Федеральное агентство железнодорожного транспорта

Государственное образовательное учреждение

высшего образования

Омский государственный университет путей сообщения

ОмГУПС (ОмИИТ)

# Кафедра «Электрические машины и общая электротехника»

## расчет Асинхронного двигателя

**с короткозамкнутым ротором**

Пояснительная записка к курсовой работе

по дисциплине «Электрические машины и электропривод»

ИНМВ. 40032.000 ПЗ

Студент группы 43Д

В. С. Петровнин

Руководитель –

доцент кафедры ЭМ и ОЭ

Ю. В. Москалев

Омск 2016

Задание

студенту группы 43Д Петровнину В. С.

на курсовую работу по теме:

«Расчет асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором»

Рассчитать и сконструировать асинхронный двигатель по следующим параметрам:

1. Номинальная (механическая) мощность на валу двигателя: Р2 = 37 кВт.
2. Частота вращения магнитного поля: n1 = 1500 об/мин.
3. Степень защиты двигателя: IP44.
4. Соединение обмотки статора: Y/Δ.
5. Частота питающей сети: 50 Гц.
6. Число фаз: 3.
7. Номинальное фазное напряжение сети: 220 В.
8. Форма исполнения и способ монтажа: IM1081.
9. Способ охлаждения: IС0141.

Исходные данные в курсовой работе приняты по варианту 32.

Реферат

УДК 621.313

Курсовая работа содержит 48 страниц, 10 рисунков, 2 таблицы, 3 источника.

Асинхронный двигатель, статор, зубцовая зона, короткозамкнутый ротор, частота вращения, рабочие характеристики, магнитная цепь, воздушный зазор.

Объектом исследования данной работы являются асинхронная машина с коротко-замкнутым ротором серии 4А.

Целью работы является расчет машины и использование ее при исследовании и проектировании аппаратов с применением асинхронных машин данной серии.

Методы исследования – аналитические и графические.

В курсовой работе спроектирован асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором с учетом особенностей технического задания, выбраны соответствующие провода для обмоток статора и ротора, произведен тепловой расчет и выбран класс соответствующей изоляции. По результатам расчетов построены рабочие характеристики и круговая диаграмма машины. Полученные величины показывают, что машина имеет высокий КПД и надежный запас нагревостойкости, при соблюдении всех исходных параметров будет обеспечивать надежную эксплуатацию.

Содержание

Введение……………………………………………………………………………….......5

1. Выбор главных размеров…………………………………………….………….……6

2. Расчет статора и построение трёхфазной обмотки…………………………......…..8

2.1 Расчет размеров зубцовой зоны статора………………………………………….12

2.2 Построение обмотки статора………………………..……………………………..14

2.3 Выбор воздушного зазора….………………………..……………………………..15

3. Расчет ротора………………...………………………..……………………………..17

4. Расчет магнитной цепи………………………………………………………………22

5. Параметры асинхронной машины для номинального режима…….……………..26

6. Потери и КПД асинхронного двигателя …………………………………………...32

7. Расчет рабочих характеристик………………………………...................................36

8. Тепловой и вентиляционный расчет ……………………………………………….42

Заключение ……………………………………………………………….......................47

Библиографический список ……………………………………....................................48

Введение

Электрические машины в общем объеме производства электротехнической промышленности занимают основное место, поэтому их технико-экономические показатели и эксплуатационные свойства имеют важное значение для экономики.

Проектирование электрических машин – это искусство, соединяющее знание процессов электромеханического преобразования энергии с опытом, накопленным поколениями инженеров-электромехаников, умение применять вычислительную технику и талантом инженера, создающего новую или улучшающего уже выпускаемую машину.

Важное место в семействе электрических машин занимают асинхронные двигатели, которые получили широкое распространенное благодаря простоте конструкции, надежности и долговечности. Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором отличаются повышенной надежностью. Благодаря отсутствию коллектора и контактных колец отсутствует искрение пол щетками и вероятность выхода их из строя. Так же маловероятен отказ обмотки ротора, которая представляет собой литую алюминиевую клетку.

Асинхронные двигатели являются основными преобразователями электрической энергии в механическую и составляют основу электропривода большинства механизмов. Серия 4А охватывает диапазон номинальных мощностей от 0,06 до 400 кВт и имеет 17 высот оси вращения от 50 до 355 мм.

Асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором широко используются в промышленности благодаря простоте устройства и управления, надежности в эксплуатации, наименьшим массе, габаритам и стоимости при заданной мощности. Их масса на единицу мощности в 1,5 – 2 раза ниже, чем у двигателей постоянного тока.

1 Выбор главных размеров

К главным размерам асинхронной машины (АМ) относятся: внутренний диаметр D и расчетная длина воздушного зазора *l*δ.

По заданной частоте вращения двигателя определяем число пар полюсов по формуле:

 (1.1)

где *f* – частота, Гц (*f* = 50 Гц);

n1 – частота вращения двигателя, об/мин.

В результате расчета по формуле (1.1) получаем:



По заданной мощности Р2, числу пар полюсов и исполнению двигателя определяем высоту оси вращения приближенно по [1], рисунку 9.18,а h = 195 мм. Из стандартного ряда по [1], таблице 9.8 h = 200 мм. При этом наружный диаметр по [1], таблице 9.8 Dа = 0,354 м.

Выбираем коэффициент, характеризующий отношение внутреннего и наружного диаметров сердечника статора по [1], таблице 9.9 принимаем KD= 0,65.

Внутренний диаметр статора определяем по формуле:

*D = KD Da*. (1.2)

В результате расчета по формуле (1.2) получаем:

*D =* 

Полюсное деление определяем по формуле [1], 9.3:

. (1.3)

В результате расчета по формуле (1.3) получаем:



Расчетную мощность определяем по формуле [1], 9.4:

 (1.4)

где P2 – мощность на валу двигателя, Вт;

κЕ – отношение ЭДС обмотки статора к номинальному напряжению, которое определяем по [1], рисунку 9.2, (κЕ = 0,978);

Предварительные значения КПД двигателя η и cos(ϕ) определяем из [1], рисунка 9.21,б, соответственно η = 0,9, cos ϕ = 0,89.

В результате расчета по формуле (1.4) получаем:



Предварительные значения электромагнитных нагрузок А и Вδ определяем из [1], рисунка 9.22,в, А = 36000 А/м; Вδ = 0,78 Тл.

Предварительное значение обмоточного коэффициента для двухслойной обмотки при 2р = 4 принимаем из рекомендаций κоб1= 0,92.

Синхронную угловую скорость вала двигателя **Ω,** рад/с, рассчитываем по формуле [1], 9.5:

. (1.5)

В результате расчета по формуле (1.5) получаем:



Расчетную длину магнитопровода *l*δ, м, определяем по формуле [1], 9.6:

 (1.6)

где κВ – коэффициент формы поля (κВ = 1,11).

В результате расчета по формуле (1.6) получаем:



Выполняем проверку правильности выбора главных размеров по формуле:

 (1.7)

Величина λ для двигателя с 2р = 4, h = 200 мм по [1], рисунку 9.25, а, должна находиться в пределах λ = 0,65 **–** 1,31.

В результате расчета по формуле (1.7) получаем:



Значение λ находится в указанном пределе, следовательно, делаем вывод, что, главные размеры выбраны правильно.

2 Расчёт статора и построение трехфазной обмотки

Трехфазная обмотка статора асинхронного двигателя должна быть спроектирована таким образом, чтобы при подключении ее к трехфазным напряжениям она создавала дуговое вращающееся магнитное поле с заданным числом полюсов.

Число витков фазы обмотки статора должно быть таким, чтобы линейная нагрузка двигателя и индукция в воздушном зазоре как можно более близко совпадали с их значениями, принятыми предварительно при выборе главных размеров.

Число пазов статора должно быть таким, чтобы оно обеспечивало достаточно равномерное распределение катушек обмотки.

Предельные значения зубцового деления выбираем по [1], рисунку 9.26 зона 2:

tZ1min = 0,016 м; tZ1max = 0,0125 м.

Определяем минимальное и максимальное количество пазов статора:

 . (2.1)

В результате расчетов по (2.1) получаем:

;



Окончательное число пазов определяем по стандартному ряду для двигателя серии 4А, принимаем Z1 = 48.

Число пазов на полюс и фазу (число катушек в катушечной группе) рассчитываем по формуле:

 (2.2)

где m – число фаз (m = 3).

В результате расчета по формуле (2.2) получаем:



Окончательное значение зубцового деления определяем по формуле:

. (2.3)

В результате расчета по формуле (2.3) получаем:



При определении числа эффективных проводников в пазу uп учитываем, что оно должно быть целым и четным.

Определяем предварительное число эффективных проводников в пазу статора по формуле [1], 9.17:

 (2.4)

где *I1Н* – номинальный ток обмотки статора, А:

 (2.5)

где *UН* – номинальное напряжение, В (*UН* = 220 В).

В результате расчетов по формулам (2.4), (2.5) получаем:





Принимая число параллельных ветвей в обмотке, а = 1, рассчитываем окончательное число эффективных проводников в пазу по формуле:

 (2.6)

В результате расчета по формуле (2.6) получаем:

*uп* = 1·8 = 8.

Окончательное число витков в фазе обмотки рассчитываем по формуле 9.20:

 (2.7)

В результате расчета по формуле (2.7) получаем:



Окончательное значение линейной нагрузки А, А/м рассчитываем по формуле:

 (2.8)

В результате расчета по формуле (2.8) получаем:



Рассчитаем укорочение шага:

. (2.9)

В результате расчета по формуле (2.9) получаем:

.

Коэффициент укорочения шага рассчитываем по формуле:

. (2.10)

Коэффициент укорочения показывает отношение ЭДС витка с укороченным шагом к его ЭДС при диаметральном шаге.

В результате расчета по формуле (2.10) получаем:



Коэффициент распределения показывает отношение геометрической суммы ЭДС всех катушек, входящих в катушечную группу распределенной обмотки к расчетной ЭДС.

Рассчитаем коэффициент распределения по формуле:

. (2.11)

В результате расчета по формуле (2.11) получаем:

.

Обмоточный коэффициент учитывает уменьшение ЭДС распределенной по сравнению с ЭДС обмотки с тем же числом витков, но имеющей диаметральный шаг и сосредоточенной в одной катушке на каждом полюсе.

Обмоточный коэффициент рассчитываем по формуле:

*Kоб1 = Ку·Кр .*  (2.12)

В результате расчета по формуле (2.12) получаем:

*Коб1* = 0,966·0,958 = 0,925.

Полученное значение обмоточного коэффициента находится в допустимых пределах для двухслойной обмотки.

Уточняем значение магнитного потока Ф, Вб по формуле [1], 9.22:

. (2.13)

В результате расчета по формуле (2.13) получаем:



Определяем индукцию в воздушном зазоре по формуле [1], 9.23:

 (2.14)

В результате расчета по формуле (2.14) получаем:



Определяем значение произведения линейной нагрузки на плотность тока (AJ), [1], рис.9.27:

AJ = 187⋅109 A2/м3 .

Допустимое значение плотности тока обмотки статора рассчитываем по формуле [1], 9.25:

. (2.15)

В результате расчета по формуле (2.15) получаем:

А/м2.

Сечение эффективных проводников определяем по формуле [1], 9.24:

. (2.16)

В результате расчета по формуле (2.16) получаем:



– площадь поперечного сечения неизолированного провода, мм2;

Dэл – номинальный диаметр неизолированного провода, мм;

dиз – среднее значение диаметра изолированного провода, мм.

Выбираем по справочным данным круглый обмоточный провод марки ПЭТВ.

nэл – количество элементарных проводников, на которые разделён один эффективный, принимаем nэл = 6.

Сечение элементарного проводника рассчитываем по формуле:

. (2.17)

В результате расчета по формуле (2.17) получаем:



Подбираем по [1], таблице П.3 ближайшее к расчетному значению qэл, чтобы выполнялось условие , по которому определяем остальные параметры провода:

; ; 

Уточненное значение плотности тока J рассчитываем по формуле [1], 9.27:

. (2.18)

В результате расчета по формуле (2.18) получаем:



2.1 Расчет размеров зубцовой зоны статора

Размеры пазов в электрических машинах выбираем таким образом, чтобы, во-первых, площадь поперечного сечения паза соответствовала количеству и размерам размещаемых в нем проводников обмотки с учетом всей изоляции и, во-вторых, чтобы значение индукции в зубцах и ярме статора находились в определенном пределе, зависящем от типа, мощности, исполнения машины и от марки электротехнической стали сердечника.

Выполняем трапецеидальные пазы с углом наклона граней клиновой части β=450.

Допустимые значения индукций в ярме статора и зубцах статора при постоянном сечении принимаем соответственно Ва = 1,5 Тл; BZ1 = 1,75 Тл.

Предварительное значение ширины зубца рассчитываем по формуле [1], 9.29:

, (2.19)

где КС – коэффициент заполнения сталью магнитопроводов статора и ротора (КС = 0,97).

В результате расчета по формуле (2.9) получаем:



Предварительное значение высоты ярма статора рассчитываем по формуле [1], 9.28:

. (2.20)

В результате расчета по формуле (2.20) получаем:



Размеры паза в штампе рассчитываем по формулам [1], 9.31, 9.39, 9.41:

 (2.21)

где hш – высота шлица паза, м (hш = 10-3 м);

bш – ширина шлица паза, м (bш = dиз + 2 = 1,785+2=3,785 мм).

В результате расчета по формулам (2.21) получаем:



Размеры паза с учетом припуска на сборку рассчитываем по формулам [1], 9.42:

 (2.22)

где *Δbп* – припуск по ширине паза, м (*Δbп* = );

*Δhп* – припуск по высоте паза, м (*Δhп* = ).

В результате расчета по формулам (2.22) получаем:



Площадь поперечного сечения паза в штампе, м2 рассчитываем по формуле [1], 9.48:

 (2.23)

где *Sиз* – площадь корпусной изоляции, м2;

*Sпр*= 0 – площадь прокладок в пазу, м2:

 (2.24)

где *bиз* – односторонняя толщина изоляции, м (*bиз* = 0,4 мм).

В результате расчета по формуле (2.24) получаем:



В результате расчета по формуле (2.23) получаем:



Критерием правильности размещения обмотки в пазах является значение коэффициента заполнения паза.

Коэффициент заполнения паза рассчитываем по формуле:

 (2.26)

В результате расчета по формуле (2.26) получаем:



Полученное значение коэффициента заполнения паза соответствует требуемому значению, следовательно обмотка размещена правильно.

2.2 Построение обмотки статора.

Обмотка статора состоит из 3-х изолированных друг от друга фаз. Каждая фаза состоит из 2р катушечных групп. Каждая катушечная группа состоит из q катушек. Каждая катушка состоит из up·nэл количества витков. Получается W1 витков. У проектируемого двигателя на статоре будет двухслойная петлевая обмотка. Для упрощения построения обмотки необходимо составить Алгоритм укладки.

Z1 = 48; 2p=4; m1=3; q=4.

Полюсное деление в пазах:

 (2.27)

 пазов.

Шаг обмотки:

 (2.28)

 пазов.

Угол сдвига ЭДС проводников соседних пазов по фазе:

 (2.29)

 град.

Расстояние между началом фаз:

 (2.30)

 пазов.

Таблица 1 –Алгоритм укладки обмотки

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Фаза | Слой обмотки |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1-я | верхний | 1 | 2 | 3 | 4 | 13 | 14 | 15 | 16 | 25 | 26 | 27 | 28 | 37 | 38 | 39 | 40 |
| нижний | 11 | 12 | 13 | 14 | 23 | 24 | 25 | 26 | 35 | 36 | 37 | 38 | 47 | 48 | 1 | 2 |
| 2-я | верхний | 9 | 10 | 11 | 12 | 21 | 22 | 23 | 24 | 33 | 34 | 35 | 36 | 45 | 46 | 47 | 48 |
| нижний | 19 | 20 | 21 | 22 | 31 | 32 | 33 | 34 | 43 | 44 | 45 | 46 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 3-я | верхний | 17 | 18 | 19 | 20 | 29 | 30 | 31 | 32 | 41 | 42 | 43 | 44 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| нижний | 27 | 28 | 29 | 30 | 39 | 40 | 41 | 42 | 3 | 4 | 5 | 6 | 15 | 16 | 17 | 18 |

2.3 Выбор воздушного зазора

Правильный выбор воздушного зазора во многом определяет энергетические показатели асинхронного двигателя. Чем меньше воздушный зазор, тем меньше его магнитное сопротивление и магнитное напряжение, составляющее основную часть МДС магнитной цепи всей машины. Поэтому уменьшение зазора приводит к соответственному уменьшению МДС магнитной цепи и намагничивающего тока двигателя, благодаря чему возрастает его cosφ и уменьшаются потери в меди обмотки статора. Но чрезмерное уменьшение приводит к возрастанию амплитуды пульсаций индукции в воздушном зазоре и, как следствие этого, к увеличению поверхностных и пульсационных потерь. Поэтому КПД двигателей с очень малыми зазорами не улучшаются, а часто даже становятся меньше.

Выберем воздушный зазор для двигателей средней мощности при 2р≥4 по формуле [1], 9.51:

. (2.31)

В результате расчета по формуле (2.31) получаем:

.

Принимаем по рисунку [1], 9.31: 

3 Расчет ротора

Обычно принято считать, что каждый стержень обмотки образует одну фазу короткозамкнутой обмотки. Тогда число её фаз равно числу пазов (m2 = Z2) и обмотка каждой из фаз имеет 1/2 витка, т. е. w2=1/2, так как при m2=Z2 к каждой фазе относится один стержень с двумя участками замыкающих колец, расположенных с разных торцов ротора.

По известным Z1 и 2р выбираем число пазов ротора без скоса пазов по таблице [1], 9.18, принимаем Z2 = 56.

Внешний диаметр ротора рассчитываем по формуле:

. (3.1)

В результате расчета по формуле (3.1) получаем:

D2 = 0,230 – 2∙0,7∙10-3 = 0,2287 м.

Зубцовое деление ротора определяем по формуле:

. (3.2)

В результате расчета по формуле (3.2) получаем:



Внутренний диаметр сердечника ротора при непосредственной посадке на вал равен диметру вала. Внутренний диаметр ротора рассчитываем по формуле:

, (3.3)

где *КВ* – коэффициент для расчета диметра вала. (*КВ* = 0,23)

В результате расчета по формуле (3.3) получаем:



Ток в обмотке ротора рассчитываем по формуле [1], 9.57:

, (3.4)

где *ki* – коэффициент, учитывающий влияние тока намагничивания и сопротивления обмоток, (*ki* = 0,2 + 0,8∙cosφ = 0,912);

*υi* – коэффициент приведения токов:

. (3.5)

В результате расчета по формулам (3.4), (3.5) получаем:



 А.

Площадь поперечного сечения стержня предварительно рассчитываем по формуле [1], 9,68:

. (3.6)

В результате расчета по формуле (3.6) получаем:

 м2.

Плотность тока в стержне литой клетки принимаем J2=2,5·106 А/м2.

По таблице (9.12) принимаем значение допустимой индукции в зубцах ротора *Bz2* = 1,8 Тл.

Допустимую ширину зубцов ротора определяем по допустимой индукции *Вz2*, расчет ведем по формуле [1], 9.75:

, (3.7)

где kC – коэффициент заполнения сталью. (kС = 0,97).

В результате расчета по формуле (3.7) получаем:



В двигателях с высотой оси вращения h = 160...250 мм выполняют – трапецеидальные закрытые пазы (рис. 9.40,б).

Размеры паза рассчитываем исходя из площади сечения стержня и из условия постоянства ширины зубцов ротора, расчет производим по формулам [1], 9.74, 9.75, 9.76:

 (3.8)

 (3.9)

. (3.10)

В результате расчета по формулам (3.8)–(3.10) получаем:







Уточняем значение площади сечения стержня по формуле [1], 9.78:

 (3.11)

В результате расчета по формуле (3.11) получаем:



Значение полной высоты паза ротора находим по формуле:

. (3.12)

В результате расчета по формуле (3.12) получаем:



Уточненное значение плотности тока в стержне рассчитываем по формуле:

. (3.13)

В результате расчета по формуле (3.13) получаем:



, (3.14)

где Δ – рассчитываем по формуле [1], 9.72:

. (3.15)

В результате расчетов по формулам (3.14) и (3.15) получаем:

;



Плотность тока в замыкающих кольцах выбираем на 15% меньше, чем в стержнях, так как замыкающие кольца, имея лучшие условия охлаждения по сравнению со стержнями, являются своего рода радиаторами, которые отводят тепло стержней, усиливая их охлаждение. Плотность тока в замыкающих кольцах рассчитываем по формуле:

. (3.16)

В результате расчета по формуле (3.16) получаем:



Площадь поперечного сечения замыкающих колец рассчитываем по формуле [1], 9.73:

. (3.17)

В результате расчета по формуле (3.17) получаем:



Размеры замыкающих колец рассчитываем по формулам:

 (3.18)

 (3.19)

В результате расчета по формулам (3.18)-(3.19) получаем:



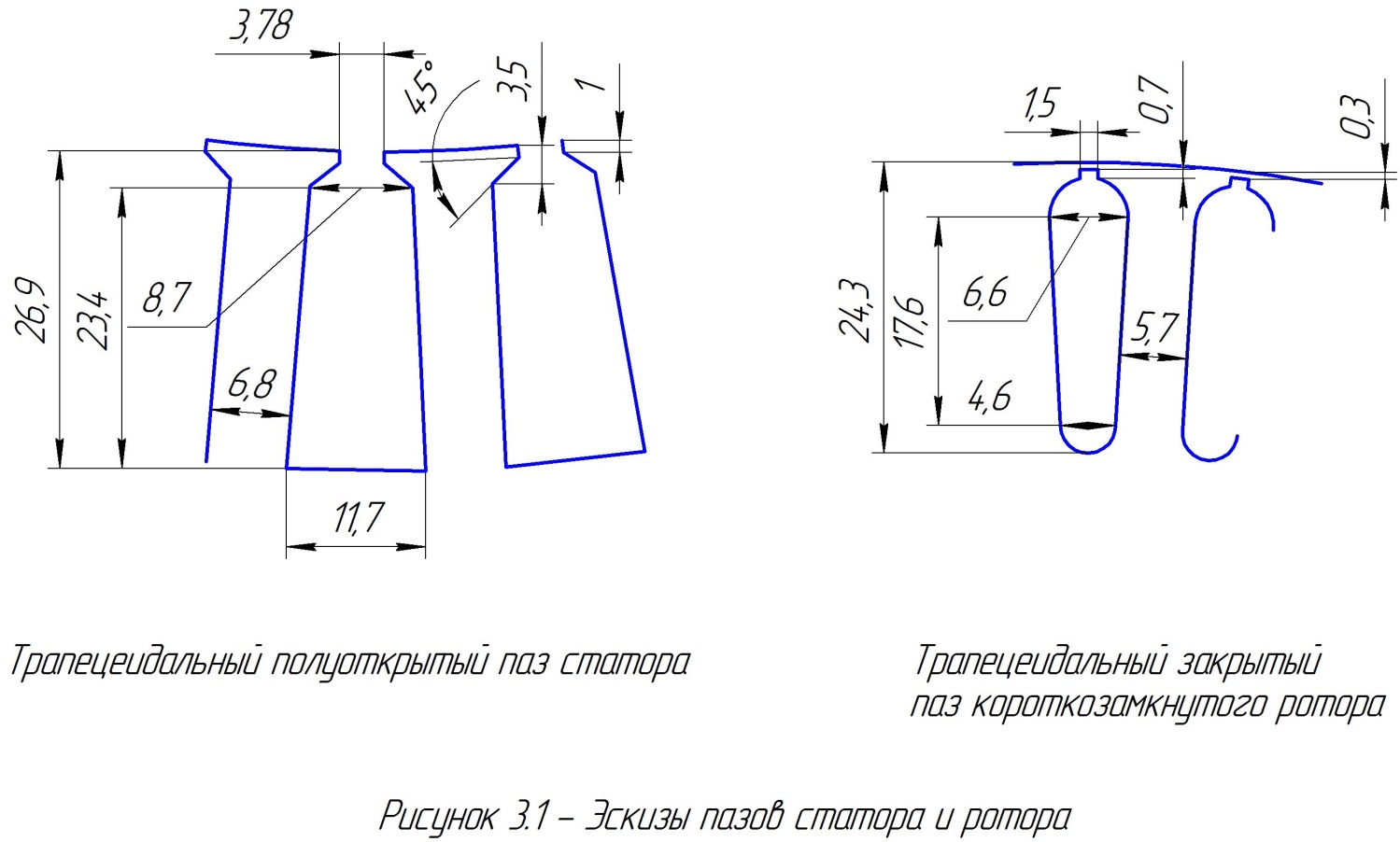


Средний диаметр замыкающих колец рассчитываем по формуле:

. (3.20)



Паз статора и ротора изображены на рисунке 3.1.



4 Расчет магнитной цепи

Расчет магнитной цепи проводят для режима холостого хода двигателя, при котором для асинхронных машин характерно относительно сильное насыщение стали зубцов статора и ротора.

Марку электротехнической стали выбираем из рекомендуемого ряда в зависимости от высоты оси вращения проектируемого асинхронного двигателя, таким образом выбираем сталь 2212.

Индукцию в зубцах ротора и статора определяем по формулам [1], 9.105 и 9.109:

; (4.1)

. (4.2)

В результате расчета по формулам (4.1), (4.2) получаем:





Индукцию в ярме ротора и статора определяем по формулам [1], 9.117, 9.122:

; (4.3)

. (4.4)

где *h`j* – расчетная высота ярма ротора, м по формуле [1], 9.126:

 (4.5)

mк2 = 0;

*h`а* – расчетная высота ярма статора, м по формуле [1], 9.120:

. (4.6)

В результате расчета по формулам (4.3), (4.4), (4.5), (4.6) получаем:









Магнитное напряжение воздушного зазора определяем по формуле [1], 9.103:

, (4.7)

где *k*δ – коэффициент воздушного зазора, определяемый по формуле [1], 4.16:

, (4.8)

где *γ* – коэффициент рассчитываемый по формуле [1], 4.17:

, (4.9)

В результате расчета по формулам (4.7) – (4.9) получаем:







Магнитное напряжение зубцовой зоны статора определяем по формуле [1], 9.105 a:

, (4.10)

где *HZ1* – напряженность поля в зубцах статора, А/м (НZ1 = 2220 A/м);

hZ1 – расчетная высота зубца статора, мм (hZ1 = hп = 26,9 мм).

В результате расчета по формуле (4.10) получаем:



Магнитное напряжение зубцовой зоны ротора определяем по формуле [1], 9,108:

, (4.11)

где *HZ2* – напряженность поля в зубцах ротора, А/м (НZ2 = 2700 А/м);

hZ2 – расчетная высота зубца ротора, мм (hZ2 = 23,827 мм).

В результате расчета по формуле (4.11) получаем:



Коэффициент насыщения зубцовой зоны рассчитываем по формуле [1], 9,115:

. (4.12)

В результате расчета по формуле (4.11) получаем:



Полученное значение *kz* позволяет сделать вывод о том, что размерные соотношения и обмоточные данные выбраны правильно.

Магнитные напряжения ярма статора и ротора рассчитываем по формулам [1], 9.116, 9.121:

*Fa=La·Ha*; (4.13)

*Fj=Lj·Hj*, (4.14)

где *Ha* – напряженность поля при индукции *Ва* по кривой намагничивания для ярма принятой марки стали, А/м (Ha = 521 А/м);

*Hj* – напряженность поля при индукции *Вj* по кривой намагничивания ярма для принятой стали, А/м (*Hj* = 201 А/м);

*La* – длина средней магнитной линии ярма статора, м, определяемая по формуле [1], 9.119:

; (4.15)

*Lj* – длина средней линии потока в ярме ротора, м, определяемая по формуле [1], 9.127:

, (4.16)

где *hj* – высота спинки ротора, м, определяемая по формуле [1], 9.126:

. (4.17)

В результате расчета по формулам (4.13)-(4.17) получаем:











Магнитное напряжение на пару полюсов определяем по формуле [1], 9.128:

. (4.18)

В результате расчета по формуле (4.18) получаем:



Коэффициент насыщения магнитной цепи определяем по формуле:

. (4.19)

В результате расчета по формуле (4.19) получаем:



Намагничивающий ток рассчитываем по формуле [1], 9.130:

. (4.20)

В результате расчета по формуле (4.20) получаем:



Выражаем значение намагничивающего тока в долях номинального тока. Относительное значение тока служит определенным критерием правильности произведенного выбора и расчета размеров.

Относительное значение намагничивающего тока рассчитываем по формуле [1], 9.131:

. (4.21)

В результате расчета по формуле (4.21) получаем:





5 Параметры асинхронной машины для номинального режима

Параметрами асинхронной машины называют активные и индуктивные сопротивления обмоток статора r1, x1, ротора r2, x2 или приведенные к числу витков обмотки статора сопротивления ротора r´2 и x´2, сопротивление взаимной индуктивности r12 (или rμ), введением которого учитывают влияние потерь в стали статора на характеристики двигателя.

Для нахождения сопротивления фазы обмотки определяем геометрические характеристики катушек.

Принимаем длину пазовой части равной конструктивной длине сердечника машины:

.

Длину и вылет лобовых частей катушек рассчитываем по формулам [1], 9.136 и 9.137:

; (5.1)

, (5.2)

где по [1], таблице 9.23:

*kл* – коэффициент длины лобовой части катушки (*kл* = 1,55);

*kвыл* – коэффициент вылета лобовых частей обмотки (*kвыл* = 0,5);

*В* – длина вылета прямолинейной части катушек из паза от торца сердечника до начала отгиба лобовой части, м (В = 0,01);

*Bкт* – средняя ширина катушки, м, по [1], 9.138:

. (5.3)

В результате расчета по формулам (5.1) – (5.3) получаем:







Среднюю длину витка определяем по формуле [1], 9.135:

. (5.4)

В результате расчета по формуле (6.4) получаем:



Общую длину проводников фазы обмотки определяем по формуле [1], 9.134:

. (5.5)

В результате расчета по формуле (5.5) получаем:



Активное сопротивление фазы обмотки статора определяем по формуле:

, (5.6)

где *ρ115* – удельное сопротивление материала обмотки при расчетной температуре, Ом∙м .

В результате расчета по формуле (5.6) получаем:



Относительное значение активного сопротивления фазы обмотки статора рассчитываем по формуле:

. (5.7)

В результате расчета по формуле (5.7) получаем:



Активное сопротивление фазы короткозамкнутого ротора рассчитываем по формуле [1], 9,168:

, (5.8)

где Δ – вычислено по формуле (3.15);

*rс* – сопротивление стержня, Ом по [1], 9.169:

; (5.9)

*rкл* – сопротивление участка замыкающего кольца, заключенного между двумя соседними стержнями, Ом по [1], 9.170:

, (5.10)

где *ρc* – удельное сопротивление материала стержня, ;

*kr* – коэффициент увеличения активного сопротивления стержня от действия эффекта вытеснения тока (*kr* = 1);

*ρкл* – удельное сопротивление материала замыкающих колец, Ом∙м .

В результате расчета по формулам (5.8) – (5.10) получаем:







Приводим значение активного сопротивления фазы короткозамкнутого ротора к числу витков первичной обмотки по формуле [1], 9.173:

. (5.11)

В результате расчета по формуле (5.11) получаем:



Относительное значение приведенного к числу витков активного сопротивления фазы короткозамкнутого ротора определяем по формуле:

. (5.12)

В результате расчета по формуле (5.12) получаем:



Относительные значения сопротивлений обмотки статора и приведенного сопротивления обмотки ротора близки друг к другу и обычно составляют несколько сотых долей: 

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора АМ с короткозамкнутым ротором рассчитываем по формуле [1], 9.174:

, (5.13)

где *λП1* – коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния из [1], таблица 9.26, е:

, (5.14)

где *h2* = *hпк–2·bиз=*23,239–2·0,4=22,44 мм;

*hк* = 0,5(*b1 –bш)=*0,5(8,7–3,785)=2,46 мм;

*b1 =* 8,7 мм;

*h1* = 0 (проводники закреплены пазовой крышкой);

*k`β* – коэффициент, при обмотке с укорочением 2/3 ≤ β ≤ 1 (2/3 ≤ 0,833 ≤ 1) по [1], 9.156:

 (5.15)

*kβ* – коэффициент, значение которого зависит от шага обмотки по [1], 9.159:

; (5.16)

*λЛ1* – коэффициент магнитной проводимости лобового рассеяния:

, (5.17)

*λД1* – коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния:

, (5.18)

где ξ – коэффициент определяемый по формуле [1], 9,176:

 (5.19)

В результате расчета по формулам (5.13)-(5.19) получаем:





; ; ; ;  Ом.

Относительное значение рассчитываем:

, (5.20)

В результате расчета по формуле (5.20) получаем:



Относительное значение индуктивного сопротивления обмотки статора находится в пределах: ;

Индуктивное сопротивление фазы обмотки ротора определяем по формуле [1], 9,177:

, (5.21)

где *λП2* – коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния по [1], таблице 9,27:

, (5.22)

где *h0* =*h1+*0,4·*b2=*17.64+0,4·4,665=19,5 мм;

*b1* = 6,64 мм;

*kД* = 1 для номинального режима;

*λЛ2* – коэффициент магнитной проводимости лобового рассеяния по [1], 9,179:

, (5.23)

*λД2* – коэффициент магнитной проводимости дифференциального рассеяния по [1], 9,180:

, (5.24)

где *ξ* – коэффициент, магнитной проводимости дифференциального рассеяния, рассчитываем:

, (5.25)

так как при закрытых пазах 

В результате расчета по формулам (5.2)-(5.25) получаем:

; ; ;  

Приводим индуктивное сопротивление фазы обмотки ротора к числу витков статора по формуле [1], 9,183:

. (5.26)

В результате расчета по формуле (5.26) получаем:



Относительное значение индуктивного сопротивления фазы обмотки ротора рассчитываем по формуле [1], 9.186:

. (5.27)

В результате расчета по формуле (5.27) получаем:

.

Относительное значение индуктивного сопротивления обмотки ротора находится в пределах: .

6 Потери и КПД асинхронного двигателя

Потери в асинхронных машинах подразделяют на потери в стали (основные и добавочные), электрические потери, вентиляционные, механические и добавочные потери при нагрузке.

Основные потери в стали в асинхронных двигателях рассчитываем только в сердечнике статора, так как частота перемагничивания ротора, равная  в режимах близких к номинальному очень мала и потери в стали ротора даже при больших индукциях незначительны.

Основные потери в стали рассчитываем по формуле [1], 9.187:

, (6.1)

где *β* – показатель степени по [1], стр. 412, (*β* = 1,4);

*ρ1,0/5,0* – удельные потери, Вт/кг, по [1], таблице 9.28, (*ρ1,0/5,0* = 2,5 Вт/кг);

*kда* и *kдz* – коэффициенты, учитывающие влияние на потери в стали (*kда* = 1,6 и *kдz* = 1,8);

ma – масса стали ярма статора, кг [1], 9.188:

, (6.2)

mZ1 – масса стали зубцовой зоны статора, кг [1], 9.189:

, (6.3)

где *γс* – удельная масса стали, кг/м3 (*γС* = 7,8103 кг/м3).

В результате расчета по формулам (6.1)-(6.3) получаем:

 кг;  кг; 

Поверхностные потери – это потери возникающие при холостом ходе, возникающие в поверхностном слое коронок зубцов статора и ротора от пульсации индукции в воздушном зазоре. Для определения поверхностных потерь определим амплитуду пульсации индукции в воздушном зазоре над коронками зубцов ротора по формуле [1], 9.190:

, (6.4)

где *β02* – коэффициент, зависящий от отношения ширины шлица пазов статора к воздушному зазору по [1], рисунку 9.53, (*β02* = 0,3).

В результате расчета по формуле (6.4) получаем:



Рассчитываем удельные поверхностные потери, т.е. потери приходящиеся на 1 м2 поверхности головок зубцов ротора, по формуле [1], 9.192:

 (6.5)

где *k01(2)* – коэффициент, учитывающий влияние обработки поверхности головок зубцов ротора на удельные потери (*k02* = 1,5).

В результате расчета по формуле (6.5) получаем:



Полные поверхностные потери ротора рассчитываем по формуле [1], 9.193:

 (6.6)

В результате расчета по формуле (6.6) получаем:



Пульсационные потери – это потери в стали зубцов от пульсации индукции в зубцах. Для нахождения пульсационных потерь ротора определяем массу зубцов стали по формуле:

. (6.7)

Определяем амплитуду пульсаций индукции в среднем сечении зубцов ротора по формуле [1], 9.196:

. (6.8)

где *γ1* – вычисляется по [1], формуле 9.197:

 (6.9)

В результате расчета по формуле (6.8) – (6.9) получаем:

,



Значение полных пульсационных потерь в зубцах ротора определяем по формуле [1], 9.200:

. (6.10)

В результате расчета по формуле 6.10 получаем:



Сумму добавочных потерь в стали, рассчитываем по формуле [1], 9.202:

, (6.11)



Поверхностные потери в статорах двигателей с короткозамкнутыми или фазными роторами со стержневой обмоткой обычно малы, так как в пазах таких роторов *bш*2 мало и пульсации индукции в воздушном зазоре над головками зубцов статора незначительны. Поэтому расчет этих потерь в статорах таких двигателей не проводят 

Полные потери в стали, определяем по формуле [1], 9.202:

, (6.12)



Электрические потери во всех фазах обмотки статора, находим по формуле [1], 9.204:

, (6.13)



Электрические потери в обмотке короткозамкнутого ротора определяем по формуле:

 ; (6.14)



Для двигателей с внешним обдувом механические потери рассчитываем по формуле:

, (6.15)

где *kT* – коэффициент трения, учитывает конструкцию, скорость вращения, число пар полюсов, мощность двигателя и принимается:



Тогда



Добавочные потери при нагрузке асинхронных двигателей возникают за счёт действия потоков рассеяния, пульсаций индукции в воздушном зазоре, ступенчатости кривых распределения МДС обмоток статора и ротора и ряда других причин. ГОСТ устанавливает средние расчётные добавочные потери при номинальной нагрузке, равные 0,5% номинальной потребляемой мощности:

,

 (6.16)

Коэффициент полезного действия двигателя:

. (6.17)



7 Расчет рабочих характеристик.

Рабочими характеристиками асинхронного двигателя называют зависимости *Р1*, *I1*, *cos ϕ*, *η*, *s*, *n2*, *M* *=f(P2)* при *U1* = *U1ном*, *f1 = f1ном*.

Эти характеристики позволяют оценить свойства асинхронного двигателя.

Рабочие характеристики могут быть рассчитаны с помощью круговой диаграммы или аналитическим методом. Аналитический метод более универсален, позволяет учитывать изменение отдельных параметров при различных скольжениях.

Сопротивления взаимной индукции определяем по формулам:

; (7.1)

. (7.2)

В результате расчета по формуле (7.1) – (7.2) получаем:







Так как  то значение комплексного коэффициента рассчитываем по формуле:

, (7.3)



Коэффициент *c1* представляет собой взятое с обратным знаком отношение вектора напряжения фазы *U* к вектору ЭДС *Е1*, при синхронном вращении машины с учетом сдвига фаз этих векторов.

Активную составляющую тока синхронного холостого хода определяем по формуле:

. (7.4)



Реактивную составляющую тока холостого хода принимаем равной Iμ.

Расчетные величины а, а`, b определяем по формулам:

; (7.5)

; (7.6)

. (7.7)

В результате расчета по формулам (7.5)-(7.7) получаем:







Коэффициент *b`* принимаем равный нулю.

Потери, неменяющиеся при изменении скольжения – это есть сумма основных потерь в стали и механических потерь .

Предварительно принимаем *sн* ≈ *r2\** = 0,0238 рассчитываем рабочие характеристики, задаваясь скольжением s = 0,005; 0,01; 0,015; 0,02; 0,028; 0,03. Результаты расчета сводим в таблицу 7.1.

Формуляр расчета рабочих характеристик асинхронного двигателя:

*Р2Н* = 37 кВт;

*U1Н* = 220 В;

*I1H* = 70 A;

*Pст+Рмех* = 0,90194 кВт;

*I0a* = 0,848 А;

*I0p≈Iμ=*17,804А;

*r1* = 0,1054 Ом;

*r`2* = 0,0749 Ом;

*c1* = 1,0259 Ом;

*a`* = 1,0526;

*а* = 0,292 Ом;

*b* = 0,5895 Ом;

;

2p = 4.

Таблица 2 – Рабочие характеристики асинхронного двигателя

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | Sном |  |  |  |  |
|  | s | 0,0024 | 0,0048 | 0,0071 | 0,0095 | 0,0119 | 0,0143 | 0,0167 | 0,0190 | 0,0214 | 0,0238 | 0,0262 | 0,0286 | 0,0309 | 0,0333 |
|  | a`r2`/s | 33,17 | 16,59 | 11,06 | 8,29 | 6,63 | 5,53 | 4,74 | 4,15 | 3,69 | 3,32 | 3,02 | 2,76 | 2,55 | 2,37 |
| Активное сопротивления к.з., Ом. | R=a+a`r2`/s | 33,28 | 16,69 | 11,16 | 8,40 | 6,74 | 5,64 | 4,85 | 4,25 | 3,79 | 3,43 | 3,12 | 2,87 | 2,66 | 2,48 |
| Реактивное сопротивления к.з., Ом. | X=b+b`r2`/s | 0,59 | 0,59 | 0,59 | 0,59 | 0,59 | 0,59 | 0,59 | 0,59 | 0,59 | 0,59 | 0,59 | 0,59 | 0,59 | 0,59 |
| Полное сопротивление к.з., Ом. | Z= | 33,28 | 16,70 | 11,18 | 8,42 | 6,77 | 5,67 | 4,88 | 4,30 | 3,84 | 3,48 | 3,18 | 2,93 | 2,72 | 2,55 |
| Приведенный ток ротора. | I2``=U1ном/Z | 6,61 | 13,17 | 19,68 | 26,12 | 32,51 | 38,82 | 45,06 | 51,22 | 57,30 | 63,30 | 69,21 | 75,03 | 80,76 | 86,39 |
| Коэффициент мощности ротора. | cosфи2` | 1,000 | 0,999 | 0,999 | 0,998 | 0,996 | 0,995 | 0,993 | 0,991 | 0,988 | 0,986 | 0,983 | 0,980 | 0,976 | 0,973 |
|  | sinфи2` | 0,018 | 0,035 | 0,053 | 0,070 | 0,087 | 0,104 | 0,121 | 0,137 | 0,153 | 0,169 | 0,185 | 0,201 | 0,216 | 0,231 |
| Активная составляющая тока статора, А | I1а | 7,46 | 14,01 | 20,50 | 26,91 | 33,23 | 39,46 | 45,58 | 51,59 | 57,47 | 63,23 | 68,86 | 74,35 | 79,70 | 84,90 |
| Реактивная составляющая тока, А | I1р | 17,92 | 18,27 | 18,84 | 19,63 | 20,63 | 21,84 | 23,24 | 24,83 | 26,60 | 28,53 | 30,63 | 32,88 | 35,27 | 37,79 |
| Действующее значение тока статора, А | I1 | 19,41 | 23,02 | 27,84 | 33,31 | 39,12 | 45,10 | 51,16 | 57,25 | 63,33 | 69,37 | 75,36 | 81,29 | 87,15 | 92,93 |
|  | I2` | 6,78 | 13,51 | 20,19 | 26,80 | 33,35 | 39,83 | 46,23 | 52,55 | 58,79 | 64,95 | 71,01 | 76,98 | 82,86 | 88,64 |
| Электрическая мощность, кВт. | P1=3U1ном I1a | 4,9 | 9,2 | 13,5 | 17,8 | 21,9 | 26,0 | 30,1 | 34,0 | 37,9 | 41,7 | 45,4 | 49,1 | 52,6 | 56,0 |
| Потери в обмотке статора, кВт. | Pэ1 | 0,12 | 0,17 | 0,24 | 0,35 | 0,48 | 0,64 | 0,82 | 1,03 | 1,26 | 1,52 | 1,79 | 2,08 | 2,39 | 2,72 |
| Потери в обмотке ротора, кВт. | Pэ2 | 0,01 | 0,04 | 0,09 | 0,16 | 0,25 | 0,36 | 0,48 | 0,62 | 0,78 | 0,95 | 1,13 | 1,33 | 1,54 | 1,77 |
| Добавочные потери, кВт. | Pдоб | 0,02 | 0,05 | 0,07 | 0,09 | 0,11 | 0,13 | 0,15 | 0,17 | 0,19 | 0,21 | 0,23 | 0,25 | 0,26 | 0,28 |
| Суммарные потери, кВт | СумP | 1,06 | 1,16 | 1,31 | 1,50 | 1,74 | 2,03 | 2,36 | 2,73 | 3,13 | 3,58 | 4,05 | 4,56 | 5,10 | 5,67 |
| Механическая мощность на валу, кВт. | P2 | 3,87 | 8,09 | 12,22 | 16,26 | 20,19 | 24,01 | 27,72 | 31,32 | 34,80 | 38,16 | 41,39 | 44,51 | 47,50 | 50,36 |
| КПД, о.е. |  | 0,786 | 0,875 | 0,904 | 0,915 | 0,920 | 0,922 | 0,922 | 0,920 | 0,917 | 0,914 | 0,911 | 0,907 | 0,903 | 0,899 |
| Коэффициент мощности | сos ФИ | 0,384 | 0,609 | 0,736 | 0,808 | 0,850 | 0,875 | 0,891 | 0,901 | 0,908 | 0,912 | 0,914 | 0,915 | 0,914 | 0,914 |
| Частота вращения ротора, об/мин. | n2 | 1496 | 1493 | 1489 | 1486 | 1482 | 1479 | 1475 | 1471 | 1468 | 1464 | 1461 | 1457 | 1454 | 1450 |
| Вращающий момент, Н·м. | M | 24,67 | 51,76 | 78,38 | 104,50 | 130,08 | 155,09 | 179,50 | 203,28 | 226,41 | 248,86 | 270,63 | 291,70 | 312,06 | 331,69 |

P2н=37 кВт:

A

кВт

I1

P2

Рисунок 7.1 – Рабочая характеристика асинхронного двигателя I1=f(P2)

кВт

S

P2

Рисунок 7.2 – Рабочая характеристика асинхронного двигателя S=f(P2)

кВт

Об/мин

n2

P2

Рисунок 7.3 – Рабочая характеристика асинхронного двигателя n2=f(P2)

Н\*м

кВт

M

P2

Рисунок 7.4 – Рабочая характеристика асинхронного двигателя M=f(P2)

кВт

η

P2

Рисунок 7.5 – Рабочая характеристика асинхронного двигателя η=f(P2)

кВт

Cos(φ)

P2

Рисунок 7.6 – Рабочая характеристика асинхронного двигателя cosφ =f(P2)

кВт

кВт

P1

P2

Рисунок 7.7 – Рабочая характеристика асинхронного двигателя P1=f(P2)

8 Тепловой и вентиляционный расчет

Для анализа тепловых процессов электрических машин используется понятие превышение температуры. Нагревостойкость – одно из самых важных качеств электроизоляционных материалов, т.к. она определяет допустимую нагрузку электрических машин и аппаратов.

Способность электроизоляционных материалов выдержать без вреда для них воздействие повышенной температуры, а также резкие смены температуры называется нагревостойкостью.

Класс изоляции проектируемого двигателя F (155°С, материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с синтетическими связующими и пропитывающими составами).

Превышение температуры внутренней поверхности сердечника статора над температурой воздуха внутри двигателя рассчитываем по формуле:

, (8.1)

где *α1* – коэффициент теплоотдачи с поверхности, определяем по рисунку 9.67 б), 117 Вт/(м2°С);

*k=*0,2 – коэффициент, учитывающий, что часть потерь в сердечнике статора и в пазовой части обмотки передается через станину непосредственно в окружающую среду, определяем по таблице 9.35;

*Р`э.п1* – электрические потери в пазовой части обмотки статора, определяем по формуле:

, (8.2)

где *kρ* – коэффициент увеличения потерь по сравнению с полученными для расчётной температуры для обмоток с изоляцией класс нагревостойкости F, 1,07.





Перепад температур в изоляции пазовой части обмотки статора рассчитываем по формуле:

, (8.3)

где *ПП1* – расчетный периметр поперечного сечения паза статора, м., определяем по формуле:

, (8.4)



*λ`экв* – коэффициент теплопроводности внутренней изоляции катушки всыпной обмотки из эмалированных проводников, с учётом неплотности прилегания проводников, определяем по рисунку 9.69, 1,4 Вт/(м2°С);

*λэкв* – эквивалентная теплопроводность пазовой изоляции, 0,16 Вт/(м2°С)).



Перепад температуры по толщине изоляции лобовых частей рассчитываем по формуле:

, (8.5)

где *bиз.л1* – толщина изоляции лобовых частей, мм;

*ПЛ1* – периметр условной поверхности охлаждения лобовой части одной катушки, *ПЛ1 ≈ ПП1, м.*

*Р`э.л1* – электрические потери в лобовых частях катушек, Вт:

 (8.6)





Превышение температуры наружной поверхности лобовых частей над температурой воздуха внутри машины рассчитываем по формуле:

. (8.7)



Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой воздуха внутри машины определяем по формуле:

, 8.8)



Превышение температуры воздуха внутри машины над температурой окружающей среды определяем по формуле:

, (8.9)

где *ΣР`в* – сумма потерь, отводимых в воздух внутри двигателя, Вт:

, (8.10)

. (8.11)

*Sкор* – эквивалентная поверхность охлаждения корпуса, м2:

. (8.12)

*αв* – коэффициент подогрева воздуха, определяем по рисунку 9.67, б 24 Вт/(м2°С), а по рис. 9.70 *Пр=*0,38 м для *h*=200 мм;









Среднее превышение температуры обмотки статора над температурой окружающей среды определяем по формуле [1], 9.328:

. (8.13)

В результате расчета по формуле (8.13) получаем:



Из-за приближенного характера расчета  должно быть, по крайней мере, на 20% меньше, чем допускаемое превышение температуры для принятого класса изоляции.

Вентиляционный расчет асинхронных двигателей, так же как и тепловой на первоначальном этапе проектирования, может быть выполнен приближенным методом, который заключается в сопоставлении расхода воздуха, необходимого для охлаждения двигателя и расхода, который может быть получен при данной конструкции и размерах двигателя.

Для нормального охлаждения машины расход воздуха, обеспечиваемый наружным вентилятором должен быть больше требуемого для охлаждения машины.

Требуемый для охлаждения расход воздуха определяем по формуле [1], 9.340:

, (8.14)

где  – коэффициент, учитывающий изменение условий охлаждения по длине поверхности корпуса, обдуваемого наружным вентилятором: 

где  – коэффициент для 2*р*=4 при *h=*200 мм 

В результате расчета по формуле (8.14) получаем:

 м3/с.

Расход воздуха, который может быть получен при данных размерах двигателя определяем по формуле [1], 9.342:

 (8.15)

В результате расчета по формуле (8.15) получаем:

.

Анализируя результаты формул (8.14) и (8.15) делаем вывод о том, что расход воздуха, обеспечиваемый размерами двигателя, больше требуемого для охлаждения, что является показателем работоспособности машины.

Степень защиты рассчитанного двигателя IP44. Буквенное цифровое обозначение, характеризующее защитные свойства корпуса (оболочки) оборудования от проникновения в него посторонних предметов, пыли и воды и от контакта с электроопасными частями.

Первая цифра условного обозначения – 4. Защита от проникновения внутрь корпуса АД проволоки и твердых тел размером свыше 1,0 мм.

Вторая цифра условного обозначения – 4. Защита от брызг (вода, разбрызгиваемая на корпус АД в любом направлении, не должна оказывать на него вредного воздействия).

Заключение.

В данной курсовой работе был рассчитан асинхронный двигатель серии 4А с номинальной мощностью 37 кВт. При расчете был проведен ряд проверок, которые свидетельствуют о правильности проведенных расчетов и выбранных параметров, также были построены рабочие характеристики. Сделан тепловой расчет, по данным которого можно сделать вывод, что элементы двигателя по нагреву соответствуют классу нагревостойкости изоляции.

Параметры рассчитанного синхронного двигателя серии 4А

|  |  |
| --- | --- |
| Условное обозначение | 4АХ200М4У3 |
| Номинальная мощность на валу, кВт | 37 |
| Число фаз | 3 |
| Синхронна частота, об/мин | 1500 |
| Частота напряжения питающей сети, Гц | 50 |
| Номинальное значение фазного напряжения, В | 220 |
| Расчетное значение номинального тока, А | 70 |
| Расчетное значение КПД, % | 90 |
| Расчетное значение коэффициента мощности, о.е. | 0,89 |
| Расчетное значение номинального скольжения, о.е. | 0,0238 |
| Обмотка статора | Двухслойная петлевая |
| Форма паза сердечника статора | Трапецеидальный полуоткрытый паз |
| Форма паза сердечника ротора | Трапецеидальный закрытый паз |
| Активное сопротивление фазы обмотки статора, Ом | 0,105 |
| Индуктивное сопротивление рассеяния фазы  обмотки статора, Ом | 0,312 |
| Приведенное активное сопротивление обмотки ротора, Ом | 0,075 |
| Приведенное индуктивное сопротивление обмотки ротора, Ом | 0,255 |
| Степень защиты | IP44 |
| Способ охлаждения | IC0141 |
| Форма исполнения | IM1081 |

Библиографический список

1. Проектирование электрических машин: Учеб. Пособие для вузов / И.П. Копылов, Б. К. Клоков и др.; Под ред. И.П. Копылова. – М.: Энергия, 2002. – 757 с.
2. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. М.: Высшая школа, 2001. 318 с.
3. Проектирование электрических машин: В 2 кн. / Под ред. И.П. Копылова. М.: Энергоатомиздат, 1993. 384 с.