# **Введение**

Синхронной машиной (СМ) называется двухобмоточная электрическая машина переменного тока, одна из обмоток которой присоединена к электрической сети с постоянной частотой, а вторая – возбуждается постоянным током.

Конструктивное исполнение статора синхронной машины может быть различным в зависимости от назначения и габаритов машины. Так, в многополюсных машинах большой мощности при наружном диаметре сердечника статора более 900 мм пластины сердечника делают из отдельных сегментов, которые при сборке образуют цилиндр сердечника статора. Корпуса статоров крупногабаритных машин делают разъемными, что необходимо для удобства транспортировки и монтажа этих машин.

Роторы синхронных машин могут иметь две принципиально различающиеся конструкции: явнополюсную и неявнополюсную.

#### У синхронного генератора (IP23) на якоре имеются обмотки, на которые подается электрический ток. Изменяя его величину, можно влиять на магнитное поле, а следовательно, и на напряжение на выходе статорных обмоток. Роль регулятора прекрасно исполняет простейшая электрическая схема с обратной связью по току и напряжению. Благодаря этому способность синхронного генератора «проглатывать» кратковременные перегрузки высока и ограничена лишь омическим (активным) сопротивлением его обмоток, т.е. легче переносят пусковые нагрузки.

#### Однако у такой схемы есть и недостатки. Прежде всего, ток приходится подавать на вращающийся ротор, для чего традиционно используют щеточный узел. Работая с довольно большими (особенно во время перегрузок) токами, щетки перегреваются и частично «выгорают». Это приводит к плохому их прилеганию к коллектору, к повышению омического сопротивления и к дальнейшему перегреву узла. Кроме того, подвижный контакт неизбежно искрит, а значит, становиться источником радиопомех. И самый основной недостаток низкая степень защиты от внешних воздействий таких как: пыль, грязь, вода, т. к. синхронный генератор охлаждается «протягивая» через себя воздух, соответственно все что находится в воздухе может попадать в генератор.

#### Если генератор щёточный, чтобы избежать преждевременного износа, рекомендуется время от времени контролировать состояние щеточного узла и при необходимости очищать либо менять щетки. Кстати, после их заменены, желательно дать им время «приработаться» к коллектору, а уж за тем нагружать станцию «по полной программе».

#### Многие современные синхронные генераторы снабжены безщеточными системами возбуждения тока на катушках ротора (их еще называют brash-less). Они лишены вышеуказанных недостатков связанных с щёточным узлом, а потому предпочтительнее.

#### для трёхфазных синхронных генераторов допустимый перекос фаз 33%

#### коэффициент нелинейных искажений 13–25% (в зависимости от производителя).

#### **1.** **Данные для проектирования**

|  |  |
| --- | --- |
| Назначение | Двигатель |
| Номинальный режим работы | Продолжительный |
| Номинальная отдаваемая мощность Р2, кВт | 200 |
| Количество фаз статора m1 | 3 |
| Способ соединения фаз статора | Звезда |
| Частота напряжения f, Гц | 50 |
| Коэффициент мощности cos φ | 0,8 |
| Номинальное линейное напряжение Uл, В | 400 |
| Частота вращения n1, об/мин | 1000 |
| Способ возбуждения | От спец. обмотки |
| Степень защиты от внешних воздействий | IP23 |
| Способ охлаждения | IC01 |
| Исполнение по способу монтажа | IM1001 |
| Климатические условия и категория размещения | У2 |

# **2. Магнитная цепь машины. Размеры, конфигурация, материалы**

**2.1 Конфигурация**

Принимаем изоляцию класса нагревостойкости F

Количество пар полюсов (9.1)

р=60f/n1=60∙50/1000=3.

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки статора (рисунок 11.1)

хσ\*=0,12 о.е.

Коэффициент мощности нагрузки (11.1)

кн=

Предварительное значение КПД (рисунок 11.2)

η'=0,93 о.е.

# **2.2 Главные размеры**

Расчетная мощность (1.11)

Р'=кнР2/cosφ=1,076∙200/0,8=269 кВт.

# Высота оси вращения (таблица 11.1)

h=355 мм.

Допустимое расстояние от корпуса до опорной поверхности (таблица 9.2)

h1=10 мм.

Наружный диаметр корпуса (1.27)

Dкорп=2 (h-h1)=2 (355–10)=690 мм.

Максимально допустимый наружный диаметр сердечника статора (таблица 9.2)

Dн1max=660 мм.

Выбираемый диаметр сердечника статора (§ 11.3)

Dн1=660 мм.

Внутренний диаметр сердечника статора (§ 11.3)

D1=43+0,72 Dн1=43+0,72∙660=518,2 мм.

Предварительное значение линейной нагрузки статора (рис. 11.3)

А'1=425 А/см.

Предварительное значение магнитной индукции в воздушном зазоре и номинальном режиме (рисунок 11.4)

# В'б=0,79 Тл.

# Предварительное значение максимальной магнитной индукции в воздушном зазоре машины при х.х. (11.3)

# В'б0=В'б/кн=0,79/1,076=0,85 Тл.

Полюсное деление статора (1.5)

 мм.

Индуктивное сопротивление машины по продольной оси (рис. 11.5)

хd\*=2,5 о.е.

Индуктивное сопротивление реакции якоря по продольной оси (11.4)

хad\*=хd\* - хσ\*=2,5–0,12=2,38 о.е.

Коэффициент, учитывающий наличие зазоров в стыке полюса и сердечника ротора или полюсного наконечника и полюса (§ 11.3)

к'=1,05

Расчетная величина воздушного зазора между полюсным наконечником и сердечником статора (11.2)

 мм.

Уточненная величина воздушного зазора (§ 11.3)

б=2,0 мм.

# Форма зазора эксцентричная по рисунку 11.8

Отношение максимальной величины зазора к минимальной (§ 11.3)

б''/б'=1,5.

# Воздушный зазор по оси полюса (11.13)

б'=б/1,125=2/1,125=1,8

Воздушный зазор под краем полюсного наконечника (11.14)

б''=б/0,75=2/0,75=2,7

Коэффициент полюсной дуги действительный (§ 11.3)

α=0,73–3,33∙10 -5∙Dн1=0,73–3,33∙10 -5∙660=0,7.

Коэффициент полюсной дуги расчетный (рисунок 11.9)

α'=0,66.

# **2.3 Сердечник статора**

Марка стали 2312, изолировка листов лакировка, толщина стали 0,5 мм.

Коэффициент заполнения сердечника статора сталью (§ 9.3)

кс=0,95.

Коэффициент формы поля возбуждения (рисунок 11.9)

кв=1,17.

# Обмоточный коэффициент (§ 9.3)

коб1=0,92

Расчетная длина сердечника статора (1.31)

.

2.3.5 Конструктивная длина сердечника статора (§ 11.3)

ℓ1 = ℓ'1 =300 мм.

Отношение конструктивной длины к внутреннему диаметру сердечника статора (9.2)

λ=ℓ1/D1=300/518,2=0,58.

# Проверка по условию λ< λmax (рисунок 11.10)

λmax=1,07.

Количество пазов на полюс и фазу (§ 11.3)

q1=4.

Количество пазов сердечника статора (9.3)

z1=2рm1q1=2∙3∙3∙4=72.

Проверка правильности выбора значения z1 (11.15)

z1/gm1=72/(3∙3)=8 – целое число.

# **2.4 Сердечник ротора**

Марка стали Ст3, толщина листов 1,5 мм, листы без изоляции, коэффициент заполнения стали кс=0,98.

Длина сердечник ротора (11.20)

ℓ2=ℓ1+(10–20)=300+10=310 мм.

# **2.5 Сердечник полюса и полюсный наконечник**

Марка стали Ст3, толщина листов 1,5 мм, листы без изоляции, коэффициент заполнения кс=0,98.

Длина шихтованного сердечника полюса (11.19)

ℓп=ℓ1+(10–15)= 300+10=310 мм.

Магнитная индукция в основании сердечника полюса (§ 11.3)

В'п=1,45 Тл.

Предварительное значение магнитного потока (9.14)

Ф'=В'бD1∙ℓ'110-6/р=0,79∙518,2∙300∙10-6/3=40,9∙10-3 Вб.

Ширина дуги полюсного наконечника (11.25)

bн.п=ατ=0,7∙271,2=190 мм.

Радиус очертания полюсного наконечника при эксцентричном воздушном зазоре (11.26)

 мм.

Ширина полюсного наконечника (11.28)

b'н.п=2Rн.пsin (0.5bн.п/Rн.п)= 2∙246∙sin (0,5∙190/246)=185 мм.

Высота полюсного наконечника (§ 11.3)

h'н.п=15 мм.

Высота полюсного наконечника по оси полюса для машин с эксцентричным зазором (11.29)

hн.п=h'н.п+Rн.п – мм

Поправочный коэффициент (11.24)

кσ=1,25hн.п+25=1,25∙33+25=66.

Предварительное значение коэффициента магнитного рассеяния полюсов (11.22)

σ'=1+кσ35б/τ2=1+66∙35∙2/271,22=1,06.

Ширина сердечника полюса (11.21)

bп=σ'Ф'∙106/(ксℓпВ'п)=1,06∙40,9∙10-3∙10 6/(0,98∙310∙1,45)=98,4 мм.

Высота выступа у основания сердечника (11.32)

h'п=10,5б'+0,18D1=10,5∙1,8+0,18∙518,2=112 мм.

Предварительный внутренний диаметр сердечника ротора (11.33)

D'2=dв=кв мм.

Высота спинки ротора (11.34)

hс2=0,5D1-б-h'п-0,5D'2=0,5∙518,2–2–112–33–0,5∙140=42 мм.

Расчетная высота спинки ротора с учетом прохождения части магнитного потока по валу (11.35)

h'с2=hс2+0,5D'2=42+0,5∙140=112 мм.

Магнитная индукция в спинке ротора (11.36)

Вс2= Тл.

Рисунок 1 – Эскиз ротора

**3. Обмотка статора**

**3.1 Принимаем двухслойную петлевую обмотку с жесткими секциями из провода марки ПЭТВП, укладываемую в прямоугольные полуоткрытые пазы**

**3.2 Коэффициент распределения (9.9)**

кр1=;

где α=60/q1.

## 3.3 Укорочение шага (§ 9.3)

β'1=0,8.

**3.4 Шаг обмотки (9.11)**

уп1=β1z1/(2p)=0,8∙72/(2∙3)=9,6;

Принимаем уп1=10.

**3.5 Укорочение шага обмотки статора по пазам (11.37)**

β1=2руп1/z1=2∙3∙10/72=0,833.

**3.6 Коэффициент укорочения (9.12)**

ку1=sin(β1∙90˚)=sin (0,833∙90)=0,966.

**3.7 Обмоточный коэффициент (9.13)**

коб1=кр1∙ку1=0,96∙0,966=0,93.

**3.8 Предварительное количество витков в обмотке фазы (9.15)**

w'1=.

**3.9 Количество параллельных ветвей обмотки статора (§ 9.3)**

а1=3.

**3.10 Предварительное количество эффективных проводников в пазу (9.16)**

N'п1=;

Принимаем N'п1=8.

**3.11 Уточненное количество витков (9.17)**

.

**3.12 Количество эффективных проводников в пазу (§ 11.4)**

Nд=1.

**3.13 Количество параллельных ветвей фазы дополнительной обмотк**и

ад=2.

**3.14 Количество витков дополнительной обмотки статора (11.38)**

.

3.15 Уточненное значение магнитного потока (9.18)

Ф=Ф'(w'1/w1)= 40,9∙10-3 (29,4/32)= 38,3∙10-3 Вб.

**3.16 Уточненное значение индукции в воздушном зазоре (9.19)**

Вб=В'б(w'1/w1)=0,83∙(29,4/32)=0,74 Тл.

**3.17 Предварительное значение номинального фазного тока (9.20)**

 А.

**3.18 Уточненная линейная нагрузка статора (9.21)**

.

Полученное значение А1 не отличается от предварительно принятого А'1=425 А/см более чем на 10%.

**3.19 Среднее значение магнитной индукции в спинке статора (т. 9.13)**

Вс1=1,65 Тл.

# **3.20 Обмотка статора с прямоугольными полуоткрытыми пазами (таблица 9.16)**

В'з1max=1,9∙0,95=1,8 Тл.

# **3.21 Зубцовое деление статора в наиболее узком месте (9.46)**

t1min= мм.


# **3.22 Предельная ширина зубца в наиболее узком месте (9.47)**

b'з1min= мм.

**3.23 Предварительная ширина полуокрытого паза в штампе (9.48)**

b'п1=t1min-b'з1min=22,99–9,95=13,04 мм.

**3.24 Высота спинки статора (9.24)**

hc1= мм.

**3.25 Высота паза (9.25)**

hn1=(Dн1-D1)/2-hc1=(660–518,2)/2–40,7=30,2 мм.

**3.26 Изоляция обмотки статора (приложение 28)**

hи=4,5 мм.

**3.27 Двусторонняя толщина корпусной изоляции (§ 9.4)**

2bи=2,2 мм.

# **3.28 Высота шлица (§ 9.4)**

hш=1 мм.

**3.29 Высота клина (§ 9.4)**

hк=3,5 мм.

**3.30 Припуск на сборку сердечника по ширине (§ 9.4)**

bc=0,3 мм.

**3.31 Припуск на сборку сердечника по высоте (§ 9.4)**

hc=0,3 мм.

**3.32 Количество эффективных проводников по ширине паза (§ 9.4)**

Nш=2.

**3.33 Допустимая ширина эффективного проводника с витковой изоляцией (9.50)**

b'эф=(b'n1-2bи1-bc)/Nш=(13,01–2,2–0,3)/2=5,27 мм.

**3.34 Количество эффективных проводников по высоте паза (9.52)**

Nв=Nп1/Nш=8/2=5.

**3.35 Допустимая высота эффективного проводника (11.49)**

а'эф=(с0hn1-hи-hk-hш-hс)/Nв=(0,85∙30,2–4,5–3,5–1–0,3)/4=4,09 мм.

**3.36 Площадь эффективного проводника (9.53)**

S'эф=а'эф∙b'эф=4,09∙5,27=21,55 мм2.

**3.37 Количество элементарных проводов в эффективном (§ 9.4)**

с=4.

**3.38 Меньший размер неизолированного элементарного провода (9.**54)

а'=(а'эф/са)-Δи=4,09/2–0,15=1,9 мм,

где Δи=0,15 мм – двухсторонняя толщина изоляции провода (приложение 3).

**3.39 Больший размер неизолированного элементарного провода (9.55)**

b'=(b'эф/сb)-Δи=5,27/2–0,15=2,49 мм.

**3.40 Размеры провода (приложение 2)**

а х b=1,8 х 2,8;

S=4,677 мм2.

**3.41 Размер по ширине паза в штампе (9.57)**

bn1=Nшсb(b+Δи)+2bи+bс=2∙2 (2,8+0,15)+2,2+0,3=14,3 мм.

**3.42 Уточненная ширина зубца в наиболее узкой части (9.85)**

bз1min=t1min –bn1=22,99–14,3=8,69 мм.

**3.43 Уточненная магнитная индукция в узкой части зубца статора (9.59)**

Вз1max=t1Bб/(bз1minkc)=22,6∙0,839/(8,69∙0,95)=2,3 Тл.

**3.44 Размер основной обмотки статора (11.50)**

hп.о=Nв.осо.в(а+Δи.а)+hи.о=4∙2 (1,8+0,15)+4,5=20,1 мм,

где со.в=2 – количество элементарных проводников основной обмотки в одном эффективном по высоте пазе.

**3.45 Изоляция обмотки статора (приложение 30)**

hи.д=0,6+1,1+1=2,7 мм.

**3.46 Размер дополнительной обмотки статора (11.51)**

hп.д=Nв.дсд.в(а+Δи.а)+hи.д=1∙1 (1,8+0,15)+2,7=4,65 мм,

где сд.в=2 – количество элементарных проводников дополнительной обмотки в одном эффективном по высоте пазе.

**3.47 Уточненная высота паза статора в штампе (11.52)**

hп1=hп.о+hп.д+hк+hш+hс=20,1+4,65+3,5+1+0,3=29,55 мм.

**3.48 Среднее зубцовое деление статора (9.40)**

tср1=π(D1+hп1)/z1=3,14 (518,2+30,2)/72=23,92.

**3.49 Средняя ширина катушки обмотки статора (9.41)**

bср1=tср1∙уп1=23,9∙10=239,2.

**3.50 Средняя длина одной лобовой части обмотки (9.60)**

ℓл1=1,3bср1+hп1+50=1,3∙239,2+30,2+50=391,2 мм.

**3.51 Средняя длина витка обмотки (9.43)**

ℓср1=2 (ℓ1+ℓл1)=2 (300+391,2)=1382,4 мм.

**3.52 Длина вылета лобовой части обмотки (9.63)**

ℓв1=0,4bср1+hп1/2+25=0,4∙239,2+30,2/2+25=135,8 мм.

**3.53 Плотность тока в обмотке статора (9.39)**

J1=I1/(S∙c∙a1)=360,8/(4,677∙4∙3)=6,44 А/мм2.

**3.54 Определяем значение А1J1 (§ 11.4)**

А1J1=425,7∙6,44=2742 А2/см∙мм2.

**3.55 Допустимое значение А1J1 (рисунок 11.12)**

(А1J1) доп=2750 > 2742 А2/см∙мм2.

Рисунок 2 – Эскиз статора

# **4. Демпферная (пусковая) обмотка**

Суммарная площадь поперечного сечения меди обмотки статора, приходящейся на одно полюсное деление (11.53)

S2Σ=0,015τА1/J1=0,015∙271,2∙425,7/6,44=269 мм2.

Зубцовое деление полюсного наконечника ротора (§ 11.5)

t'2=20 мм.

Предварительное количество стержней демпферной обмотки на один полюс (11.54)

N'2=1+(bн.п-20)/t'2=1+(190–20)/20=10 шт.

Предварительный диаметр стержня демпферной обмотки (11.55)

d'с=1,13 мм.

Диаметр и сечение стержня (§ (11.5)

dс=6 мм; S=26,26 мм2.

Определяем отношение (§ 11.5)

h'н.п/d=15/6=2,5 > 1,7.

Минимальная ширина крайнего зубца полюсного наконечника

bз2min=5 мм.

Уточненное значение зубцового деления полюсного наконечника (11.56)

t2=(bн.п – dc – 2bз2min)/(N2-1)=(190–6–2∙5)/(10–1)=19,3 мм.

Диаметр круглой части паза полюсного наконечника (11.57)

dп2=dс+(0,1–0,15)=6+0,1=6,1 мм.

Размеры шлица паза демпферной обмотки (§ 11.5)

bш2 х hш2=2,5 х 3 мм.

Предварительная длина стержня демпферной обмотки (11.58)

ℓ'ст=ℓ1+0,2∙τ=300+0,2∙271,2=355 мм.

Площадь поперечного сечения (11.59)

S'с=0,5S2Σ=0,5∙269=135 мм2.

Высота короткозамыкающих сегментов (§ 11.5)

h'с=2∙dс=2∙6=12 мм.

Ширина короткозамыкающих сегментов (§ 11.5)

ℓ'с=0,7∙dс=4,2 мм.

Определяем размеры и сечение короткозамыкающих сегментов.

hc х ℓс=4,25 х 12,5 мм;

Sс=52,27 мм2.

# **5. Расчет магнитной цепи**

**5.1 Воздушный зазор**

Расчетная площадь поперечного сечения воздушного зазора (11.60)

Sб=α'τ(ℓ'1+2б)=0,66∙271,2 (300+2∙2)=54414 мм2.

Уточненное значение магнитной индукции в воздушном зазоре (11.61)

Вб=Ф∙106/Sб=38,3∙103/54414=0,7 Тл.

Коэффициент, учитывающий увеличение магнитного зазора, вследствие зубчатого строения статора (9.116)

кб1=.

Коэффициент, учитывающий увеличение магнитного зазора, вследствие зубчатого строения ротора (9.117)

кб2=1+.

Общий коэффициент воздушного зазора (9.120)

кб=кб1∙кб2=1,187∙1,027=1,219.

МДС для воздушного зазора (9.121)

Fб=0,8бкбВб∙103=0,8∙2∙1,219∙0,7∙103=1365 А.

**5.2 Зубцы статора**

Зубцовое деление на 1/3 высоты зубца (9.122)

t1(1/3)=π(D1+(2/3) hп1)/z1=3,14 (518,2+(2/3)∙30,2)/72=21,7 мм.

Ширина зубца (9.126)

bз1(1/3)=t1(1/3)-bп1=21,7–14,3=7,4 мм.

Расчетная площадь поперечного сечения зубцов статора (11.64)

Sз1(1/3)= мм2.

Магнитная индукция в зубце статора (11.65)

Вз1(1/3)=Ф∙106/Sз1(1/3)=38,3∙103/(30,89∙103)=1,24 Тл.

Напряженность магнитного поля (приложение 9)

Нз1=14,01 А/см.

Средняя длина пути магнитного потока (9.124)

Lз1=hп1=30,2 мм.

МДС для зубцов (9.125)

Fз1=0,1Нз1Lз1=0,1∙14,01∙30,2=42 А.

**5.3 Спинка статора**

Расчетная площадь поперечного сечения спинки статора (11.66)

Sc1=hc1ℓc1kc=40,7∙300∙0,9=11600 мм2.

Расчетная магнитная индукция (11.67)

Вс1=Ф∙106/(2Sc1)= 38,3∙103/(2∙11600)=1,65 Тл.

Напряженность магнитного поля (приложение (12)

Нс1=17,2 А/см.

Средняя длина пути магнитного потока (9.166)

Lс1=π(Dн1-hс1)/4 р=3,14 (660–40,7)/(4∙3)=162 мм.

МДС для спинки статора (11.68)

Fс1=0,1∙Нс1Lс1=0,1∙17,2∙162=279 А.

**5.4 Зубцы полюсного наконечника**

Магнитная индукция в зубцах полюсного наконечника (11.69)

Вз2= Тл.

Напряженность магнитного поля в зубцах полюсного наконечника.

Нз2=9,53 А/см.

Средняя длина пути магнитного потока в зубцах полюсного наконечника (11.70)

Lз2=hш2+dп2=3+6,1=9,1

МДС для зубцов полюсного наконечника (11.71)

Fз2=0,1Hз2Lз2=0,1∙9,53∙9,1=9 А.

**5.5 Полюсы**

Величина выступа полюсного наконечника (11.72)

b''п=0,5 (b'н.п – bп)=0,5 (185–98,4)=43,3 мм.

Высота широких полюсных наконечников (11.83)

hн=(2hн.п+h'н.п)/3=(2∙33+15)/3=27 мм.

Расстояние между боковыми поверхностями смежных полюсных наконечников (11.84)

ан.п=[π(D1-2б''-h'н.п)/2 р] – b'н.п=[3,14 (518,2–2∙2,7–15)/(2∙3)] – 185=75,5 мм.

Коэффициент магнитной проводимости потока рассеяния (11.85)

.

Длина пути магнитного потока (11.87)

Lп=h'п+0,5hн.п – Lз2=112+0,5∙33 – 9,1=119,4 мм.

Коэффициент магнитной проводимости потока рассеяния по сердечникам полюсов (11.88)

.

Коэффициент магнитной проводимости потока рассеяния по торцам полюсов (11.89)

λп.в=37bп/ℓп=37∙98,4/310=11,74.

Коэффициент магнитной проводимости потока рассеяния полюсов (11.90)

λп=λн.п+λп.с+λп.в=57,39+79,4+11,74=148,53.

МДС для статора и воздушного зазора (11.91)

Fбзс=Fб+Fз1+Fс1=1365+42+279=1686 А.

Магнитный поток рассеяния полюсов (11.92)

Фσ=4λпℓн.пFбзс∙10-11=4∙148,53∙1686∙310∙10-11=3,1∙10-3 Вб.

Коэффициент рассеяния магнитного потока (11.93)

σ=1+Фσ/Ф=1+3,1∙10-3 /38,3∙10-3 =1,08.

Расчетная площадь поперечного сечения сердечника полюса (11.94)

Sп=ксℓпbп=0,98∙310∙98,4=29,89∙103 мм2.

Магнитный поток в сердечнике полюса (11.95)

Фп=Ф+Фσ=(38,3+3,1) 10-3 =41,4∙10-3 Вб.

Магнитная индукция в сердечнике полюса (11.96)

Вп=Фп/(Sп∙10-6)= 41,4∙10-3/(29,89∙103∙10-6)=1,39 Вб.

Напряженность магнитного поля в сердечнике полюса.

Нп=20,3 А/см.

Длина пути магнитного потока в полюсе (11.87)

Lп=h'п+0,5hн.п – Lз2=112+0,5∙33 – 9,1=119,4 мм.

МДС для полюса (11.104)

Fп=0,1∙Lп∙Нп=0,1∙119,4∙20,3=242 А.

**5.6 Спинка ротора**

Расчетная площадь поперечного сечения спинки ротора (11.105)

Sс2=ℓ2h'с2кс=310∙112∙0,98=34025,6 мм2.

Среднее значение индукции в спинке ротора (11.106)

Вc2=σФ∙106/(2Sс2)=1,08∙38,3∙10-3∙106/(2∙34025,6)=0,61 Тл.

Напряженность магнитного поля в спинке ротора (приложение 21)

Нc2=4,97 А/см.

Средняя длина пути магнитного потока в спинке ротора (11.107)

Lс2=[π(D2+2hc2)/(4p)]+0,5h'с2=[3,14 (140+2∙42)/(4∙3)+0,5∙112=115 мм.

МДС для спинки ротора (9.170)

Fc2=0.1∙Lc2∙Hc2=0,1∙115∙4,97=57 А.

**5.7 Воздушный зазор в стыке полюса**

Зазор в стыке (11.108)

бп2=2ℓп∙10-4+0,1=2∙310∙10-4+0,1=0,162 мм.

МДС для зазора в стыке между сердечником полюса и полюсным наконечником (11.109)

Fп2=0,8бп2Вп∙103=0,8∙0,162∙1,39∙103=180 А.

Суммарная МДС для полюса и спинки ротора (11.170)

Fпс=Fп+Fс2+Fп2+Fз2=242+57+180+9=488 А.

**5.8 Общие параметры магнитной цепи**

Суммарная МДС магнитной цепи (11.111)

FΣ(1)= Fбзс+Fпс=1686+488=2174 А.

Коэффициент насыщения (11.112)

кнас=FΣ/(Fб+Fп2)=2174/(1365+180)=1,4.

**6. Активное и индуктивное сопротивление обмотки статора для установившегося режима**

Активное сопротивление обмотки фазы (9.178)

r1= Ом.

Активное сопротивление в относительных единицах (9.179)

r1\*=r1I1/U1=0,01∙360,8∙/400=0,0216 о.е.

Проверка правильности определения r1\* (9.180)

r1\*= о.е.

Активное сопротивление демпферной обмотки (9.178)

rд= Ом.

Размеры паза

bп1=14,3 мм; hш1=1 мм; hк1=3 мм; h2=1,9 мм; hп1=30,2 мм; h3=h4=1 мм;

h1= hп1 – h4 – h2 – hк1 – hш1 =30,2–1–1,9–3–1=23,3 мм.

Коэффициенты, учитывающие укорочение шага (9.181, 9.182)

кβ1=0,4+0,6β1=0,4+0,6∙0,833=0,9;

к'β1=0,2+0,8β1=0,2+0,8∙0,833=0,87.

Коэффициент проводимости рассеяния (9.187)

λп1=

Коэффициент проводимости дифференциального рассеяния (11.118)

λд1=.

Коэффициент проводимости рассеяния лобовых частей обмотки (9.191)

λл1=0,34.

Коэффициент зубцовой зоны статора (11.120)

квб=.

Коэффициент, учитывающий влияние открытия пазов статора на магнитную проницаемость рассеяния между коронками зубцов (§ 11.7)

кк=0,04.

Коэффициент проводимости рассеяния между коронками зубцов (11.119)

.

Суммарный коэффициент магнитной проводимости потока рассеяния обмотки статора (11.121)

λ1=λп1+λл1+λд1+λк=0,9681+0,4956+1,12+0,175=2,7587.

Индуктивное сопротивление обмотки статора (9.193)

хσ=1,58f1∙ℓ1w21∙λ1/(pq1∙108)=1,58∙50∙300∙322∙2,7578/(3∙4∙108)=0,0558 Ом.

Индуктивное сопротивление обмотки фазы статора (9.194)

хσ\*=х1∙I1/U1=0,0558∙360,8∙/400=0,09 о.е.

Проверка правильности определения х1\*(9.195)

хσ\*= о.е.

**7. Расчет магнитной цепи при нагрузке**

Строим частичные характеристики намагничивания Ф=f(Fбзс), Фσ=f(Fбзс), Фп=f(Fп2) (о.е.).

Строим векторные диаграммы Блонделя по следующим исходным данным: U1=1; I1=1; cos φ=0,8; φ=36,87(отстающий); x=0,069

Рисунок 5 – Диаграмма Блонделя

ЭДС, индуктированная магнитным потоком воздушного зазора

Eб=1,022 о.е.

МДС для воздушного зазора

Fб=0,91 о.е.

МДС для магнитной цепи воздушного зазора и статора

Fбзс=1,043 о.е.

Предварительный коэффициент насыщения магнитной цепи статора

к'нас=Fбзс/Fб=1,043/0,91=1,15.

Поправочные коэффициенты, учитывающие насыщение магнитной цепи

хd=0,95;

хq=0,75;

кqd=0,0029.

Коэффициенты реакции якоря

каd=0,86;

каq=0,4.

Коэффициент формы поля реакции якоря

кфа=1.

Амплитуда МДС обмотки статора (11.125)

Fa=0,45m1w1∙коб1∙I1кфа/р=0,45∙3∙32∙0,93∙360,8∙1/3=4832 А.

Амплитуда МДС обмотки статора в относительных единицах (11.127)

Fф\*= о.е.

Поперечная составляющая МДС реакции якоря, с учетом насыщения, отнесенная к обмотке возбуждения (11.128)

Faq/cosψ=хqkaqFa\*=0,75∙0,4∙2,22=0,67 о.е.

ЭДС обмотки статора, обусловленная действием МДС

Eaq/cosψ=0,77 о.е.

Направление вектора ЭДС Ебd, определяемое построением вектора Еaq/cosψ

ψ=60,36˚;

cosψ=0,495;

sinψ=0,869.

Продольная МДС реакции якоря с учетом влияния поперечного поля (11.130)

F'ad=xdkadFa\*sinψ+kqdFa\*cosψτ/δ=

=0,95∙0,86∙2,22∙0,869+0,0029∙2,22∙0,495∙271,2/2=2 о.е.

Продольная составляющая ЭДС

Eбd\*=Фбd=0,95 о.е.

МДС по продольной оси

Fбd\*=0,95 о.е.

Результирующая МДС по продольной оси (11.131)

Fба\*=Fбd\*+F'ad\*=0,95+2=2,93 о.е.

Магнитный поток рассеяния

Фσ\*=0,24 о.е.

Результирующий магнитный поток (11.132)

Фп\*=Фбd\*+Фσ\*=0,95+0,24=1,19 о.е.

МДС, необходимая для создания магнитного потока

Fп.с=0,29 о.е.

МДС обмотки возбуждения при нагрузке (11.133)

Fп.н\*=Fбф\*+Fпс\*=2,93+0,29=3,22 о.е.

МДС обмотки возбуждения при нагрузке (11.134)

Fп.н=Fп.н\*FΣ(1)=3,22∙2174=7000 А.

**8. Обмотка возбуждения**

Напряжение дополнительной обмотки (1.135)

Ud=U1wd/w1=400∙6/32=75 В.

Предварительная средняя длина витка обмотки возбуждения (11.136)

ℓ'ср.п=2,5 (ℓп+bп)=2,5 (310+98,4)=1021 мм.

Предварительная площадь поперечного сечения проводника обмотки возбуждения (11.173)

S'= мм2.

Предварительное количество витков одной полюсной катушки (11.138)

w'п=.

Расстояние между катушками смежных полюсов (11.139)

ак= мм.

По таблице 10–14 принимаем изолированный медный провод марки ПСД (класс нагревостойкости изоляции F) прямоугольного сечения с двусторонней толщиной изоляции 0,27х0,48 мм, катушка многослойная.

Размеры проводника без изоляции:

а х b=1,35 х 12,5.

Размеры проводника с изоляцией

а’ х b’=1,62 х 12,98.

Площадь поперечного сечения проводника (приложение 2)

S=16,5 мм2.

Предварительное наибольшее количество витков в одном слое

Nв'=(hп-hпр)/(1,05b')= (112–2∙5)/(1,05∙12,98)=7,5.

Предварительное количество слоев обмотки по ширине полюсной катушки

Nш'= w'п/ Nв'=114/7,5=15,2

Выбираем Nш =16 слоев обмотки по ширине полюсной катушки

6 слоев по 8 витков

5 слоев по 7 витков

5 слоя по 6 витков

Уточненное наибольшее количество витков в одном слое (рис 11.22)

Nв =8

Уточненное количество витков одной полюсной катушки (рис. 11.22)

wп=113

Размер полюсной катушки по ширине

bк.п=1,05Nш а’=1,05∙16∙1,62=27,2 мм

Размер полюсной катушки по высоте (11.150)

hк.п=1,05Nв b'=1,05∙8∙12,98=109 мм

Средняя длина витка катушки (11.144)

ℓср.п=2 (ℓп+ bп)+ π(bк+2 (bз+bи).)=2 (310+98,4)+ 3,14 (27,2+7)=924 мм

Ток возбуждения при номинальной нагрузке (11.153)

Iп.н=Fп.н/wп=7000/113=61,4 А.

Количество параллельных ветвей в цепи обмотки возбуждения (§ 11.9)

ап=1.

Уточненная плотность тока в обмотке возбуждения (11.154)

Jп=Iп.н/(апS)=61,4/(1∙16,5)=3,72 А/мм2.

Общая длина всех витков обмотки возбуждения (11.155)

Lп=2рwпℓср.п∙10-3=2∙3∙113∙924∙10-3=632 м.

Массам меди обмотки возбуждения (11.156)

mм.п=γм∙8,9LпS∙10-3=8,9∙632∙16,5∙10-3=92,8 кг.

Сопротивление обмотки возбуждения при температуре 20˚ С (11.157)

rп=Lп/ρм20апS=632/(57∙1∙16,5)=0,672 Ом.

Максимальный ток возбуждения (11.158)

Iпmax=Uп/rпmт=(75–2)/(0,672∙1,38)=78,72 А.

Коэффициент запаса возбуждения (11.159)

Iпmax/Iп.н=1,28.

Номинальная мощность возбуждения (11.160)

Рп=(75–2)∙78,72=5747 Вт.

Рисунок 6 – Эскиз полюса ротора

**9. Параметры обмоток и постоянные времени. Сопротивления обмоток статора при установившемся режиме**

**9.1 Сопротивления обмоток статора при установившемся режиме**

Коэффициент продольной реакции якоря (таблица 11.4)

=0,86

Коэффициент насыщения при Е=0,5

кнас(0,5)=.

МДС для воздушного зазора

Fб(1)=1365 А.

Индуктивное сопротивление продольной реакции якоря (11.162)

хad\*= о.е.

Коэффициент поперечного реакции якоря (таблица 11.4)

кaq=0,4.

Индуктивное сопротивление поперечной реакции якоря (11.163)

хaq\*=о.е.

Синхронное индуктивное сопротивление по продольной оси (11.164)

хd\*=хad\*+хσ\*=2,46+0,0558=2,516 о.е.

Синхронное индуктивное сопротивление по поперечной оси (11.165)

хq\*=хaq\*+хσ\*=1,27+0,0558=1,326 о.е.

**9.2 Сопротивление обмотки возбуждения**

Активное сопротивление обмотки возбуждения, приведенное к обмотке статора (11.166)

 о.е.

Коэффициент магнитной проводимости потоков рассеяния обмотки возбуждения (11.167)

λпΣ=λн.п+0,65λпс+0,38λп.в=57,39+0,65∙79,4+0,38∙11,74=113,5.

Индуктивное сопротивление обмотки возбуждения (11.168)

хп\*=1,27кadхad\*(1+о.е.

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки возбуждения (11.169)

хпσ\*=хп\* – хad\*=2,85–2,46=0,39 о.е.

**9.3 Сопротивления пусковой обмотки**

Относительное зубцовое деление демпферной обмотки (11.170)

t2\*=πt2/τ=3,14∙19,3/271,2=0,223 о.е.

Коэффициент распределения демпферной обмотки (11.171)

кр2=.

Коэффициент магнитной проводимости потока рассеяния по зубцам полюсного наконечника (11.172)

λдз=t2/(gdб)=22,6/(16,5∙2)=0,585.

Коэффициент магнитной проводимости пазового рассеяния полюсов (11.173)

λdп=(0,785-.

Коэффициенты (рисунок 11.23)

Сd=1;

Cq=3,25.

Коэффициент магнитной проводимости рассеяния лобовых частей демпферной обмотки по продольной оси (11.174)

λдлd=0.019τCd/N2=0,019∙271,2∙1/10=0,515.

Коэффициент магнитной проводимости рассеяния лобовых частей демпферной обмотки по поперечной оси (11.175)

λдлq=0., 019τCq/N2=0,019∙271,2∙3,25/10=1,675.

Коэффициент магнитной проводимости рассеяния демпферной обмотки по продольной оси (11.176)

λдd=.

Коэффициент магнитной проводимости рассеяния демпферной обмотки по поперечной оси (11.177)

λдq=.

Индуктивной сопротивление полной демпферной обмотки по продольной оси (11.178)

хдd\*=о.е.

Индуктивной сопротивление полной демпферной обмотки по поперечной оси (11.179)

хдq\*=о.е.

Активное сопротивление стержней демпферной обмотки по продольной оси (11.181)

rcd\*=о.е.;

где μ0=4π∙10-7 Гн/м – магнитная проницаемость воздуха.

Активное сопротивление стержней демпферной обмотки по поперечной оси (11.182)

rcq\*=0,75rcd\*=0,1 о.е.

Активное сопротивление короткозамыкающих колец демпферной обмотки по продольной оси (11.183)

rkd\*= о.е.

Активное сопротивление короткозамыкающих колец демпферной обмотки по поперечной оси (11.184)

rkq\*=1,5rkd\*=0,068 о.е.

Активное сопротивление полной демпферной обмотки по продольной оси (11.185)

rдd\*=rcd\*+rkd\*=0,133+0,068=0,178 о.е.

Активное сопротивление полной демпферной обмотки по поперечной оси (11.186)

rдq\*=rcq\*+rkq\*=0,1+0,068=0,168 о.е.

**9.4 Переходные и сверхпереходные сопротивления обмотки статора**

Переходное индуктивное сопротивление обмотки статора по продольной оси (11.188)

x'd\*=xσ\*+ о.е.

Переходное индуктивное сопротивление обмотки статора по поперечной оси (11.189)

х'q\*=xq\*=1,326 о.е.

Сверхпереходное индуктивное сопротивление обмотки статора по продольной оси (11.190)

x''d\*=xσ\*=о.е.

Сверхпереходное индуктивное сопротивление обмотки статора по поперечной оси (11.191)

x''q\*=xσ\*+о.е.

**9.5 Сопротивления для токов обратной и нулевой последовательности**

Индуктивное сопротивление обмотки статора для токов обратной последовательности при работе машины на малое внешнее сопротивление (11.194)

х2\*=о.е.

Индуктивное сопротивление обмотки статора для токов обратной последовательности при большом внешнем индуктивном сопротивлении (11.195)

х2\*=0,5 (х"d\*+х"q\*)=0,5 (0,141+0,122)=0,132 о.е.

Индуктивное сопротивление двухслойной обмотки статора для токов нулевой последовательности (11.196)

Активное сопротивление обмотки фазы статора для тока нулевой последовательности при рабочей температуре (11.197)

r0\*=r1\*(20)∙mт=0,0216∙1,38=0,03 о.е.

**9.6 Постоянные времени обмоток**

Обмотка возбуждения при разомкнутых обмотках статора и демпферной (11.198)

Тd0=xa\*/w1rп\*=2,85/(2∙π∙50∙0,005)=1,82 с.

Обмотка возбуждения при замкнутых обмотках статора и демпферной (11.199)

Т'd=Td0x’d\*/xd\*=1,82∙0,427/2,516=0,31 с.

Демпферная обмотка при разомкнутых обмотках статора и возбуждения по продольной оси (11.200)

Tдd0=с.

Демпферная обмотка при разомкнутых обмотках статора и возбуждения по поперечной оси (11.201)

Tдq0= с.

Демпферная обмотка по продольной оси при разомкнутой обмотке возбуждения (11.202)

T''d0=с.

Демпферная обмотка по продольной оси при короткозамкнутых обмотке возбуждения и статора (11.203)

T"d=T"d0x''d\*/x'd\*=0.007∙0.141/0.427=0.002 с.

Демпферная обмотка по поперечной оси при короткозамкнутой обмотке статора (11.204)

T"q=Tдq0x"q\*/xq\*=0.025∙0.122/1.326=0.0023 с.

Обмотка статора при короткозамкнутых обмотках ротора (11.205)

Ta=x2\*/w1r1\*=0.131/(2∙3.14∙50∙0.0138)=0.03 с.

**10. Потери и КПД**

Зубцовое деление статора в максимальном сечении зубца (9.128)

t1max=π(D1+2hп)/z1=π (518.2+2∙30.2)/72=25.2 мм.

Расчетная масса стали зубцов статора (9.260)

mз1=7,8z1bз1срhn1ℓ1kc∙10-6=7.8∙72∙13,4∙30,2∙330∙0.95∙10-6=64,8 кг.

Магнитные потери в зубцах статора (9.251)

Pз1=3В2з1срmз1=3∙1,242∙64,8=299 Вт.

Масса стали спинки статора (9.261)

mc1=7.8π(Dн1-hc1) hc1ℓ1kc∙10-6=7.8∙3.14 (660–40,7) 40,7∙300∙0.95∙10-6=176 кг.

Магнитные потери в спинке статора (9.254)

Рс1=3В2с1mc1=3∙1.652∙176=1552 Вт.

Амплитуда колебаний индукции (11.206)

В0=β0кбВб=0,33∙1,219∙0,7=0,28 Тл.

Среднее значение удельных поверхностных потерь (11.207)

рпов=к0(z1n1∙10-4)1.5(0.1В0t1)2=6 (72∙1000∙10-4) 1.5(0.1∙0.28∙22,6)2=46,4 Вт/м2.

Поверхностные потери машины (11.208)

Рпов=2рταℓпрповкп∙10-6=2∙3∙271,2∙0,7∙310∙46,4∙0,6∙10-6=9,83 Вт.

Суммарные магнитные потери (11.213)

РсΣ=Рс1+Рз1+Рпов=1437+299+9,83=1746 Вт.

Потери в обмотке статора (11.209)

Рм1=m1I21r1mт+m1(I'пн/)2rdmт=

=3∙360,82∙0,0138∙1,38+3 (61,4/)20,0039∙1,38=7458 Вт.

Потери на возбуждение синхронной машины при питании от дополнительной обмотки статора (11.214)

Рп=I2пнrп+2Iпн=61,42∙0,733+2∙61,4=3936 Вт.

Добавочные потери в обмотке статора и стали магнитопровода при нагрузке (11.216)

Рдоб=0,005Рн =0,005∙200000=1000 Вт.

Потери на трение в подшипниках и на вентиляцию (11.210)

Р'мх=Рт.п+Рвен=8 ()2()3=8 ()2()3=1113 Вт.

Потери на трение щеток о контактные кольца (11.212)

Рт.щ=2,6IпнD1n1∙10-6=2.6∙61,4∙518,2∙1000∙10-6=83 Вт.

Механические потери (11.217)

Рмх=Р'мх+Ртщ=1113+83=1196 Вт.

Суммарные потери (11.218)

РΣ=РсΣ+Рм1+Рдоб+Рп+Рмх=

=1746+7458+1000+3936+1196=15336 Вт.

КПД при номинальной нагрузке (11.219)

η=1-РΣ/(Р2н+РΣ)=[1–15336/(200000+15336)] ∙100=92,9%.

**11. Характеристики машин**

**11.1 Изменение напряжения генератора**

<30%

**11.2 Отношение короткого замыкания**

Значение ОКЗ (11.227)

ОКЗ=Е'0\*/хd\*=1.18/2.516=0.47 о.е.

Кратность установившегося тока к.з. (11.228)

Ik/I1н=ОКЗ∙Iпн\*=0,47∙3,22=1,51 о.е.

Наибольшее мгновенное значение тока (11.229)

iуд=1,89/х''d\*=1.89/0.141=13,4 о.е.

Статическая перегружаемость (11.223)

S=E'00\*kp/xdcosφн=3,8∙1,02/2,516∙0,8=1,93 о.е., где

E'00\*= E'0\* Iпн\*=1,18∙3,22=3,8 о.е.,

**11.3 Угловые характеристики**

Определяем ЭДС (рис. 11.15 а)

Е'0\*=3,8 о.е.

Определяем уравнение (11.221)

Р\*=(Е'0\*/хd\*) sinθ+0.5 (1/хq\*-1/xd\*) sin2θ=

=3.8/2.516∙sinθ+0.5 (1/1.326–1/2.516) sin2θ=1.51sinθ+0.18sin2θ.

**12. Тепловой и вентиляционный расчеты**

**12.1 Тепловой расчет**

Потери в основной и дополнительной обмотках статора (11.247)

Р'м1=m1m'[I'2r1+(Iпн/) rd]=

=3ּ1,48 [360,82∙0,0138+(61,4/)2∙0,0039)=7998 Вт;

где m'т=1,48 – коэффициент для класса нагревостойкости изоляции В (§ 5.1).

Потери на возбуждение синхронной машины при питании от дополнительной обмотки статора

P П= Iпн2ּ r П+2 Iпн=61,42ּ0,733+2∙61,4=4213 Вт

Условная внутренняя поверхность охлаждения активной части статора (9.379)

Sn1=πD1ℓ1=πּ518,2ּ300=4,88∙105 мм2.

Условный периметр поперечного сечения (9.381)

П1=2 (hn1+bп1)=2 (30,2+14,3)=89 мм.

Условная поверхность охлаждения пазов (9.382)

Sи.п1=z1П1ℓ1=72ּ89ּ300=19,22∙105 мм2.

Условная поверхность охлаждения лобовых частей обмотки (9.383)

Sл1=4πD1ℓ1=4ּπּ518,2ּ135,8=8,84∙105 мм2.

Условная поверхность охлаждения двигателей с охлаждающими ребрами на станине (9.384)

Sмаш=πDн1(ℓ1+2ℓВ1)=πּ660 (300+2ּ135,8)=11,85∙105 мм2.

Удельный тепловой поток от потерь в активной части обмотки и от потерь в стали, отнесенных к внутренней поверхности охлаждения активной части статора (9.386)

рп1= Вт/мм2,

где к=0,76 – коэффициент (таблица 9.25).

Удельный тепловой поток от потерь в активной части обмотки и от потерь в стали, отнесенных к поверхности охлаждения пазов (9.387)

ри.п1= Вт.

Удельный тепловой поток от потерь в активной части обмотки и от потерь в стали, отнесенных к поверхности охлаждения лобовых частей обмотки (9.388)

рл1= Вт.

Окружная скорость ротора (9.389)

v2= м/с.

Превышение температуры внутренней поверхности активной части статора над температурой воздуха внутри машины (9.390)

Δtп1=46,5°С,

где α1=17,5ּ10-5 Вт/мм2ּград – коэффициент теплоотдачи поверхности статора.

Односторонняя толщина изоляции в пазу статора (§ 9.13)

bи1=(bп1-Nшb)/2=(14,3–1∙2,8)/2=4,35 мм.

Перепад температуры в изоляции паза и катушек из круглых проводов (9.392)

Δtи.п1=°С.

Превышение температуры наружной поверхности лобовых частей обмотки над температурой воздуха внутри двигателя (9.393)

Δtл1=рл1/α1=5,12∙10-3/17,5ּ10-5=29°С.

Перепад температуры в изоляции лобовых частей катушек из круглых проводов (9.395)

Δtи.л1=рл1=5,12∙10-338,4 °С.

Среднее превышение температуры обмотки над температурой воздуха внутри двигателя (9.396)

Δt'1=(Δtп1+Δtи.п1)+(Δtл1+Δtи.п1) =(46,5+49,2)+(29+38,4)°С.

Потери в двигателе, передаваемые воздуху внутри машины (9.397)

Р'Σ=к(Р'м1+РсΣ)+Р'м1+Р'м2+РмхΣ+Рд=0,76 (7998Вт.

Среднее превышение температуры воздуха внутри двигателя над температурой наружного воздуха (9.399)

Δtв=°С.

Среднее превышение температуры обмотки над температурой наружного воздуха (9.400)

Δt1=Δt'1+Δtв=79,7+10,4=90,1°С.

**12.2 Обмотка возбуждения**

Условная поверхность охлаждения многослойных катушек из изолированных проводов (11.249)

Sп2=2рℓср.пhк=2∙2∙924∙130=72,1∙104 мм2.

Удельный тепловой поток от потерь в обмотке, отнесенных к поверхности охлаждения обмотки (11.250)

рп=кРп/Sп2=0,9∙4213/72,1∙104=52,6∙10-4 Вт/мм2.

Коэффициент теплоотдачи катушки (§ 11.13)

αТ=(3+0,42∙26,9)∙10-5=14,3∙10-5 Вт/(мм2 ˚С).

Превышение температуры наружной поверхности охлаждения обмотки (11.251)

Δtпл=рп/αТ=52,6∙10-4/(14,3∙10-5)=36,8 ˚С.

Перепад температуры в наружной и внутренней изоляции многослойных катушек из изолированных проводов

Δtип= рп=52,6∙10-4=13,2 ˚С.

Среднее превышение температуры обмотки над температурой воздуха внутри машины (11.253)

ΔtB2=Δt'n+Δtип=60 ˚С.

Среднее превышение температуры обмотки над температурой охлаждающего воздуха (11.254)

Δtп=Δt'п+Δtв=60+10,4=70,4˚ С.

**12.3 Вентиляционный расчет**

Необходимый расход воздуха (5.28)

Vв= м3/с.

Расход воздуха (5.44)

V'в=к1(Dн2/100)2ּ10-2=3,5 (514,2/100)2 ּ10-2=0,93 м3/с;

где к1=3,5 – коэффициент, зависящий от частоты вращения.

Напор воздуха (5.41)

Н=7,85 (n1/1000)2(Dн2/100)2=7,85 (1000/1000)2(514,2/100)2=208 Па.

**13. Масса и динамический момент инерции**

**13.1 Масса**

Масса стали сердечника статора (11.255)

mс1Σ=mз1+mс1=64,8+176=240,8 кг.

Масса стали полюсов (11.256)

mсп=7,8∙10-6ксℓп(bпh'п+ккbнпhнп) 2 р=7,8∙10-6∙0,98∙310 (98,4∙112+0,8∙185∙33)∙6=37,7 кг.

Масса стали сердечника ротора (11.257)

mс2=6,12кс10-6ℓ1[(2,05hс2+D2)2-D2]=6,12∙0,98∙10-6∙300 [(2,05∙42+140) 2-140]=56,7 кг.

Суммарная масса активной стали статора и ротора (11.258)

mсΣ=mсзΣ+mсп+mс2=240,8+37,7+56,7=335,2 кг.

Масса меди обмотки статора (11.259)

mм1=8,9∙10-6m1(a1w1ℓср1S0+adwdℓсрдSэфд)=8,9∙10-6∙3 (3∙32∙1382,4∙4,677+2∙6∙1382,4∙4,677)=18,6 кг.

Масса меди демпферной обмотки (11.260)

mмд=8,9∙10-62 р(N'2Sℓ'ст+b'нпSс+0,6SсСп)=8,9∙10-6∙6 (10∙26,26∙355+185∙52,27+0,6∙52,27∙2)=5,5 кг.

Суммарная масса меди (11.261)

mмΣ= mм1+ mмп + mмд =18,6+92,8+5,5=116,9 кг.

Суммарная масса изоляции (11.262)

mи=(3,8D1.5н1+0,2Dн1ℓ1) 10-4=(3,8∙6601,5+0,2∙660∙300)∙10-4=10,4 кг.

Масса конструкционных материалов (11.264)

mк=АDн1+В=0,32∙660+400=611,2 кг.

Масса машины (11.265)

mмаш=mсΣ+mмΣ+mи+mк=335,2+116,9+10,4+611,2=1073,7 кг.

**13.2 Динамический момент инерции ротора**

Радиус инерции полюсов с катушками (11.266)

Rп.ср=0,5 [(0,5D21+(0.85÷0.96) (0.5D2+hc2)2]∙106=0.5 [(0.5∙518,22+0.85 (0.5∙140+42)2]∙10-6=0.072 м.

Динамический момент инерции полюсов с катушками (11.267)

Jп=(mсп+mмп+mмd) 4R2п.ср=(37,7+83+5,5) 4∙0,0722=2,6 кг/м2.

Динамический момент инерции сердечника ротора (11.268)

Jс2=0,5mс2∙10-6[(0,5D2+hс2)2 – (0,5D2)2]=0,5∙56,7∙10-6[(0,5∙140+42)2 – (0,5∙140)2]=0,22 кг/м2.

Масса вала (11.269)

mв=15∙10-6ℓ1D22=15∙10-6∙300∙1402=88,2 кг.

Динамический момент инерции вала (11.270)

Jв=0,5mв(0,5D2)210-6=0,5∙88,2 (0,5∙140)2∙10-6=0.22 кг/м2.

Суммарный динамический момент инерции ротора (11.271)

Jи.д=Jn+Jc2+Jв=2,6+0,22+0,22=3,04 кг/м2.

**Список литературы**

1. Антонов М.В. Технология производства электрических машин. – М.: Энергоатомиздат, 1993. -590 с.
2. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя. - М.; Машиностроение. 1978
3. Гольдберг О.Д. Проектирование электрических машин – М.: Высшая школа, 2001
4. Копылов И.П. Проектирование электрических машин – М.: Высшая школа, 2002
5. Электротехнический справочник – Под ред. Орлова И.Н. – М.; Энергоатомиздат 1986
6. Проектирование синхронных машин средней мощности: Методические указания к выполнению курсового проекта по дисциплине «Инженерное проектирование и САПР электромагнитных устройств и электромеханических преобразователей» / Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; Сост. Н.Л. Бабикова. − Уфа, 2008. – 38 с.
7. Введение в конструирование электромеханических преобразователей энергии: учеб. пособие / Исмагилов Ф.Р., Афанасьев Ю.В., Стыскин А.В. – М.: Изд-во МАИ, 2006. – 130 с.