Аннотация

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

3

1205.202058.000ПЗ

Разраб.

Рудкевич В.А.

Пров

вер.

Юшкова О. А..

Т. контр

Н. Контр.

Утверд.

Двигатель асинхронный

Лит.

Листов

УГАТУ-СЭМС-404

Произведен расчет асинхронного двигателя.

Выполнен электромагнитный расчет двигателя. Определены размеры, конфигурация, материалы магнитной системы асинхронного двигателя. Определены типы обмоток статора и ротора, изоляция, обмоточные провода. Выполнен расчет магнитной цепи двигателя, определены активные и индуктивные сопротивления обмоток статора и ротора. Рассчитана работа двигателя при холостом ходе, номинальном режиме, и при пуске. Построена круговая диаграмма и рабочие характеристики спроектированного двигателя. Произведены тепловой и вентиляционный расчеты двигателя. Определена масса спроектированного двигателя и его составных частей, и динамический момент инерции ротора.

Разработана конструкция машины и выполнен сборочный чертеж.

**Содержание**

[Аннотация 3](#_Toc230373114)

[Введение 6](#_Toc230373115)

[1 Исходные данные для проектирования 10](#_Toc230373116)

[2 Магнитная цепь двигателя. Размеры, конфигурация, материал 11](#_Toc230373117)

[2.1 Главные размеры 11](#_Toc230373118)

[2.2 Сердечник статора 12](#_Toc230373119)

[2.3 Сердечник ротора 12](#_Toc230373121)

[3 Обмотка статора 13](#_Toc230373122)

[3.1 Обмотка статора с прямоугольными полуоткрытыми пазами 15](#_Toc230373123)

[4 Обмотка короткозамкнутого ротора 19](#_Toc230373124)

[4.1 Размеры пазов бутылочной формы 19](#_Toc230373125)

[4.2 Размеры короткозамыкающего кольца 21](#_Toc230373126)

[5 Расчет магнитной цепи 22](#_Toc230373127)

[5.1 МДС для воздушного зазора 22](#_Toc230373128)

[5.2 МДС для зубцов при прямоугольных полуоткрытых пазах статора 22](#_Toc230373129)

[5.3 МДС для зубцов ротора при пазах ротора бутылочной формы 23](#_Toc230373130)

[5.4 МДС для спинки статора 23](#_Toc230373131)

[5.5 МДС для спинки ротора 23](#_Toc230373132)

[5.6 Параметры магнитной цепи 24](#_Toc230373133)

[6 Активное и индуктивное сопротивления обмоток 25](#_Toc230373134)

[6.1 Сопротивление обмотки статора 25](#_Toc230373135)

[6.2 Сопротивление обмотки короткозамкнутого ротора с пазами бутылочной формы 27](#_Toc230373136)

[6.3 Сопротивление обмоток преобразованной схемы замещения двигателя 29](#_Toc230373137)

[7 Режим холостого хода и номинальный 31](#_Toc230373138)

[7.1 Режим холостого хода 31](#_Toc230373139)

[7.2 Расчет параметров номинального режима работы 32](#_Toc230373140)

[8 Круговая диаграмма и рабочие характеристики 36](#_Toc230373141)

[8.1 Круговая диаграмма 36](#_Toc230373142)

[8.2 Рабочие характеристики 37](#_Toc230373143)

[9 Максимальный момент 39](#_Toc230373144)

[10 Начальный пусковой ток и начальный пусковой момент 41](#_Toc230373145)

[10.1 Активные и индуктивные сопротивления, соответствующие пусковому режиму 41](#_Toc230373146)

[10.2 Начальные пусковые ток и момент 42](#_Toc230373147)

[11 Тепловой и вентиляционный расчеты 44](#_Toc230373148)

[11.1 Тепловой расчет 44](#_Toc230373149)

[11.1.1 Обмотка статора 44](#_Toc230373150)

[11.2 Вентиляционный расчет двигателя со степенью защиты IP23 и способом охлаждения IC0141 46](#_Toc230373151)

[12 Масса двигателя и динамический момент инерции 48](#_Toc230373152)

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

5

1205.202058.000ПЗ

Введение

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

6

1205.202058.000ПЗ

**Состояние и перспективы развития асинхронных электродвигателей**

Простота конструкции, надежность, высокое значение коэффициента полезного действия асинхронных двигателей (АД) мощностью от 0,025 до 350 кВт объясняют широкое применение в электроприводах. Известно, в частности, что приводы с использованием АД потребляют около 60% мирового производства электроэнергии.

В начале 1990-х годов, с распадом СССР, для российского потребителя стало проблемой приобретение асинхронных двигателей. В Российской Федерации отсутствовало производство АД с высотами оси вращения 63, 71, 80, 90, 200, 225, 250 мм. Электродвигатели таких габаритов выпускали только заводы производственных объединений “Укрэлектромаш” и “Южэлектромаш” (Украина), завод “Электродвигатель” (Беларусь), “Армэлектрозавод” и “Ереванский ЭТЗ” (Армения), “Азерэлектро-маш” (Азербайджан). В целом порядка 80% мощностей производства электродвигателей единых серий 4АМ и АИР располагались уже за пределами нашей страны.

С учетом сложившейся ситуации, специалистами ОАО “НИПТИЭМ”, ведущего российского института, работающего в области электромашиностроения, была разработана новая общепромышленная серия АД-5А на высоты оси вращения от 71 до 355 мм (этот ряд объединял четырнадцать габаритов).

В основу разработки были положены идеи повышения КПД и ресурса, снижения уровней шума и рабочей температуры, улучшения пусковых и массогабаритных характеристик электродвигателей. По техническому заданию ФГУП “ЦНИИ СЭТ” на базе этой серии был разработан рабочий проект АД, отвечающий требованиям Российского Морского Регистра Судоходства (PC), на высоты оси вращения от 63 до 250 мм с числом пар полюсов 2p = 2, 4, 6. Два габарита из этой серии (5А80 и 5А100) прошли испытания (МВИ) и поставляются теперь Владимирским электромашиностроительным заводом (ВЭМЗ). Их предназначение - комплектование приводов; их можно эксплуатировать на судах и в рыбоцехах.

Одной из задач ближайшей перспективы является изготовление опытных образцов оставшихся габаритов серии, проведение МВИ и выпуск технических условий (ТУ) на судовые электродвигатели, отвечающие требованиям PC Параллельно с разработкой серии 5А специалисты НИПТИЭМ занимались совершенствованием встроенной температурной защиты двигателей. Были разработаны устройства встроенной тепловой

защиты, исполнительный блок которой размещается непосредственно на корпусе АД. Был разработан вариант с дистанционным управлением.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

7

1205.202058.000ПЗ

1 Исходные данные для проектирования

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

10

1205.202058.000ПЗ

|  |  |
| --- | --- |
| Номинальный режим работы | Продолжительный (S1) |
| Исполнение ротора | Короткозамкнутый |
| Ном. отдаваемая мощность P2 , кВт | 110 |
| Ном. Напряжение U, В | 220 |
| Ном. Частота вращения n, об/мин | 1000 |
| Частота питающей сети, Гц | 50 |
| Коэффициент мощности cosφ | 0,9 |
| Количество фаз статора m1 | 3 |
| Способ соединения фаз статора | Звезда |
| Способ возбуждения | От специальной обмотки, вложенной в паз статора |
| Способ защиты от внешних воздействий | IP23 |
| Способ охлаждения | IC01 |
| Исполнение по способу монтажа | IM1001 |
| Климатические условия и категория размещения | У3 |
| Форма выступающего конца вала | Цилиндрическая |
| Способ соединения с приводным механизмом или приводным двигателем | Упругая муфта |

2 Магнитная цепь двигателя. Размеры, конфигурация, материал

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

11

1205.202058.000ПЗ

2.1 Главные размеры

Принимаем высоту оси вращения двигателя h=280 мм ([1], таблица 9-1).

Принимаем наружный диаметр сердечника статора DН1=520 мм ([1], таблица 9-2).

Внутренний диаметр сердечника статора ([1], таблица 9-3):

 (2.1)

Принимаем коэффициент  ([1], рисунок 9-1).

Принимаем предварительное значение КПД  ([1], рисунок 9-2)

Расчетная мощность

 (2.2)

Принимаем предварительную линейную нагрузку  ([1], рисунок 9-4, таблица 9-5).

Принимаем предварительную индукцию в зазоре  ([1], рисунок 9-4, таблица 9-5).

Принимаем предварительное значение обмоточного коэффициента  ([1], страница 119).

Расчетная длина сердечника статора

 (2.3)

Принимаем конструктивную длину сердечника статора .

Отношение длины сердечника к его диаметру

 (2.4)

Максимальное значение отношения длины сердечника к его диаметру ([1], таблица 9-6)

 (2.5)

2.2 Сердечник статора

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

12

1205.202058.000ПЗ

Принимаем марку стали – 2312. Принимаем толщину листа 0,5 мм. Принимаем вид изолирования листов – лакировка.

Принимаем коэффициент заполнения стали kC=0,95.

Принимаем количество пазов на полюс и фазу  ([1], таблица 9-8).

Количество пазов сердечника статора

 (2.6)

2.3 Сердечник ротора

Принимаем марку стали – 2312. Принимаем толщину листа 0,5 мм. Принимаем вид изолирования листов –лакировка.

Принимаем коэффициент заполнения стали kC=0,95.

Принимаем сердечник ротора без скоса пазов.

Принимаем воздушный зазор между статором и ротором  ([1], таблица 9-9).

Наружный диаметр сердечника ротора

 (2.7)

Внутренний диаметр листов ротора

 (2.8)

Круглые аксиальные вентиляционные каналы, 

Принимаем длину сердечника ротора  равную длине сердечника статора, .

Принимаем количество пазов сердечника ротора  ([1], таблица 9-12).

3 Обмотка статора

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

13

1205.202058.000ПЗ

Принимаем двухслойную обмотку из жестких катушек, выполняемую проводом ПЭТП-155 (класс нагревостойкости F), укладываемую в прямоугольные полуоткрытые пазы ([1], таблица 9-4).

Коэффициент распределения

 (3.1)

где  =15

Принимаем относительный шаг обмотки .

Шаг полученной обмотки

 (3.2)

Коэффициент укорочения

 (3.3)

Обмоточный коэффициент

 (3.4)

Предварительное значение магнитного потока

 (3.5)

Предварительное количество витков в обмотке фазы

 (3.6)

Предварительное количество эффективных проводников в пазу

 (3.7)

где - число параллельных ветвей обмотки статора.

Принимаем 

Уточненное количество витков в обмотке фазы

 (3.8)

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

14

1205.202058.000ПЗ

Уточненное значение магнитного потока

 (3.9)

Уточненное значение индукции в воздушном зазоре

 (3.10)

Предварительное значение номинального фазного тока

 (3.11)

Уточненная линейная нагрузка статора

 (3.12)

Отклонение полученной линейной нагрузки от предварительно принятой

 (3.13)

Отклонение не превышает допустимое значение, равное 10%.

Принимаем среднее значение магнитной индукции в спинке статора ([1], таблица 9-13).

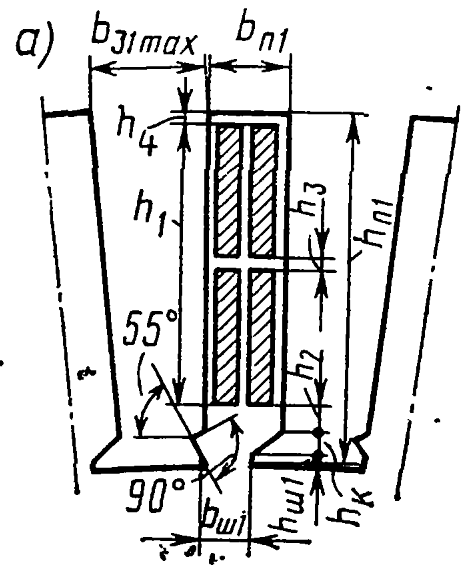
Зубцовое деление по внутреннему диаметру статора

 (3.14)

3.1 Обмотка статора с прямоугольными полуоткрытыми пазами.

Принимаем среднее значение магнитной индукции в зубцах статора  ([1], таблица 9-14).

Обмотка статора и паз изображены на рисунке 1.



Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

15

1205.202058.000ПЗ

Рисунок 1 –Прямоугольный полуоткрытый паз статора

Зубцовое деление статора в наиболее узком месте:

 (3.15)

Тогда предварительная ширина зубца*:*



Предварительная ширина полуоткрытого паза в штампе:



Ширина шлица полуоткрытого паза:

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

16

1205.202058.000ПЗ



Количество эффективных проводников по ширине паза:



Допустимая ширина эффективного проводника с витковой изоляцией:

,

где  ,.

Количество эффективных проводников по высоте паза:



Предварительная высота спинки статора*:*



Предварительная высота паза*:*



Допустимая высота эффективного проводника с витковой изоляцией:



Площадь эффективного проводника:



Количество элементарных проводников в одном эффективном:

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

17

1205.202058.000ПЗ



Меньшийи больший размеры неизолированного элементарного провода:



 ,

где .

Из приложения 2 принимаем:



Размер по высоте паза в штампе:



Размер по ширине паза в штампе:



Высота спинки статора:



Уточненная ширина зубца в наиболее узкой части:



Уточненная магнитная индукция в наиболее узкой части зубца статора:

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

18

1205.202058.000ПЗ



Плотность тока в обмотке статора:



Удельная тепловая нагрузка от потерь в обмотке:



Среднее зубцовое деление статора:



Средняя ширина катушки обмотки статора:



Средняя длина одной лобовой части катушки:



Средняя длина витка обмотки:



Длина вылета лобовой части обмотки:



4 Обмотка короткозамкнутого ротора

Принимаем пазы ротора бутылочной формы.

4.1 Размеры пазов бутылочной формы.

Пазы ротора изображены на рисунке 2.

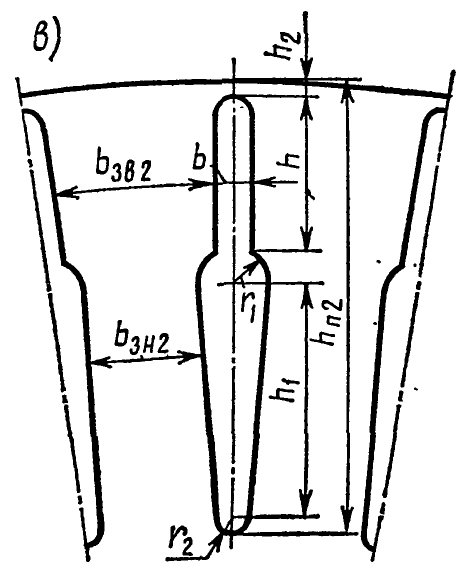


Рисунок 2 – Овальные закрытые пазы ротора

Принимаем высоту паза . ([1], рисунок 9-12).

Расчетная высота спинки ротора

 (4.1)

где - диаметр круглых аксиальных вентиляционных каналов в сердечнике ротора.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

19

1205.202058.000ПЗ

Магнитная индукция в спинке ротора

 (4.2)

Зубцовое деление по наружному диаметру ротора

 (4.3)

Принимаем магнитную индукцию в зубцах ротора  ([1], таблица 9-18).

Ширина зубца

 (4.4)

Меньший радиус паза

 (4.5)

Больший радиус паза

 (4.6)

где  ([1], страница 143);

 ([1], страница 143);

Расстояние между центрами радиусов

 (4.7)

Проверка правильности определения  и  исходя из условия

 (4.8)

Площадь поперечного сечения стержня, равная площади поперечного сечения паза в штампе

 (4.9)

4.2 Размеры короткозамыкающего кольца

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

20

1205.202058.000ПЗ

Принимаем литую клетку.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

21

1205.202058.000ПЗ

Короткозамыкающие кольца ротора изображены на рисунке 3.

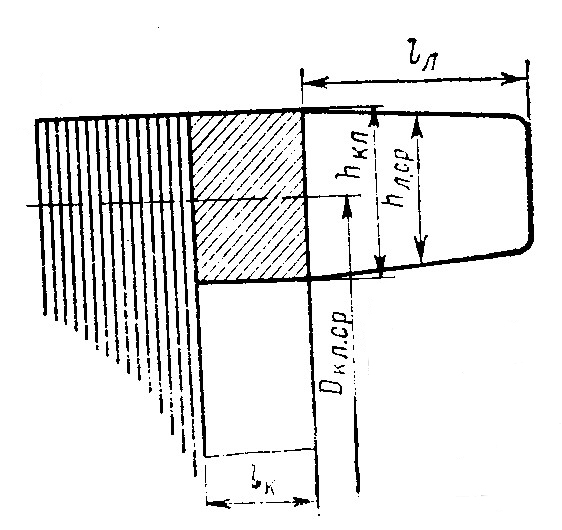


Рисунок 3 – Короткозамыкающие кольца ротора

Поперечное сечение кольца

 (4.10)

Высота кольца

 (4.11)

Длина кольца

 (4.12)

Средний диаметр кольца

 (4.13)

Вылет лобовой части обмотки

lв2= kлlл2+ lкл=0,950+18,35=63,35 мм (4.14)

5 Расчет магнитной цепи

5.1 МДС для воздушного зазора

Коэффициент, учитывающий увеличение магнитного сопротивления воздушного зазора вследствие зубчатого строения статора

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

22

1205.202058.000ПЗ

 (5.1)

Коэффициент, учитывающий увеличение магнитного сопротивления воздушного зазора вследствие зубчатости строения ротора

 (5.2)

Принимаем коэффициент, учитывающий уменьшение магнитного сопротивления воздушного зазора при наличии радиальных каналов на статоре или роторе .

Общий коэффициент воздушного зазора

 (5.3)

МДС для воздушного зазора

 (5.4)

5.2 МДС для зубцов при прямоугольных полуоткрытых пазах статора

Так как , принимаем напряженность магнитного поля ([1], приложение 8)

Принимаем среднюю длину пути магнитного потока 

МДС для зубцов

 (5.5)

5.3 МДС для зубцов ротора при бутылочных пазах ротора

Так как , принимаем напряженность магнитного поля ([1], приложение 8).

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

23

1205.202058.000ПЗ

Средняя длина пути магнитного потока

 (5.6)

МДС для зубцов

 (5.7)

5.4 МДС для спинки статора

Принимаем напряженность магнитного поля  ([1], приложение 5).

Средняя длина пути магнитного потока

 (5.8)

МДС для спинки статора

 (5.9)

5.5 МДС для спинки ротора

Принимаем напряженность магнитного поля  ([1], приложение 11)

Средняя длина пути магнитного потока

 (5.10)

МДС для спинки ротора

 (5.11)

5.6 Параметры магнитной цепи

Суммарная МДС магнитной цепи на один полюс

 (5.12)

Коэффициент насыщения магнитной цепи

 (5.13)

Намагничивающий ток

 (5.14)

Намагничивающий ток в относительных единицах

о.е. (5.15)

ЭДС холостого хода

 (5.16)

Главное индуктивное сопротивление

 (5.17)

Главное индуктивное сопротивление в относительных единицах

 о. е. (5.18)

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

24

1205.202058.000ПЗ

6 Активное и индуктивное сопротивления обмоток

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

25

1205.202058.000ПЗ

6.1 Сопротивление обмотки статора

Активное сопротивление обмотки фазы при 20 0С

 (6.1)

где -удельная электрическая проводимость меди при 200С ([1], страница 158).

Активное сопротивление обмотки фазы при 20 0С в относительных единицах

о. е. (6.2)

Проверка правильности определения 

 о.е. (6.3)

Принимаем размеры паза статора ([1], таблица 9-21)



Высота

 (6.4)

Коэффициенты, учитывающие укорочение шага

 (6.5)

 (6.6)

Коэффициент проводимости рассеяния

 (6.7)

Принимаем коэффициент дифференциального рассеяния статора ([1], таблица 9-23).

Коэффициент, учитывающий влияние открытия пазов статора на проводимость дифференциального рассеяния

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

26

1205.202058.000ПЗ

 (6.8)

Принимаем коэффициент, учитывающий демпфирующую реакцию токов, наведенных в обмотке короткозамкнутого ротора высшими гармониками поля статора ([1], таблица 9-22).

Коэффициент проводимости дифференциального рассеяния

 (6.9)

Полюсное деление

 (6.10)

Коэффициент проводимости рассеяния лобовых частей обмотки

 (6.11)

Коэффициент проводимости рассеяния обмотки статора

 (6.12)

Индуктивное сопротивление обмотки фазы статора

 (6.13)

Индуктивное сопротивление обмотки фазы статора в относительных единицах

о.е. (6.14)

Проверка правильности определения 

о.е. (6.15)

6.2 Сопротивление обмотки короткозамкнутого ротора с бутылочными закрытыми пазами

Активное сопротивление стержня клетки при 20 0С

 (6.16)

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

27

1205.202058.000ПЗ

где - удельная электрическая проводимость алюминия при 20 °C ([1], страница 161).

Коэффициент приведения тока кольца к току стержня

 (6.17)

Сопротивление короткозамыкающих колец, приведенное к току стержня при 20 0С

 (6.18)

Центральный угол скоса пазов αск=0 т.к. скоса нет.

Коэффициент скоса пазов ротора 

Коэффициент приведения сопротивления обмотки ротора к обмотке статора

 (6.20)

Активное сопротивление обмотки ротора при 20 0C, приведенное к обмотке статора

 (6.21)

Активное сопротивление обмотки ротора при 20 0C, приведенное к обмотке статора в относительных единицах

 (6.22)

Ток стержня ротора для рабочего режима

 (6.23)

Коэффициент проводимости рассеяния для овального закрытого паза ротора

 (6.24)

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

28

1205.202058.000ПЗ

Количество пазов ротора на полюс и фазу

 (6.25)

Принимаем коэффициент дифференциального рассеяния ротора  ([1], рисунок 9-17).

Коэффициент проводимости дифференциального рассеяния

 (6.26)

Коэффициент проводимости рассеяния короткозамыкающих колец литой клетки

 (6.27)

Относительный скос пазов ротора, в долях зубцового деления ротора

 (6.28)

Коэффициент проводимости рассеяния скоса пазов

 (6.29)

Коэффициент проводимости рассеяния обмотки ротора

 (6.30)

Индуктивное сопротивление обмотки ротора

 (6.31)

Индуктивное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора

 (6.31)

Индуктивное сопротивление обмотки ротора, приведенное к обмотке статора, в относительных единицах

 (6.32)

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

29

1205.202058.000ПЗ

Проверка правильности определения 

 (6.33)

Должно выполняться условие: . Данное условие выполняется.

6.3 Сопротивление обмоток преобразованной схемы замещения двигателя

Коэффициент рассеяния статора

 (6.34)

Коэффициент сопротивления статора

 (6.35)

где -коэффициент ([1], страница 72).

Преобразованные сопротивления обмоток

 (6.35)

 (6.36)

 (6.37)

 (6.38)

Пересчет магнитной цепи не требуется, так как и .

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

30

1205.202058.000ПЗ

7 Режим холостого хода и номинальный

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

31

1205.202058.000ПЗ

7.1 Режим холостого хода

Так как , в дальнейших расчетах примем .

Реактивная составляющая тока статора при синхронном вращении

 (7.1)

Электрические потери в обмотке статора при синхронном вращении

 (7.2)

Расчетная масса стали зубцов статора при трапецеидальных пазах

 (7.3)

Магнитные потери в зубцах статора

 (7.4)

Масса стали спинки статора

 (7.5)

Магнитные потери в спинке статора

 (7.6)

Суммарные магнитные потери в сердечнике статора, включающие добавочные потери в стали

 (7.7)

Механические потери при степени защиты IP23, способе охлаждения IC01

 (7.8)

где 

Активная составляющая тока х.х.

 (7.9)

Ток холостого хода

 (7.10)

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

32

1205.202058.000ПЗ

Коэффициент мощности при х.х.

 (7.11)

7.2 Расчет параметров номинального режима работы

Активное сопротивление к.з.

 (7.12)

Индуктивное сопротивление к.з.

 (7.13)

Полное сопротивление к.з.

 (7.14)

Добавочные потери при номинальной нагрузке

 (7.15)

Механическая мощность двигателя

 (7.16)

Эквивалентное сопротивление схемы замещения

 (7.17)

Полное сопротивление схемы замещения

 (7.18)

Проверка правильности расчетов  и 

 (7.19)

Скольжение

 (7.20)

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

33

1205.202058.000ПЗ

Активная составляющая тока статора при синхронном вращении

 (7.21)

Ток ротора

 (7.22)

Активная составляющая тока статора

 (7.23)

Реактивная составляющая тока статора

 (7.24)

Фазный ток статора

 (7.25)

Коэффициент мощности

 (7.26)

Линейная нагрузка статора

 (7.27)

Плотность тока в обмотке статора

 (7.28)

Линейная нагрузка ротора

 (7.29)

где -обмоточный коэффициент для короткозамкнутого ротора ([1], страница 171).

Ток в стержне короткозамкнутого ротора

 (7.30)

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

34

1205.202058.000ПЗ

Плотность тока в стержне короткозамкнутого ротора

 (7.31)

Ток в короткозамыкающем кольце

 (7.32)

Электрические потери в обмотке статора

 (7.33)

Электрические потери в обмотке ротора

 (7.34)

Суммарные потери в электродвигателе

 (7.35)

Подводимая мощность

 (7.36)

Коэффициент полезного действия

 (7.37)

Подводимая мощность

 (7.38)

Подводимые мощности, рассчитанные по формулам (7.36) и (7.38) должны быть равны друг другу. Данное условие выполняется.

Отдаваемая мощность

 (7.39)

Отдаваемая мощность должны соответствовать отдаваемой мощности, указанной в техническом задании. Данное условие выполняется.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

35

1205.202058.000ПЗ

8 Рабочие характеристики

Расчет рабочих характеристик ведем в форме таблицы 2.

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

36

1205.202058.000ПЗ

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Обозначение | Отдаваемая мощность в долях от номинальной P2 | | | | |
| 0,25Р2 | 0,5Р2 | 0,75Р2 | Р2 | 1,25Р2 |
| Р2, кВт | 27,5 | 55 | 82,5 | 110 | 137,5 |
| Рд, Вт | 75,13661 | 150,2732 | 225,4098 | 300,5464481 | 375,6831 |
| Р'2, Вт | 14027,34 | 27852,47 | 41677,61 | 55502,74645 | 69327,88 |
| Rн, Ом | 30,07956 | 14,66313 | 9,408742 | 6,713152132 | 5,032514 |
| zн, Ом | 30,47849 | 15,10185 | 9,889385 | 7,2388591 | 5,608102 |
| s, о.е. | 0,004303 | 0,008788 | 0,013629 | 0,018997093 | 0,025182 |
| I''2, А | 12,46781 | 25,16248 | 38,42504 | 52,49446007 | 67,75911 |
| Ia1, А | 13,29371 | 25,90333 | 38,88163 | 52,29900936 | 66,27657 |
| Ip1, А | 13,26572 | 15,00544 | 18,22153 | 23,19754096 | 30,42043 |
| I1, А | 18,78036 | 29,9357 | 42,93955 | 57,21286819 | 72,92452 |
| cosϕ | 0,707852 | 0,865299 | 0,905497 | 0,914112699 | 0,908838 |
| Pм1, Вт | 243,3644 | 618,3407 | 1272,226 | 2258,585477 | 3669,41 |
| Рм2, Вт | 60,62403 | 246,9286 | 575,8286 | 1074,710652 | 1790,606 |
| РΣ, Вт | 1416,225 | 2052,642 | 3110,564 | 4670,942577 | 6872,799 |
| Р1, Вт | 15166,23 | 29552,64 | 44360,56 | 59670,94258 | 75622,8 |
| η, % | 0,90662 | 0,930543 | 0,92988 | 0,921721656 | 0,909117 |

Таблица 1 – Расчет рабочих характеристикик двигателя

Рабочие характеристики приведены на рисунке 5.

cosϕ

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

37

1205.202058.000ПЗ

цццццй

Рисунок 5 – Рабочие характеристики двигателя

9 Максимальный момент

Переменная часть коэффициента статора при прямоугольном полоткрытом пазе

 (9.1)

Составляющая коэффициента проводимости рассеяния статора, зависящая от насыщения

 (9.2)

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

39

1205.202058.000ПЗ

Переменная часть коэффициента ротора при пазах бутылочной формы

 (9.3)

Составляющая коэффициента проводимости рассеяния ротора зависящая от насыщения

 (9.4)

Индуктивное сопротивление рассеяния двигателя, зависящее от насыщения

 (9.5)

Индуктивное сопротивление рассеяния двигателя, не зависящее от насыщения

 (9.6)

Ток ротора, соответствующий максимальному моменту (9-322)

 (9.7)

Полное сопротивление схемы замещения при максимальном моменте

 (9.8)

Полное сопротивление схемы замещения при бесконечно большом скольжении

 (9.9)

Эквивалентное сопротивление схемы замещения при максимальном моменте

 (9.10)

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

40

1205.202058.000ПЗ

Кратность максимального момента

 (9.11)

Скольжение при максимальном моменте

 (9.12)

10 Начальный пусковой ток и начальный пусковой момент

10.1 Активные и индуктивные сопротивления, соответствующие пусковому режиму

Высота стержня клетки ротора

 (10.1)

Приведенная высота стержня ротора

 (10.2)

Принимаем коэффициент  ([1], рисунок 9-23).

Расчетная глубина проникновения тока в стержень

 (10.3)

Ширина стержня на расчетной глубине проникновения тока в стержень

 (10.4)

Площадь поперечного сечения стержня при расчетной глубине проникновения тока

 (10.5)

Коэффициент вытеснения тока

 (10.6)

Активное сопротивление стержня клетки при 20 0С для пускового режима

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

41

1205.202058.000ПЗ

 (10.7)

Активное сопротивление обмотки ротора при 20 0С, приведенное к обмотке статора, для пускового режима

 (10.8)

Принимаем коэффициент  ([1], рисунок 9-23).

Коэффициент проводимости рассеяния паза ротора при пуске для паза бутылочной формы



Коэффициент проводимости рассеяния обмотки ротора при пуске

 (10.10)

Индуктивное сопротивление рассеяния двигателя, зависящее от насыщения

 (10.11)

Индуктивное сопротивление рассеяния двигателя, не зависящее от насыщения

 (10.12)

Активное сопротивление к.з. при пуске

 (10.13)

10.2 Начальные пусковые ток и момент

Ток ротора при пуске двигателя



Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

42

1205.202058.000ПЗ

Полное сопротивление схемы замещения при пуске (с учетом явлений вытеснения тока и насыщения путей потоков рассеяния)

 (10.15)

Индуктивное сопротивление схемы замещения при пуске

 (10.16)

Активная составляющая тока статора при пуске

 (10.17)

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

43

1205.202058.000ПЗ

Реактивная составляющая тока статора при пуске

 (10.18)

Фазный ток статора при пуске

 (10.19)

Кратность начального пускового тока

 (10.20)

Активное сопротивление ротора при пуске, приведенное к статору, при расчетной рабочей температуре и Г-образной схеме замещения

 (10.21)

Кратность начального пускового момента



11 Тепловой и вентиляционный расчеты

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

44

1205.202058.000ПЗ

11.1 Тепловой расчет

11.1.1 Обмотка статора

Потери в обмотке статора при максимально допускаемой температуре

 (11.1)

где - коэффициент ([1], страница 76).

Условная внутренняя поверхность охлаждения активной части статора

 (11.2)

Условный периметр поперечного сечения прямоугольного полуоткрытого паза

 (11.3)

Условная поверхность охлаждения пазов

 (11.4)

Условная поверхность охлаждения лобовых частей обмотки

 (11.5)

Условная поверхность охлаждения двигателя с охлаждающими ребрами на станине

 (11.6)

Удельный тепловой поток от потерь в активной части обмотки и от потерь в стали, отнесенных к внутренней поверхности охлаждения активной части статора

 (11.7)

где - коэффициент ([1], таблица 9-25).

Удельный тепловой поток от потерь в активной части обмотки, отнесенных к поверхности охлаждения пазов

 (11.8)

Удельный тепловой поток от потерь в лобовых частях обмотки, отнесенных к поверхности охлаждения лобовых частей обмотки

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

45

1205.202058.000ПЗ

(11.9)

Окружная скорость ротора

 (11.10)

Превышение температуры внутренней поверхности активной части статора над температурой воздуха внутри машины

 (11.11)

где - коэффициент теплоотдачи поверхности статора ([1], рисунок 9-24).

Перепад температуры в изоляции паза и жестких катушек

 (11.12)

где - эквивалентный коэффициент теплопроводности изоляции в пазу ([1], страница 191);

- эквивалентный коэффициент теплопроводности внутренней изоляции катушки ([1], рисунок 9-26).

Превышение температуры наружной поверхности лобовых частей обмотки над температурой воздуха внутри двигателя

 (11.13)

Перепад температуры в изоляции лобовых частей жестких катушек

 (11.14)

где - односторонняя толщина изоляции катушек в лобовой части ([1], приложение 27).

Среднее превышение температуры обмотки над температурой внутри двигателя

 (11.15)

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

46

1205.202058.000ПЗ

Потери в обмотке ротора при максимальной температуре

 (11.16)

Потери в двигателе со степенью защиты IP23, передаваемые воздуху внутри двигателя

 (11.17)

Среднее превышение температуры воздуха внутри двигателя над температурой наружного воздуха

 (11.18)

где  - коэффициент подогрева воздуха ([1], рисунок 9.25).

Среднее превышение температуры обмотки над температурой наружного воздуха

 (11.19)

11.2 Вентиляционный расчет двигателя со степенью защиты IP23 и способом охлаждения IC01

Коэффициент, учитывающий изменение теплоотдачи по длине корпуса двигателя

 (11.21)

Необходимый расход воздуха

 (11.22)

где – теплоемкость воздуха ([1], страница 88).

Расход воздуха, который может быть обеспечен наружным вентилятором

 (11.23)

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

47

1205.202058.000ПЗ

Расход воздуха, который может быть обеспечен наружным вентилятором, должен превышать необходимый расход воздуха. Данное условие выполняется.

Напор воздуха, развиваемый наружным вентилятором

(11.24)

12 Масса двигателя и динамический момент инерции

Масса изолированных проводов обмотки статора

 (12.1)

Масса алюминия короткозамкнутого ротора

 (12.2)

Масса стали сердечников статора и ротора

 (12.3)

Масса изоляции статора при прямоугольных полуоткрытых пазах

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

48

1205.202058.000ПЗ

 (12.4)

Масса конструкционных материалов двигателя со степенью защиты IP23, станина и щиты чугунные, ротор короткозамкнутый

 (12.5)

Масса двигателя

(12.6)

Динамический момент инерции ротора

 (12.7)

Список литературы

Изм.

Лист

№ докум.

Подпись

Дата

Лист

49

1205.202058.000ПЗ

1. Гольдберг О.Д., Свириденко И.С. Проектирование электрических машин: Учебник. / Под ред. О.Д. Гольдберга. 3-е изд., перераб. – М.:Высш.шк., 2006, - 430с.: ил.
2. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. Т. 1 – 8-е изд., перераб. и доп. Под ред. И.Н. Жестковой. – М.: «Машиностроение», 2001. – 920с.
3. Антонов М.В. Технология производства электрических машин: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 592с.: ил.
4. Орлов П.И. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. В 2-х кн. /Под ред. П.Н. Учаева – 3-е изд., испр. – М.: «Машиностроение», 1988. – 560с.: ил.