13)

 Гц.

Получим

 Вт.

5.1.13 Магнитные потери в ярме якоря

; (5.14)

 Вт.

5.1.14 Основные магнитные потери

; (5.15)

 Вт.

5.1.15 Добавочные потери мощности

; (5.16)

 Вт.

5.1.16 Суммарные потери мощности

; (5.17)

 Вт.

5.2 Определение номинальных параметров

5.2.1 Предварительное значение потребляемой мощности

; (5.18)

 Вт.

5.2.2 Предварительное значение тока двигателя

; (5.19)

А.

5.2.3 Номинальный ток якоря

; (5.20)

А.

5.2.4 ЭДС обмотки якоря

, (5.21)

где - суммарное сопротивление якорной цепи

;(5.22)

 Ом

Получим

 В.

5.2.5 Основной магнитный поток в воздушном зазоре

; (5.23)

Вб.

5.2.6 По основной характеристике намагничивания  определяем суммарное значение магнитного напряжения , соответствующее 

 А.

5.2.7 Определяем МДС системы возбуждения при параллельном возбуждении.

, (5.24)

где  - номинальное значение поперечной размагничивающей реакции якоря

.

 А.

5.2.8 Уточненный номинальный ток возбуждения

; (5.25)

 А.

5.2.9 Уточненный номинальный ток двигателя

; (5.26)

 А.

5.2.10 Уточненное значение потребляемой мощности двигателя

; (5.27)

 Вт.

5.2.11 Полезная мощность на валу двигателя

 ; (5.28)

;(5.29)

 Вт;

Получим

 Вт.

5.2.12 Коэффициент полезного действия

; (5.30)

.

5.2.13 Вращающий момент на валу двигателя

; (5.31)

 Н.м.

Для построения рабочих характеристик произведем расчет по схеме, изложенной в пунктах 5.2.3 - 5.2.13, при значениях коэффициента нагрузки . Результаты расчетов сведем в таблицу 3. Вид рабочих характеристик приведен на рисунке5.

Таблица 6 - Расчет рабочих характеристик

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Коэффициент нагрузки. | 0,1 | 0,25 | 0,5 | 0,75 | 1,25 | 1,5 |
| Ток якоря для данных коэффициентов нагрузки . | 8,0 | 20,1 | 40,2 | 60,3 | 100,6 | 120,7 |
| Значение ЭДС . | 435,1 | 430,6 | 423,2 | 415,9 | 401,1 | 393,7 |
| Размагничивающее действие реакции якоря . | 52 | 130 | 260 | 390 | 650 | 780 |
| Суммарное магнитное напряжение всех участков магнитной цепи при параллельном возбуждении. | 2728 | 2650 | 2520 | 2390 | 2130 | 2000 |
| Магнитный поток, соответствующий , определим по хар – ке намагничивания . | 0,0257 | 0,0256 | 0,0253 | 0,0251 | 0,0244 | 0,0239 |
| Частота вращения якоря | 1045 | 1038 | 1033 | 1023 | 1015 | 1017 |
| Ток двигателя | 10,58 | 22,68 | 42,78 | 62,88 | 103,18 | 123,28 |
| Потребляемая мощность | 4655,2 | 9979,2 | 18823 | 27667 | 45399 | 54243 |
| Полезная мощность на валу двигателя    P′доб = Рдоб·(k н)2 [2], стр. 108 | 3082,1 | 8336,8 | 16524 | 24475 | 39374 | 46288 |
| Коэффициент полезного действия | 0,66 | 0,835 | 0,877 | 0,885 | 0,867 | 0,853 |
| Вращающий момент на валу двигателя | 29,5 | 79,78 | 158,13 | 234,22 | 376,8 | 442,97 |

6. Тепловой расчет

Для приближенной оценки тепловой напряженности машины необходимо сопротивления обмоток привести к температуре, соответствующей заданному классу изоляции; при классе нагревостойкости В сопротивления умножаются на поправочный коэффициент .

6.1 Сопротивление обмотки якоря

; (6.1)

 Ом.

6.2 Сопротивление обмотки добавочных полюсов

; (6.2)

 Ом.

6.3 Сопротивление обмотки возбуждения

; (6.3)

 Ом.

6.4 Потери в обмотке якоря

; (6.4)

 Вт.

6.5 Потери в обмотке добавочных полюсов

; (6.5)

 Вт.

6.6 Потери в обмотке возбуждения

; (6.6)

 Вт.

6.7 Превышение температуры охлаждаемой поверхности якоря

, (6.7)

где  - коэффициент теплоотдачи с наружной поверхности якоря;. Выбирается по рис.8-31 [1]

0С.

6.8 Перепад температуры в изоляции пазовой части обмотки якоря

, (6.8)

где  - периметр поперечного сечения паза.

; (6.9)

м.

где  - эквивалентный коэффициент теплопроводности внутренней изоляции секции из круглого провода; ;

 - эквивалентный коэффициент теплопроводности изоляции; . [1] стр. 371

 0С.

6.9 Превышение температуры охлаждаемой поверхности лобовых частей обмотки якоря

; (6.10)

Где lв - длина вылета лобовой части

; (6.11)

 м.

αл - коэффициент теплоотдачи с лобовых поверхностей обмотки якоря; . Выбирается по рис.8-31 [1]

0С.

6.10 Перепад температуры в изоляции лобовой части обмотки якоря

, (6.12)

где  - периметр поперечного сечения условной поверхности охлаждения лобовой части.

; (6.13)

 м.

 0С.

6.11 Среднее превышение температуры обмотки якоря над температурой охлаждающего воздуха

; (6.14)

0С.

6.12 Сумма потерь, отводимых охлаждающим внутренний объем двигателя воздухом

; (6.15)

 Вт.

6.13 Условная поверхность охлаждения двигателя

; (6.16)

м2.

6.14 Среднее превышение температуры воздуха внутри двигателя

, (6.17)

Где αн - коэффициент подогрева воздуха; .

Выбирается по рис. 8-32 [1]

 0С.

6.15 Среднее превышение температуры обмотки якоря над температурой охлаждающей среды

; (6.18)

0С.

6.16 Превышение температуры наружной поверхности катушки возбуждения над температурой воздуха внутри машины

; (6.19)

Где αв - коэффициент теплоотдачи с поверхности обмотки возбуждения . Выбирается по рис. 8-31 [1]

Sв - Наружная поверхность охлаждения катушки обмотки возбуждения

, (6.20)

где  - периметр охлаждения катушки обмотки возбуждения; Находим по эскизу междуполюсного окна двигателя м.

м2.

Получим

 0С.

6.17 Перепад температуры в изоляции катушки обмотки возбуждения

, (6.21)

где  - средняя ширина катушки обмотки возбуждения.

0С.

6.18 Среднее превышение температуры обмотки возбуждения над температурой охлаждающей среды

; (6.22)

0С.

6.19 Превышение температуры наружной поверхности добавочного полюса над температурой воздуха внутри машины

; (6.23)

Где αд - коэффициент теплоотдачи с поверхности катушки обмотки добавочных полюсов . Выбирается по рис. 8-31 [1]

Sд - поверхность охлаждения обмотки добавочных полюсов

, (6.24)

 м2.

- периметр охлаждения катушки обмотки добавочных полюсов;

Находим по эскизу междуполюсного окна двигателя  м.

Получим

0С.

6.20 Перепад температуры в изоляции катушки обмотки добавочного полюса

, (6.25)

где  - средняя ширина катушки обмотки добавочных полюсов.

 0С.

6.21 Среднее превышение температуры катушки обмотки добавочных полюсов над температурой воздуха внутри машины

; (6.26)

0С.

6.22 Превышение температуры наружной поверхности коллектора над температурой воздуха внутри двигателя

; (6.29)

Где αк - коэффициент теплоотдачи с поверхности коллектора .

Выбирается по рис. 8-33 [1]

Sк - площадь поверхности охлаждения коллектора

; (6.28)

 м2.

Получим

 0С.

Таким образом, превышения температуры обмотки якоря, обмотки возбуждения и коллектора ниже предельно допустимых значений для класса нагревостойкости изоляции B. Для проводников обмотки добавочных полюсов марки ПСД (класс изоляции F) среднее превышение температуры так же не превышает предельного допускаемого значения.

7. Вентиляционный расчет

7.1 Необходимое количество охлаждающего воздуха

, (7.1)

где  - превышение температуры воздуха; , оС.

; (7.2)

 м3/с.

7.2 Наружный диаметр центробежного вентилятора

, (7.3)

где  - внутренний диаметр станины.

(7.4)

 м.

Получим

 м.

7.3 Окружная скорость вентилятора по внешнему диаметру

; (7.5)

 м/с.

7.4 Внутренний диаметр колеса вентилятора

; (7.6)

м.

7.5 Окружная скорость вентилятора по внутреннему диаметру

; (7.7)

 м/с.

7.6 Ширина лопаток вентилятора

; (7.8)

 м.

7.6 Согласно рекомендации [1] число лопаток вентилятора определяется по формуле

; (7.9)



Принимаем число лопаток вентилятора .

7.7 Давление вентилятора при холостом ходе составляет

, (7.10)

где  - аэродинамический КПД радиальных крыльев; ;

ρ – плотность воздуха при температуре 20 оС; ρ=1.23 кг·м3.

Па.

7.8 Максимально возможное количество воздуха в режиме короткого замыкания

; (7.11)

Где S2 - входное сечение вентилятора;

; (7.12)

 м2.

Получим

 м3/с.

7.9 Аэродинамическое сопротивление вентиляционной системы машины

 [1] рис. 5-20

7.10 Действительный расход воздуха

; (7.13)



7.11 Действительное давление вентилятора

; (7.14)

 Па.

7.12 Мощность, потребляемая вентилятором

, (7.15)

где  - энергетический КПД вентилятора; . [1] стр. 373

Вт.

7.13 Уточняем сумму потерь на трение в подшипниках и вентиляцию

 (7.16)

 Вт.

7.14 Уточняем потери по (5.4) и (5.29)

;

 Вт.

;

 Вт.

7.15 Пересчитаем полезную мощность на валу двигателя по (5.28)

;

Вт.

7.16 Уточняем КПД машины в номинальном режиме по (5.30)

;

.

Заключение

В ходе курсового проектирования был спроектирован двигатель постоянного тока, отвечающий всем требованиям технического задания, имеющий следующие номинальные параметры:

РН= 36507,6 Вт;

UН= 440 В;

nН= 1000 об/мин;

МН=316,98 Н.м.

Расчет включает следующие этапы:

1 Выбор главных размеров и расчет параметров якоря

2 Расчет магнитной системы машины постоянного тока

3 Расчет системы возбуждения

4 Оценка коммутационных параметров

5 Потери мощности и рабочие характеристики

6 Тепловой расчет

7 Вентиляционный расчет

При вышеперечисленных расчетах коэффициент полезного действия составил 0,905. Температурные показатели не превышают допустимых значений.

Расчет машины произвел вручную. Сборочный чертеж, рисунки и эскизы выполнены в системе компьютерного моделирования КОМПАС.

Список литературы

1. Бурковская Т.А. Проектирование электрических машин постоянного тока: Учеб. пособие. – Воронеж: Издательство "Научная книга", 2008.
2. Копылов, И.П., Проектирование электрических машин: учеб. для вузов/И. П. Копылов, Ф.А. Горяинов, Б.К. Клоков и др.; под ред. И. П. Копылова.– М.: Энергия, 1980.
3. Проектирование электрических машин: учебник для вузов / О.Д. Гольдберг, И.С. Свириденко; Под ред. О.Д. Гольдберга. – Москва "Высшая школа", 1984.