

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)
Политехнический институт
Факультет «Энергетический»
Кафедра «Теоретические основы электротехники»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
_____ С.А. Ганджа
_____ 2019 г.

**РАЗРАБОТКА СТАРТЕР-ГЕНЕРАТОРА ПОСТОЯННОГО ТОКА 19 КВТ
ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОГО ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА**

**ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ – 13.03.02.2019.180. ПЗ ВКР**

Руководитель работы,
доцент, к.т.н,
_____ Н.Ю.Сидоренко
_____ 2019 г.

Автор работы
студент группы П-473
_____ А.Р. Хуснутдинова
_____ 2019 г.

Нормоконтроллер, доцент, к.т.н,
_____ Н.Ю.Сидоренко
_____ 2019 г.

АННОТАЦИЯ

Хуснутдинова А.Р. Разработка стартер-генератора 19 кВт для специального транспортного средства – Челябинск: ЮУрГУ, Политехнический институт, Энергетический; 2019, 46 с., 13 ил., 3 табл., библиогр. список – 6 наим.

В данной выпускной квалификационной работе разработан стартер-генератор в режиме генератора постоянного тока мощностью 19 кВт по габаритным размерам стартера генератора 18 кВт. Стартер-генератор - электрическая машина, работающая в двух режимах: стартерном - в качестве вращения вала дизеля во время пуска; генераторном - в качестве вспомогательного генератора постоянного тока, обеспечивающего питание электрических цепей управления, электродвигателей собственных нужд. Для данной работы были предоставлены чертежи, по которым выполнен проверочный расчет выбора размеров по методике И.П.Копылова; разработаны модели в программе *Maxwell*.

В специальном вопросе представлено трехмерное твердотельное моделирование основных сборочных единиц генератора, определяющие его мощность, в программе *Solidworks*.

При разработке квалификационной работы были использованы следующие программные средства: *MathCad, Microsoft Office, SolidWorks, Maxwell*.

					<i>130302.2019.180.ПЗ.ВКР</i>			
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	<i>Разработка стартера-генератора 19 кВт для специального транспортного средства</i>	Лит	Лист	Листов
Разраб.	Хуснутдинова						4	45
Провер.	Сидоренко					<i>ЮУрГУ</i>		
Н.контр	Сидоренко					<i>Кафедра ТОЭ</i>		
Утв.	Ганджа							

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	8
1.1 Назначение, расположение и устройство стартера-генератора.....	8
1.2 Выбор направления решения поставленной задачи.....	9
2 ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ РАСЧЕТ.....	10
2.1 Выбор главных размеров.....	10
2.2 Выбор обмотки якоря.....	12
2.3 Расчет геометрии зубцовой зоны.....	13
2.4 Расчет обмотки якоря.....	16
2.5 Определение магнитной цепи.....	17
2.6 Расчетные сечения магнитной цепи.....	19
2.7 Средние длины магнитных линий.....	20
2.8 Индукция в расчетных сечениях магнитной цепи.....	20
2.9 Магнитные напряжения.....	22
2.10 Расчет параллельной обмотки возбуждения.....	24
2.11 Коллектор и щетки.....	25
2.12 Коммутационные параметры.....	27
2.13 Расчет обмотки добавочных полюсов.....	29
2.13.1 Потери и КПД.....	30
3 МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОГРАММЕ ANSYS MAXWELL.....	34
3.1 Обзор пакета ANSYS Maxwell.....	34
3.2 Моделирование стартера-генератора 18 кВт в программе Maxwell.....	35
3.3 Моделирование стартера-генератора 19 кВт в программе Maxwell.....	38
4 СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВОПРОС.....	42

4.1 Разработка 3D модели в программе <i>SolidWorks</i>	42
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	45
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	46

					<i>130302.2019.180.ПЗ.ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		5

ВВЕДЕНИЕ

Стартер-генератор - это электрическая машина, работающая в двух режимах: стартерном - в качестве вращения вала дизеля во время пуска; генераторном - в качестве вспомогательного генератора постоянного тока, обеспечивающего питание электрических цепей управления, электродвигателей собственных нужд.. В последнее время повысились требования к энергообеспечению автономного объекта. Существующий СГ-18-1С обеспечивает выходную мощность 18 кВт. Он представляет собой при работе в генераторном режиме - генератор постоянного тока параллельного возбуждения с 6 главными полюсами.

Целью данной работы является проработка возможностей получения выходной мощности генератора 19 кВт при неизменных габаритах машины стартера-генератора 18 кВт. Для этого за основу были взяты чертежи стартера-генератора 18 кВт.

Актуальность темы выпускной квалификационной работы подтверждается заказом заводу "НПО Электромашина" разработки стартера-генератора мощность 19 кВт.

Сейчас предприятие "НПО Электромашина" занимается поисками целесообразного решения поставленной задачи, чтобы при этом производство не понесло материальные потери.

Задача данной работы заключается в том, чтобы найти и предложить заводу "НПО Электромашина" возможные пути решения данной проблемы.

Научная новизна дипломной работы заключается в разработке стартера-генератора 19 кВт для специального транспортного средства. Сложность расчета состоит в том, что должны быть сохранены габаритные размеры.

Введение раскрывает актуальность, определяет цель исследования, раскрывает теоретическую и практическую значимость работы. В первой главе выполнен аналитический обзор. Во второй главе проведен электромагнитный расчет генератора постоянного тока выходной мощностью 18 кВт. Расчет

					<i>130302.2019.180.ПЗ.ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм/Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			6

производился исходя из существующих геометрических размерах машины. В третьей главе проведен: 1) расчет в программе Maxwell генератора с измененным сечением проводов в обмотке параллельного возбуждения, установки 6 добавочных полюсов с уменьшением их геометрических размеров по сравнению с исходной конфигурацией. 2) расчет в программе Maxwell генератора с заменой электромагнитных главных полюсов на полюса, выполненные на постоянных магнитов. Четвертая глава посвящена моделированию 3D модели в программе SolidWorks. В заключении подводятся итоги рассмотренных вариантов решения поставленной задачи.

					<i>130302.2019.180.ПЗ.ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		7

1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

1.1 Назначение, расположение и устройство стартера-генератора

Стартер-генератор СГ-18-1С предназначен в стартерном режиме для пуска двигателя, в генераторном режиме - для питания потребителей электрической энергии и подзаряда аккумуляторных батарей при работающем двигателе.

Стартер-генератор располагается в силовом отделении танка, как указывается в литературе [2], на кронштейне, приваренном к подмоторному фундаменту и крепится хомутами с помощью болтов, которые предназначены специально для крепления. Чтобы стартер-генератор не вращался, его специально фиксируют штифом. Сверху стартера-генератора устанавливается козырек, который защищает его от теплового воздействия двигателя.

Так как стартер-генератор располагается в силовом отделении танка, он должен быть малых габаритов. Как правило, доступ к стартер генератору затруднен, поэтому он должен работать надежно в условиях повышенных механических нагрузок и при высокой температуре окружающей среды.

Устройство стартера-генератора состоит из нижеприведенных частей (рис. 1): корпуса 9, якоря 8, крышки со стороны коллектора 5, крышки со стороны привода 2, вентилятора 33

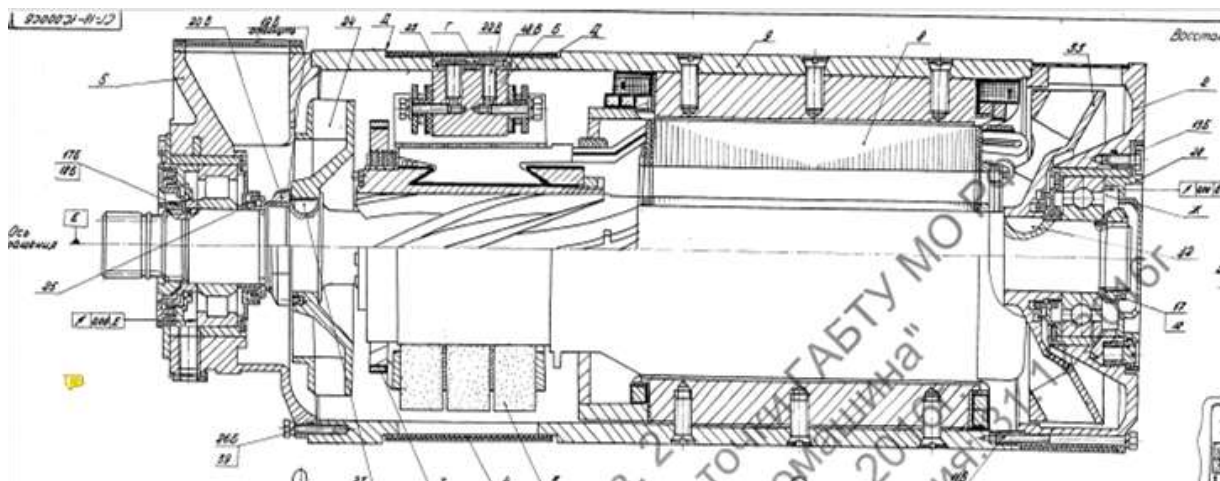


Рисунок 1 - Продольный разрез стартера-генератора.

Корпус состоит из станины и основных и добавочных полюсов. Полюса прикрепляются к внутренней части станины специализированными винтами.

Изм/Лист	№ докум.	Подпись	Дата

130302.2019.180.ПЗ.ВКР

Лист

8

Якорь 8 собирается из сердечника и коллектора, насаженных на общий вал. Сердечник якоря набирается из электротехнической стали. Для уменьшения потерь на вихревые токи изолируют пластины окалиной. С целью обеспечения хорошего охлаждения, в сердечнике имеются вентиляционные каналы.

Обмотка якоря волновая, выполнена из медного провода, изолированного стеклотканью, закреплена в пазах клиньями и пропитана кремнийорганическим лаком.

Крышки со стороны коллектора и со стороны привода служат для размещения подшипников и являются опорами вала якоря.

Вентилятор 33 установлен на шпонке на валу якоря со стороны привода и нужен для охлаждения стартера-генератора.

1.2 Выбор направления решения поставленной задачи

Как отмечалось ранее, задача данной работы заключается в том, чтобы найти и предложить заводу "НПО Электромашина" возможные пути решения повышения мощности при габаритах стартера-генератора 18 кВт.

Для того, чтобы повысить мощность стартера-генератора 18 кВт с неизменными габаритными размерами до 19 кВт можно рассмотреть вариант:

- 1) уменьшить сечение провода;
- 2) увеличить значение индукции

Далее в работе проанализируем выбранный вариант и сделаем вывод.

					<i>130302.2019.180.ПЗ.ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм/Лист</i>		<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		9

2 ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ РАСЧЕТ

Для расчета электрической машины были предоставлены чертежи СГ-18-1С, которые показаны в приложении А.

При разработке электрической машины задан ряд исходных величин, которые являются номинальными данными спроектированной машины. Расчет производится в соответствии с методикой И.П. Копылова [2]. Для машины постоянного тока такими данными являются следующие:

номинальная мощность $P_H=18.0$ кВт;

номинальное напряжение $U_H=28.5$ В;

число пар полюсов $2p=6$;

номинальная частота вращения $n_H=5600$ об/мин;

высота оси вращения $h=105 \cdot 10^{-3}$ м;

исполнение по степени защиты IP22, по способу охлаждения - самовентиляция(IC01);

изоляция класса нагревостойкости В.

2.1 Выбор главных размеров

Определяем значение тока якоря по формуле (1).

$$I_H = (1 - k_B) \cdot \frac{P_H}{U_H}, \quad (1)$$

где $k_B = 0.03$ - коэффициент, определяющий отношение тока возбуждения к току якоря

$$I_H = (1 - 0.3) \cdot \frac{18000}{28.5} = 650.526 \text{ (A)},$$

Электромагнитную мощность определим по формуле (2).

$$P^* = P_H \cdot k_T, \quad (2)$$

					<i>130302.2019.180.ПЗ.ВКР</i>	Лист
						10
Изм/Лист	№ докум.	Подпись	Дата			

где $k_r=1.14$ - коэффициент, характеризующий группу стали по обрабатываемости

$$P' = 18000 \cdot 1.14 = 20520 \text{ (Вт)}$$

Диаметр якоря по чертежу составляет $D=0.1425$ м

Выбираем линейную нагрузку $A=17172$ А/м

Индукция в воздушном зазоре принимает значение $B_\delta=0.6$ Тл

Расчетный коэффициент полюсной дуги равен $\alpha_\delta=0.587$

Примем расчетную длину якоря по формуле (3)

$$l_\delta = \frac{6.1 \cdot P'}{\alpha_\delta \cdot B_\delta \cdot n_H \cdot A \cdot D^2} \quad (3)$$

$$l_\delta = \frac{6.1 \cdot 20520}{0.587 \cdot 0.6 \cdot 5600 \cdot 17172 \cdot 0.1425^2} = 0.182 \text{ (м)}$$

Расчетная длина якоря сходится со значением выданного чертежа.

Отношение длины магнитопровода якоря к его диаметру определяется по формуле (4). При выборе данного отношения нужно знать, что при увеличении длины машины, уменьшается длина лобовых частей и возрастает КПД, за счет чего ухудшаются условия коммутации машины и условия охлаждения.

$$\lambda = \frac{l_\delta}{D} \quad (4)$$

$$\lambda = \frac{0.182}{0.1425} = 1.277 \text{ (м)}$$

Полюсное деление при $2p=6$ примем по формуле (5)

$$\tau = \frac{\pi \cdot D}{2p} \quad (5)$$

$$\tau = \frac{\pi \cdot 0.1425}{6} = 0.075 \text{ (м)}$$

2.2 Выбор обмотки якоря

Определим ток одной параллельной ветви по формуле (6)

$$I_a = \frac{I_H}{2a}, \quad (6)$$

где $2a=6$ - количество параллельных ветвей

$$I_a = \frac{650.5}{6} = 108.421 \text{ (A)}$$

При токе якоря до 600 А выбирают простую волновую обмотку. Выбираем простую волновую что и сходится с чертежом.

По выданному чертежу число параллельных ветвей составляет $2a=6$

Принимаем количество пазов $Z=57$; $tz1 = \frac{\pi D}{Z} = \frac{0.1425\pi}{57} = 0.007$

Общее число проводников рассчитывается по формуле (7)

$$N = N_n \cdot Z, \quad (7)$$

где $N_n=2$ - количество проводников в пазу

$$N = 2 \cdot 57 = 114$$

Число коллекторных пластин K , напряжение между двумя коллекторными пластинами $U_{к.ср}$, целое число витков в секции, число секции в обмотке якоря представлены в таблице 1.

Таблица 1

u_n	$K = u_n \cdot Z$	$w_c = \frac{N}{2K}$	$U_{к.ср} = \frac{2p \cdot U_H}{K}$
1	57	1	3

Окружная скорость коллектора показана в формуле (8)

$$v = \frac{\pi \cdot D_k \cdot n_n}{60}, \quad (8)$$

где $D_k=0.113\text{м}$ - диаметр коллектора

$$v = \frac{\pi \cdot 0.113 \cdot 5600}{60} = 33.427 \text{ (м/с)}$$

Коллекторное деление - формула (9)

$$t_k = \frac{\pi \cdot D_k}{K} \quad (9)$$

$$t_k = \frac{\pi \cdot 0.113}{57} = 0.006 \text{ (м)}$$

Полный ток паза, который не должен превышать значения 1500...1600 А рассчитан по формуле (10)

$$I_H = \frac{\pi \cdot D \cdot A}{Z} \quad (10)$$

$$I_H = \frac{\pi \cdot 0.1425 \cdot 17172}{57} = 134.869 \text{ (м)}$$

Рассчитываем значение плотности тока в обмотке якоря по (11)

$$J_a = \frac{A J_a}{A} \quad (11)$$

где $A J_a = 1.49 \cdot 10^{11} \text{ A}^2/\text{м}$ - зависимость произведения AJ от диаметра якоря

$$J_a = \frac{1.49 \cdot 10^{11}}{17172} = 8.67 \cdot 10^6 \text{ (A/м}^2\text{)}$$

Принимаем обмотку с прямоугольными проводниками: марка провода ПЭТВП2.8x4.75 ТУ16-705.457-87, размер провода с наименьшей стороны $a = 2.8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, размер провода с наибольшей стороны $b = 4.75 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, сечение эффективного проводника $q = 12.75 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$.

2.3 Расчет геометрии зубцовой зоны

Сечение Полузакрытого паза (за вычетом пазового клина и сечения пазовой изоляции) рассчитывается по формуле (12)

$$S = \frac{N_n \cdot n_H \cdot a \cdot b}{k_3}, \quad (12)$$

где $k_3 = 0.72$ - коэффициент заполнения паза

					<i>130302.2019.180.ПЗ.ВКР</i>	Лист
						13
Изм/Лист	№ докум.	Подпись	Дата			

$$S = \frac{2 \cdot 5600 \cdot 0.0028 \cdot 0.00475}{0.72} = 3.64 \cdot 10^{-5} \text{ (м}^2\text{)}$$

Из предложенных чертежей приложения А возьмем:

высота паза $h_p=0.01325$ м,

высота шлица паза $h_w=0.0013$ м,

ширина шлица $b_w=0.0018$ м

Ширину зубца найдем по формуле (13)

$$b_z = \frac{B\delta \cdot tz_1}{B_z \cdot k_c} \quad (13)$$

где $k_c=0.95$ - коэффициент заполнения магнитопровода якоря сталью,

$B_z=1.65$ - допустимое значение индукции в стали зубца, при частоте перемагничивания стали зубцов, рассчитанное по формуле (14)

$$f = \frac{p \cdot n_H}{60} \quad (14)$$

$$f = \frac{3 \cdot 5600}{60} = 280 \text{ (Гц)}$$

получим:

$$b_z = \frac{0.6 \cdot 0.008}{1.65 \cdot 0.95} = 0.003$$

Минимальное сечение зубцов якоря находим по формуле (15)

$$S_z = \frac{Z \cdot \alpha\delta \cdot b_z \cdot l\delta \cdot k_c}{2p} \quad (15)$$

$$S_z = \frac{57 \cdot 0.57 \cdot 0.003 \cdot 0.182 \cdot 0.95}{6} = 0.003 \text{ (м}^2\text{)}$$

Эскиз паза представлен на рисунке 2.

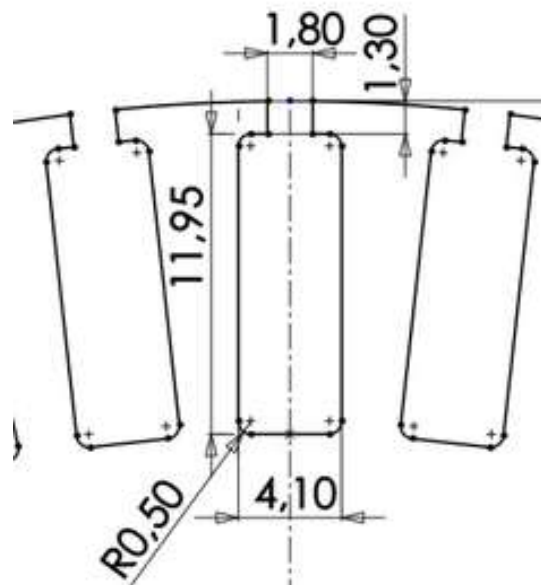


Рисунок 2 - Эскиз паза

Предварительное значение ЭДС определяем по формуле (16)

$$E_H = U_H \cdot k_d, \quad (16)$$

где $k_d=0.86$

$$E_H = 28.5 \cdot 0.86 = 24.5 \text{ (В)}$$

Предварительное значение магнитопровода потока на один полюс рассчитывается по формуле (17)

$$\Phi_{\delta H} = \frac{60 \cdot E_H \cdot a}{p \cdot N \cdot n_H} \quad (17)$$

$$\Phi_{\delta H} = \frac{60 \cdot 24.5 \cdot 3}{3 \cdot 114 \cdot 5600} = 0.002 \text{ (Вб)}$$

Принимаем сталь 40Х, но по методике [2] приблизительно к значениям данной стали подходит сталь марки 1411. Индукция в сечении зубцов рассчитывается по формуле (18)

$$B_z = \frac{\Phi_{\delta H}}{S_z} \quad (18)$$

$$Bz = \frac{0.002}{0.003} = 0.795 \text{ (Тл)} \quad (18)$$

2.4 Расчет обмотки якоря

Длина лобовой части витка находится по (19)

$$l_L = 1.2 \cdot \tau \quad (19)$$

$$l_L = 1.2 \cdot 0.075 = 0.09 \text{ (м)}$$

Определяем среднюю длину витка по формуле (20)

$$l_{a.cр} = 2(l_L + l_\delta) \quad (20)$$

$$l_{a.cр} = 2(0.09 + 0.182) = 0.543 \text{ (м)}$$

Полная длина обмотки якоря, которая зависит от числа проводников, находится по формуле (21)

$$L_{ma} = \frac{N}{2} \cdot l_{a.cр} \quad (21)$$

$$L_{ma} = \frac{114}{2} \cdot 0.543 = 30.955 \text{ (м)}$$

Сопротивление обмотки якоря при температуре 20°C находится по формуле (22)

$$R_a = \frac{L_{ma}}{57 \cdot 10^6 \cdot q \cdot 2a} \quad (22)$$

$$R_a = \frac{30.955}{57 \cdot 10^6 \cdot 12.75 \cdot 6} = 0.007 \text{ (м)}$$

Сопротивление - при температуре 75 °C определяем по формуле (23)

					<i>130302.2019.180.ПЗ.ВКР</i>	Лист
						16
Изм/Лист	№ докум.	Подпись	Дата			

$$R_{an} = 1.22R_a \quad (23)$$

$$R_{an} = 1.22 \cdot 0.007 = 0.009 \text{ (м)}$$

Масса меди обмотки рассчитывается по формуле (24)

$$m_a = 8900 \cdot L_{ma} \cdot q \quad (24)$$

$$m_a = 8900 \cdot 30.955 \cdot 12.75 \cdot 10^{-6} = 3.513 \text{ (кг)}$$

2.5 Определение магнитной цепи

Значение внутреннего диаметра якоря и диаметра вала:

$$D_0 = 0.048 \text{ (м)}$$

Высота спинки якоря по формуле (25)

$$h_j = \frac{D - D_0}{2} - h_{п} \quad (25)$$

$$h_j = \frac{0.1425 - 0.048}{2} - 0.01325 = 0.034 \text{ (м)}$$

Принимаем для сердечников главных полюсов сталь 10, как сказано в выданных чертежах

Ширина сердечника главного полюса рассчитывается по формуле (26)

$$b_g = b_p - b_{г.в.1} - b_{г.в.р} \quad (26)$$

где $b_{г.в.1} = 0.004$ м - ширина выступа наконечника главного полюса справа

$b_{г.в.р} = 0.0159$ - ширина выступа наконечника главного полюса слева

$b_p = 0.0438$ - ширина наконечника

$$b_g = 0.0438 - 0.004 - 0.0159 = 0.024 \text{ (м)}$$

Индукция в сердечнике равна (27)

$$B_g = \frac{\sigma_g \cdot \Phi_{\delta_H}}{k_c \cdot b_g \cdot l_g'} \quad (27)$$

где $\sigma_g = 1.2$ - коэффициент рассеяния

$$B_g = \frac{1.2 \cdot 0.002}{0.95 \cdot 0.024 \cdot 0.18} = 0.638 \text{ (Тл)}$$

Сечение станины определяем по формуле (28)

$$S_c = \frac{\sigma_g \cdot \Phi_{\delta_H}}{2B_c} \quad (28)$$

$$S_c = \frac{1.2 \cdot 0.002}{2 \cdot 0.85} = 0.002 \text{ (м}^2\text{)}$$

Длина станины определяется формулой (29)

$$l_c = l_g + 0.4 \cdot D \quad (29)$$

$$l_c = l_g + 0.4 \cdot D = 0.24 \text{ (м)}$$

Высота станины примем $h_c = 0.01$ м., тогда внутренний диаметр, расчет которого представлен в формуле (30) составляет

$$d_c = D_{вн} - 2h_c, \quad (30)$$

где $D_{вн} = 0.215$ - внешний диаметр станины

$$d_c = 0.215 - 2 \cdot 0.01 = 0.195 \text{ (м)}$$

Исходя из значений диаметра станины и высоты, по формуле (31) находим высоту главного полюса

$$hg = \frac{dc-D-2\delta}{2}, \quad (31)$$

где $\delta=0.25 \cdot 10^{-3}$ - воздушный зазор

$$hg = \frac{0.195 - 0.1425 - 2 \cdot 0.25 \cdot 10^{-3}}{2} = 0.026 \text{ (м)}$$

2.6 Расчетные сечения магнитной цепи

Сечение воздушного зазора рассчитывается по формуле (32)

$$S\delta = b_p \cdot l\delta \quad (32)$$

$$S\delta = 0.024 \cdot 0.182 = 0.008 \text{ (м)}$$

Длина стали якоря равна:

$$l_{st} = l\delta = 0.182$$

Сечение спинки якоря находим по формуле (33)

$$S_j = l_{st} \cdot h_j \quad (33)$$

$$S_j = 0.182 \cdot 0.034 = 0.006 \text{ (м)}$$

Считаем сечение сердечников главных полюсов по формуле (34)

$$S_g = k_c \cdot l_g \cdot b_g \quad (34)$$

$$S_g = 0.95 \cdot 0.180 \cdot 0.024 = 0.004 \text{ (м}^2\text{)}$$

2.7 Средние длины магнитных линий

Коэффициент воздушного зазора, учитывающий наличие пазов овальной формы на якоре считается по формуле (35)

$$k\delta_a = \frac{tz1 + 10\delta}{tz1 - bw + 10\delta} \quad (35)$$

$$k\delta_a = \frac{0.008 + 10 \cdot 0.25 \cdot 10^{-3}}{0.008 - 0.002 + 10 \cdot 0.25 \cdot 10^{-3}} = 1.21$$

Далее рассчитываем длину воздушного зазора по формуле (36)

$$L\delta = k\delta_a \cdot \delta \quad (36)$$

$$L\delta = 1.21 \cdot 0.25 \cdot 10^{-3} = 0.302 \text{ (м)}$$

Длина магнитной линии в сердечнике главного полюса:

$$L_g = h_g = 0.026 \text{ (м)}$$

Длину магнитной линии в станине считаем по формуле (37)

$$L_c = \frac{\pi(D_{вн} - h_c)}{4p} + \frac{h_c}{2} \quad (37)$$

$$L_c = \frac{\pi(0.215 - 0.01)}{12} + \frac{0.01}{2} = 0.059 \text{ (м)}$$

2.8 Индукция в расчетных сечениях магнитной цепи

Индукция в воздушном зазоре представлена по формуле (38)

					<i>130302.2019.180.ПЗ.ВКР</i>	Лист
						20
Изм/Лист	№ докум.	Подпись	Дата			

$$B\delta_n = \frac{\Phi\delta_n}{S\delta} \quad (38)$$

$$B\delta_n = \frac{0.002}{0.008} = 0.29 \text{ (Тл)}$$

Индукция в сечении зубцов - (39)

$$B_z = \frac{\Phi\delta_n}{S_z} \quad (39)$$

$$B_z = \frac{0.002}{0.003} = 0.795 \text{ (Тл)}$$

Индукция в спинке якоря - (40)

$$B_j = \frac{\Phi\delta_n}{S_j} \quad (40)$$

$$B_j = \frac{0.002}{0.006} = 0.186 \text{ (Тл)}$$

Индукция в сердечнике главного полюса - (41)

$$B_g = \frac{\Phi\delta_n \cdot \sigma_g}{S_g} \quad (41)$$

$$B_g = \frac{0.002 \cdot 1.2}{0.004} = 0.638 \text{ (Тл)}$$

Индукция в станине - (42)

$$B_c = \frac{\Phi\delta_n \cdot \sigma_g}{2S_c} \quad (42)$$

$$B_c = \frac{0.002 \cdot 1.2}{2 \cdot 0.002} = 0.85 \text{ (Тл)}$$

2.9 Магнитные напряжения

Магнитное напряжение воздушного зазора рассчитываем по формуле (43)

$$F_\delta = 0.8 \cdot B_\delta n \cdot L_\delta \cdot 10^6 \quad (43)$$

получаем:

$$F_\delta = 0.8 \cdot 0.29 \cdot 0.302 \cdot 10^6 = 69.958 \text{ (А)}$$

Коэффициент вытеснения потока (44)

$$k_z = \frac{t_{z1} \cdot l_\delta}{b_z \cdot l_{st}} \quad (44)$$

$$k_z = \frac{0.008 \cdot 0.182}{0.024 \cdot 0.182} = 2.6$$

Магнитное напряжение зубцов якоря (45)

$$F_z = H_z \cdot L_z, \quad (45)$$

где $H_z=130$ А/м определяется для стали марки 40Х, которое близкое по методике [2] к стали марки 1411

$$F_z = 130 \cdot 0.013 = 1.665 \text{ (А)}$$

Магнитное напряжение ярма якоря (46)

$$F_j = H_j \cdot L_j, \quad (46)$$

где $H_j=44$ А/м определяется для стали марки 40Х, которое близкое по методике [2] к стали марки 1411

$$F_j = 44 \cdot 0.038 = 1.693 \text{ (A)}$$

Магнитное напряжение сердечника главного полюса (47)

$$F_g = H_g \cdot L_g, \quad (47)$$

где $H_g=320$ А/м определяется для стали марки 10, которое близкое по методике Копылова к стали марки СТЗ

$$F_g = 320 \cdot 0.026 = 8.32 \text{ (A)}$$

Магнитное напряжение воздушного зазора между главным полюсом и станиной (48)

$$F_{cp} = 0.8B_g \cdot L_{cp} \cdot 10^6 \quad (48)$$

$$F_{cp} = 0.8 \cdot 0.638 \cdot 0.54 \cdot 10^6 = 69.948 \text{ (A)}$$

Магнитное напряжение станины (49)

$$F_c = H_c \cdot L_c, \quad (49)$$

где $H_c=1590$ А/м определяется для стали марки 10, которое близкое по методике Копылова к стали марки СТЗ

$$F_c = 1590 \cdot 0.059 = 93.284 \text{ (A)}$$

Суммарная МДС на пару полюсов (50)

$$F_{\Sigma} = F_{\delta} + F_z + F_j + F_g + F_c + F_{cp} \quad (50)$$

$$F_{\Sigma} = 63.95 + 1.665 + 1.69 + 8.32 + 93.284 + 69 = 244.867 \text{ (A)}$$

МДС переходной характеристики (51)

$$F_B = F_\Sigma + F_{qd}, \quad (51)$$

где $F_{qd}=150$ А - размагничивающее действие реакции якоря

$$F_B = 244.86 + 153 = 397.867 \text{ (А)}$$

2.10 Расчет параллельной обмотки возбуждения

Расчет средней длины витка катушки параллельной обмотки представлен в формуле (52)

$$l_{\text{ср. в}} = 2l_g + b_{гз} + \pi \cdot b_{\text{кт. в}} + c, \quad (52)$$

где $b_{гз} = 0.032$ м - внутренняя ширина обмотки

$b_{\text{кт. в}}=0.0145$ м - ширина катушки

$c=0.4$ м - длина обмотки

$$l_{\text{ср. в}} = 2 \cdot 0.180 + 0.032 + \pi \cdot 0.0145 + 0.4 = 0.848 \text{ (м)}$$

Принимаем круглый провод ПЭТВ: диаметр неизолированного провода $d_r=1.25 \cdot 10^{-3}$ м, диаметр изолированного провода $d_{\text{из}}=1.33 \cdot 10^{-3}$ м, сечение провода $S_{\text{из}}=1.227 \cdot 10^{-6}$ м² [2, прил. А.1]

Число витков на пару полюсов рассчитываем по формуле (53)

$$w_B = \frac{2.75 F_B}{J_B \cdot S_{\text{из}}}, \quad (53)$$

где $J_B = 5 \cdot 10^6$ А/м² - номинальная плотность тока для машин со степенью защиты IP22

$$w_B = \frac{2.75 \cdot 397}{5 \cdot 1.22} = 178.343$$

Номинальный ток возбуждения находится по формуле (54)

$$I_B = \frac{F_B}{w_B} \quad (54)$$

$$I_B = \frac{397}{179} = 2.231 \text{ (A)}$$

Плотность тока в обмотке - (55)

$$j_B = \frac{I_B}{S_{из}} \quad (55)$$

$$j_B = \frac{2.231}{1.227 \cdot 10^6} = 1.8 \cdot 10^6 \text{ (A/м}^2\text{)}$$

Полная длина обмотки

$$L_B = 2p \cdot l_{ср. в} \cdot w_B \quad (56)$$

$$L_B = 6 \cdot 0.848 \cdot 179 = 906.93 \text{ (м)}$$

Сопротивление обмотки возбуждения при температуре 20°C находим по формуле (57)

$$R_B = \frac{L_B}{57 \cdot 10^6 \cdot S_{из}} \quad (57)$$

$$R_B = \frac{906}{57 \cdot 10^6 \cdot 1.227 \cdot 10^{-6}} = 12.9 \text{ (Ом)}$$

Сопротивление обмотки возбуждения при температуре 75°C рассчитываем по формуле (58)

$$R_{B75} = 1.22R_B \quad (58)$$

$$R_{B75} = 1.22 \cdot 12.9 = 15.8 \text{ (Ом)}$$

2.11 Коллектор и щетки

Ширина нейтральной зоны по (59)

$$b_{нз} = \tau - b_p \quad (59)$$

$$b_{нз} = 0.075 - 0.0438 = 0.031 \text{ (м)}$$

Поверхность соприкосновения щётки с коллектором по (60)

$$S_{щ} = b_{щ} \cdot l_{щ}, \quad (60)$$

где $b_{щ}=0.016$ м - тангенциальный размер

$l_{щ}=0.04$ м - осевой размер

$$S_{щ} = 16 \cdot 10^{-3} \cdot 40 \cdot 10^{-3} = 0.001 \text{ (м}^2\text{)}$$

При допустимой плотности тока $J_{щ} = 11 \cdot 10^4$,А/м², число щёток на болт принимаем по формуле (61)

$$N_{щ} = \frac{I_n}{p \cdot S_{щ} \cdot J_{щ}} \quad (61)$$

$$N_{щ} = \frac{650}{3 \cdot 0.001 \cdot 11 \cdot 10^4} = 1.69$$

Окончательно принимаем $N_{щ} = 1$.

Поверхность соприкосновения всех щёток с коллектором рассчитываем по формуле (62)

$$\Sigma S_{щ} = 2p \cdot N_{sw} \cdot S_{sw} \quad (62)$$

$$\Sigma S_{щ} = 6 \cdot 1.69 \cdot 0.001 = 0.004 \text{ (м}^2\text{)}$$

Плотность тока под щётками:

$$J_{щ} = \frac{2I_n}{\Sigma S_{щ}} \quad (63)$$

$$J_{\text{щ}} = \frac{2 \cdot 650}{0.004} = 3.38 \cdot 10^5 \text{ (A/m}^2\text{)}$$

2.12 Коммутационные параметры

Отношение

$$\frac{b_{zk}}{(\tau - b_p)} = 0.6, \text{ что удовлетворяет условию } 0.55 \dots 0.7$$

Коэффициент магнитной проводимости паза рассчитаем по формуле (64)

$$\lambda = 0.6 \left(\frac{h_{\text{п}}}{2r_2} + \frac{h_{\text{щ}}}{b_{\text{щ}}} + \frac{l_L}{l_{\delta}} + \frac{2.5 \cdot 10^5 a}{A \cdot l_{\delta} \cdot \omega c \cdot v_a \cdot p'} \right) \quad (64)$$

где $v_a = \frac{\pi \cdot D \cdot n_n}{60} = \frac{\pi \cdot 0.1425 \cdot 5600}{60} = 41.7 \text{ (м/с)}$ - скорость якоря

$h_{\text{щ}} = 0.032 \text{ м}$ - высота щеток

$$\lambda = 0.6 \left(\frac{0.01325}{1} + \frac{32 \cdot 10^{-3}}{16 \cdot 10^{-3}} + \frac{0.09}{0.182} + \frac{2.5 \cdot 10^5 \cdot 3}{17172 \cdot 0.182 \cdot 179 \cdot 41.7 \cdot 3} \right) = 4.7$$

Реактивная ЭДС по формуле (65)

$$E_p = 2 \lambda \cdot A \cdot l_{\delta} \cdot \omega c \cdot v_a \cdot 10^{-6} \quad (65)$$

$$E_p = 2 \cdot 4.7 \cdot 17172 \cdot 0.182 \cdot 179 \cdot 41.7 \cdot 10^{-6} = 1.229 \text{ (В)}$$

Индукция в воздушном зазоре под добавочным полюсом (66)

$$B_{\delta d} = \frac{E_p}{2 \omega c \cdot l_{\delta} \cdot v_a} \quad (66)$$

где $E_p = 1.1 E_p = 1.352 \text{ (В)}$ принимаем для обеспечения несколько ускоренной коммутации

$$B_{\delta d} = \frac{1.352}{2 \cdot 179 \cdot 0.182 \cdot 41.7} = 0.089 \text{ (Тл)}$$

Для дальнейшего расчета выпишем основные размеры добавочного полюса, которые представлены в приложении А.

$b_{дн}=23 \cdot 10^{-3}$ м - ширина полюсного наконечника

$l_{д}=180 \cdot 10^{-3}$ м - длина полюса

$l_{дн}=185 \cdot 10^{-3}$ м - длина полюсного наконечника

$h_{д}=22 \cdot 10^{-3}$ м - высота полюса

$h_{дн}=5 \cdot 10^{-3}$ м - высота полюсного наконечника

$b_{д}=11 \cdot 10^{-3}$ м - ширина полюса

$l_{д}=27 \cdot 10^{-3}$ м - высота добавочного полюса

Магнитный поток добавочного полюса в воздушном зазоре найдем по формуле (67)

$$\Phi_{\delta д} = B_{\delta д} \cdot b_{дн} \cdot k_c \quad (67)$$

$$\Phi_{\delta д} = 0.089 \cdot 0.023 \cdot 0.95 = 0.001 \text{ (Вб)}$$

Сечение сердечника добавочного полюса по формуле (68)

$$S_{д} = l_{дн} \cdot b_{дн} \cdot k_c \quad (68)$$

$$S_{д} = 0.185 \cdot 0.023 \cdot 0.95 = 0.004 \text{ (м}^2\text{)}$$

Расчетная индукция в сердечнике добавочного полюса (69)

$$B_{сд} = \frac{\Phi_{\delta д}}{S_{д}} \quad (69)$$

$$B_{сд} = \frac{0.001}{0.004} = 0.234 \text{ (Тл)}$$

2.13 Расчет обмотки добавочных полюсов

МДС обмотки добавочного полюса

$$F_d = 834.38 \text{ (A)}$$

Число витков обмотки добавочного полюса на один полюс представлено на формуле (70)

$$w_d = \frac{F_d}{I_n} \quad (70)$$

$$w_d = \frac{834.38}{650,7} = 1.238$$

Средняя длина витка обмотки добавочного полюса (71)

$$L_{дср} = 2(l_d + b_{дн}) + \pi(b_{квт} + 2\Delta iz) \quad (71)$$

$$L_{дср} = 2(0.180 + 0.023) + \pi(0.032 + 0.004) = 0.472 \text{ (м)}$$

Полная длина проводников обмотки (72)

$$L_d = p \cdot L_{дср} \cdot w_d \quad (72)$$

$$L_d = 3 \cdot 0.472 \cdot 179 = 2.832 \text{ (м)}$$

Сопротивление обмотки добавочных полюсов при температуре 20°C (73)

$$R_d = \frac{2.832}{57 \cdot 10^6 \cdot a_d \cdot q_d} \quad (73)$$

где $a_d=1$ - число параллельных ветвей

$$q_d = \frac{I_n}{a_d \cdot J_d} = \frac{650.5}{7 \cdot 10^6} = 9.2 \cdot 10^5 \text{ м}^2 \text{ - предварительное сечение провода}$$

$$R_d = \frac{L_d}{57 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 9.3 \cdot 10^{-5}} = 0.001 \text{ (Ом)}$$

Сопротивление обмотки добавочных полюсов при температуре 75°C по (74)

$$R_{d75} = 1.22R_d \quad (74)$$

$$R_{d75} = 1.22 \cdot 0.001 = 0.001 \text{ (Ом)}$$

Масса меди обмотки добавочных полюсов (75)

$$m_d = 8.9 \cdot 10^3 L_d \cdot q_d \quad (75)$$

$$m_d = 8.9 \cdot 10^3 \cdot 2.83 \cdot 9.3 \cdot 10^{-5} = 2.342 \text{ (кг)}$$

2.14 Потери и КПД

Электрические потери в обмотке якоря рассчитываем по формуле (76)

$$P_{эл} = I_n^2 \cdot R_a \quad (76)$$

$$P_{эл} = 650.5^2 \cdot 0.009 = 3665.134 \text{ (Вт)}$$

Электрические потери в параллельной обмотке добавочных полюсов найдем по формуле (77)

$$P_{эд} = I_n^2 \cdot R_{d75} \quad (77)$$

$$P_{эд} = 650.6^2 \cdot 0.001 = 276 \text{ (Вт)}$$

Находим электрические потери в параллельной обмотке возбуждения по формуле (78)

$$P_{ЭВ} = I_B \cdot U_n \quad (78)$$

$$P_{ЭВ} = 2.23 \cdot 28.5 = 63(\text{Вт})$$

Электрические потери в переходном контакте щеток определяем по формуле (79)

$$P_{Эщ} = I_n \cdot \Delta U_{щ}, \quad (79)$$

где $\Delta U_{щ} = 0.2$ - переходное падение напряжения на пару щеток

$$P_{Э. щ} = 650.5 \cdot 0.2 = 130.105(\text{Вт})$$

Электрические потери на трение щеток о коллектор определяются по формуле (80)

$$P_{\text{тр. щ}} = \Sigma S_{щ} \cdot 2\rho \cdot f \cdot v_k \quad (80)$$

$$P_{\text{тр. щ}} = 0.004 \cdot 6 \cdot 0.25 \cdot 3.34 = 115(\text{Вт})$$

Потери в подшипниках и на вентиляцию зависят от диаметра и частоты вращения, поэтому примерно возьмем:

$$P_{\text{т. в. п}} = 0.2 \cdot 10^3 (\text{Вт})$$

Масса стали ярма якоря определяется по формуле (81)

$$m_j = 7.8 \cdot 10^3 \cdot \frac{\pi((D - 2h_{\text{п}})^2 - D_0)}{4} \cdot l_{\text{ст}} \cdot k_c \quad (81)$$

$$m_j = 7.8 \cdot 10^3 \cdot \frac{\pi((0.1425 - 2 \cdot 0.01325)^2 - 0.048)}{4} \cdot 0.182 \cdot 0.95 = 11.8 (\text{кг})$$

Условная масса стали зубцов якоря - по формуле (82)

$$m_z = 7.8 \cdot 10^3 \cdot Z \cdot b_z \cdot \left(h_1 + \frac{r_1 + r_2}{2} \right) \cdot l_\delta \cdot k_c \quad (82)$$

$$m_z = 7.8 \cdot 10^3 \cdot 57 \cdot 0.003 \cdot \left(0.008 + \frac{0.5 + 0.5}{2} \right) \cdot 0.182 \cdot 0.95 = 2.297 \text{ (кг)}$$

Магнитные потери в ярме якоря находим по формуле (83)

$$P_j = m_j \cdot p_j, \quad (83)$$

где $p_j = 2.3 \cdot 1.75 \cdot B_j^2 = 0.139$ (Вт/кг) - удельные потери в ярме якоря

$$P_j = 11.8 \cdot 0.139 = 1.67 \text{ (Вт)}$$

Магнитные потери в зубцах якоря (84)

$$P_z = m_z \cdot p_z, \quad (84)$$

где $p_z = 2.3 \cdot 1.75 \cdot B_z^2 = 2.542$ (Вт/кг) - удельные потери в зубцах якоря

$$P_z = 2.297 \cdot 2.552 = 5.839 \text{ (Вт)}$$

Добавочные потери представлены в формуле (85)

$$P_{\text{доб}} = 0.01 U_n \cdot I_n \quad (85)$$

$$P_{\text{доб}} = 0.01 \cdot 28.5 \cdot 631.5 = 180 \text{ (Вт)}$$

Сумма потерь

$$\Sigma P = 4637.837 \text{ (Вт)}$$

Потребляемая мощность (86)

$$P_1 = P_n + \Sigma P \quad (86)$$

$$P_1 = 18000 + 4637.837 = 22637.837 \text{ (Вт)}$$

Заключительным расчетом является определение КПД, которое рассчитывается по формуле (87)

$$\eta = \frac{P_n}{P_1} \quad (87)$$

$$\eta = \frac{18000}{22637} = 0.795$$

Вывод по разделу

Расчет проводился по размерам взятым из технической документации на существующий генератор. В результате поверочного электромагнитного расчета получены выходные параметры генератора соответствующие его паспортным данным: $P_1=22638$ Вт, $P_2=18000$ Вт, $n_n=5600$ об/мин, $\eta = 0.79$

3 МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОГРАММЕ ANSYS MAXWELL

3.1 Обзор пакета ANSYS Maxwell

В данном дипломном проекте использовался программный пакет ANSYS Maxwell 16.

Maxwell – это программное обеспечение для моделирования электромагнитных полей, используемое при проектировании и исследования двумерных и трехмерных моделей, типа двигателей, датчиков, трансформаторов и других электрических и электромеханических устройств различного применения. Maxwell базируется на методе конечных элементов (Finite Element Method - FEM) и точно рассчитывает статические, гармонические электромагнитные и электрические поля, а также переходные процессы в полевых задачах. [4]

Программы Maxwell позволяют провести решение полевых задач в короткое время, что сокращает время моделирования.

В квалификационной работе были использованы программные модули Ansys Maxwell:

-RMxprt (проектирование и оптимизация вращающихся электрических машин)

-Maxwell 2D (расчёт переменного/постоянного магнитного поля, электростатики, расчет вихревых токов и скин-эффекта, переходных во времени процессов, параметрическое моделирование и оптимизация);

Остановимся подробнее на RMxprt. ANSYS RMxprt актуален в случае, когда нужно смоделировать электрическую машину стандартного типа, для которой методики расчета известны. Он использует классическую аналитическую теорию электрических машин и метод эквивалентной магнитной цепи для вычисления рабочих характеристик машины.

Программный комплекс ANSYS RMxprt дает возможность проанализировать множество вариантов за считанные минуты — это полезный

инструмент для инженеров, позволяющий получить необходимые характеристики электрического двигателя с использованием входных данных.

3.2 Моделирование стартера-генератора 18 кВт в программе Maxwell

Для того, чтобы убедиться в правильности выбора размеров машины, был произведен расчет генератора постоянного тока 18 кВт с измененной конфигурацией по методике [2].

Первоначальная поверка расчетов машины происходит в режиме RМхprt. В расчетной модели было сделано шесть добавочных полюсов при неизменном диаметре статора, что позволяет сохранить габаритные размеры машины. Размеры добавочных полюсов уточнялись в процессе расчета.

Расчетная модель была построена через скалярные параметры, которые можно легко изменять. Данные параметры приведены в таблице 2

Таблица 2

Описание	Размер, мм
Длина магнитопровода	242
Общая ширина	215
Толщина станины	10
Полная длина станины	242
Число полюсов	6
Тип полюсов (1 или 2)	1
Диаметр под наконечником главного полюса	143.9
Размер полюсной дуги с постоянным воздушным зазором	38.8
Полная ширина полюса (расстояние между краями наконечников главного полюса)	43.8
Вр2 (макс. ширина наконечника полюса типа 1)	43.8
Вр3 (мин. ширина наконечника полюса типа 1)	43.8
Высота полюсного наконечника	6.7
Ширина полюса	24
Односторонняя длина вылета лобовых компенсационной обмотки	5
Ширина добавочного полюса	5.5
Высота добавочного полюса	21
Длина добавочного полюса	180

Высота наконечника добавочного полюса	5
Ширина наконечника добавочного полюса	11.5
Длина наконечника добавочного полюса.	185
Размер воздушного зазора между добавочным полюсом и станиной.	0.5

На рисунке 3 представлена модель, построенная по заданным параметрам.

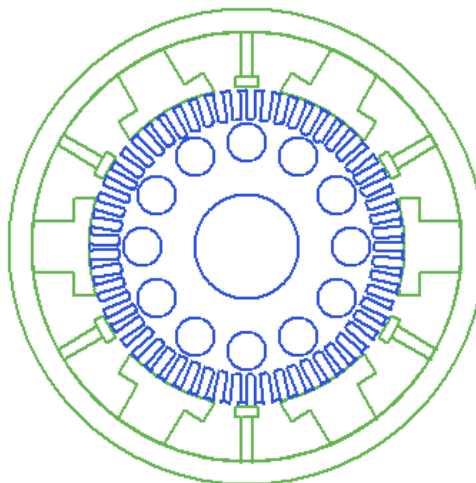


Рисунок 3 - Модель в RMxpert.

Было произведено моделирование машины по заданным параметрам:

мощность 18000 Вт

напряжение 28.5 В

частота вращения 5600 об/мин

Для наглядности сравнения расчетных данных, результаты были сведены в таблицу 3.

Таблица 3

	Расчеты по методике И.П. Копылова	Расчетные данные в программе Maxwell
Электрические потери в обмотке якоря	3665	2938
Электрические потери в параллельной обмотке	63	106

возбуждения		
Добавочные потери	180	141
КПД	0.79	0.76
Номинальная входная мощность	22637	23462

Полученные расчеты практически совпадают, что говорит об актуальности выбора программы Maxwell. Расхождению имеет место быть из-за изменения в конструкции статора.

В следующем этапе рассмотрим модель в Maxwell 2D, которая изображена рисунке 4.

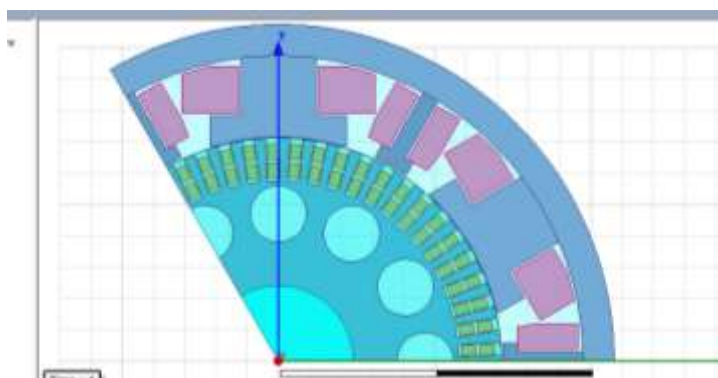


Рисунок 4 – Модель генератора в Maxwell 2D

Заключительным этапом подготовки модели было определение шага расчета. Были заданы следующие параметры анализа: шаг расчета — $1 \cdot 10^{-4}$ с, окончание счета — 0,1с.

Ниже на рисунках 5 – 6 приведены полученные при моделировании зависимости от времени.

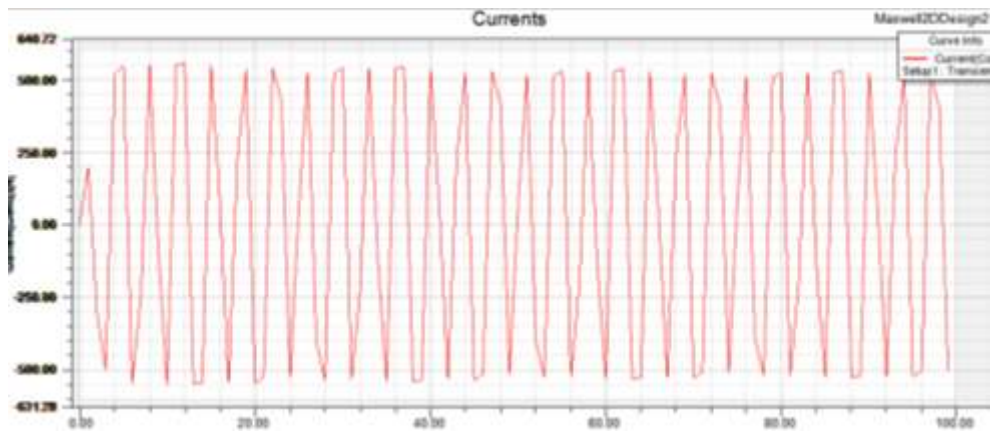


Рисунок 5 - Зависимость тока от времени

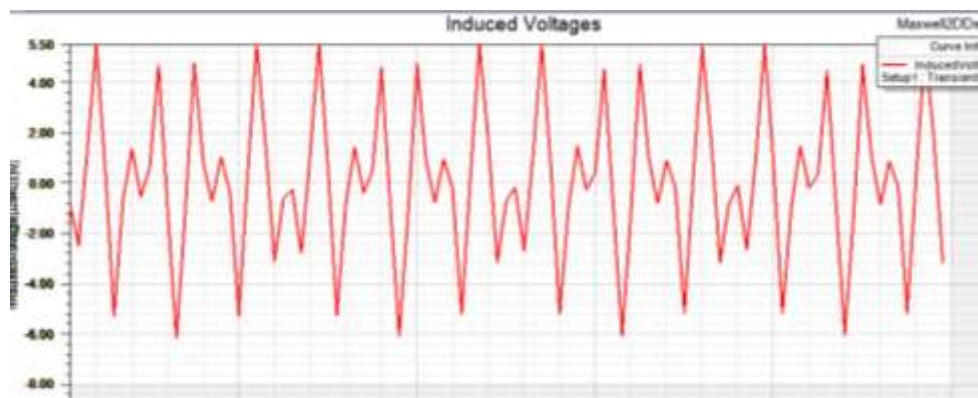


Рисунок 6 - Зависимость индукции от времени

3.3 Моделирование стартера-генератора 19 кВт в программе Maxwell

В программе RMXprt, при заданных размерах для стартера-генератора 18 кВт, выставляется требуемая мощность 19 кВт и автоматический подбор сечения провода и числа витков.

В результате получены след. данные указанные в таблице 4.

Таблица 4

	18 кВт	19 кВт
Электрические потери в обмотке якоря	2938	3274
Электрические потери в параллельной обмотке	106	102

возбуждения		
Добавочные потери	141	121
КПД	0.76	0.72
Номинальная входная мощность	23462	26119

При анализе в программе RMxprt получили значения, представленные на рисунке.

	Name	Value	Units	Description
1	Terminal Voltage	28500	mV	
2	Armature Current	666667	mA	
3	Input Power	26119100	mW	
4	Output Power	18842100	mW	
5	Efficiency	72.1393	%	
6	Rated Speed	5600	rpm	
7	Rated Torque	44.5391	NewtonMeter	
8	Armature Copper Loss	3274440	mW	
9	Commutating Copper Loss	2249380	mW	
10	Brush Voltage Drop Loss	1333330	mW	
11	Mechanical Loss	30000	mW	
12	Core Loss	102663	mW	
13	Exciting Copper Loss	157856	mW	
14				

Рисунок 7 - Анализ в программе RMxprt

Проведенные расчеты показали, что в данных габаритных размерах можно получить мощность близкую к 19кВт, если установить не три добавочных полюса, как указано в исходной модели, а установить шесть, как говорится в классической литературе по электрическим машинам [5]. При этом размеры добавочного полюса уменьшить в 2 раза и выбор сечения и длины провода были установлены на автоматический режим. В результате была получена машина 19 кВт при заданных габаритах, но при этом длина провода и сечение увеличились, что естественно, приведет к увеличению активных потерь. В связи с этим потребуется больше входная мощность. Ее можно получить либо увеличением скорости вращения ротором, либо более сильным полем с обмотки возбуждения. Поэтому делаем вывод, что если мы сможем создать большее поле, то получим

выходную мощность. Большее значение индукции или потока можем получить, если заменим главные полюса с электромагнитов на постоянные магниты.

Вариантом решения поставленной задачи для увеличения мощности стартера-генератора до 19кВт было решено: заменить главные полюса с электромагнитов на постоянные магниты.

При заданных значениях в 2D Design заменяем главные полюса на постоянные магниты. На рисунке 8 изображена, полученная модель.

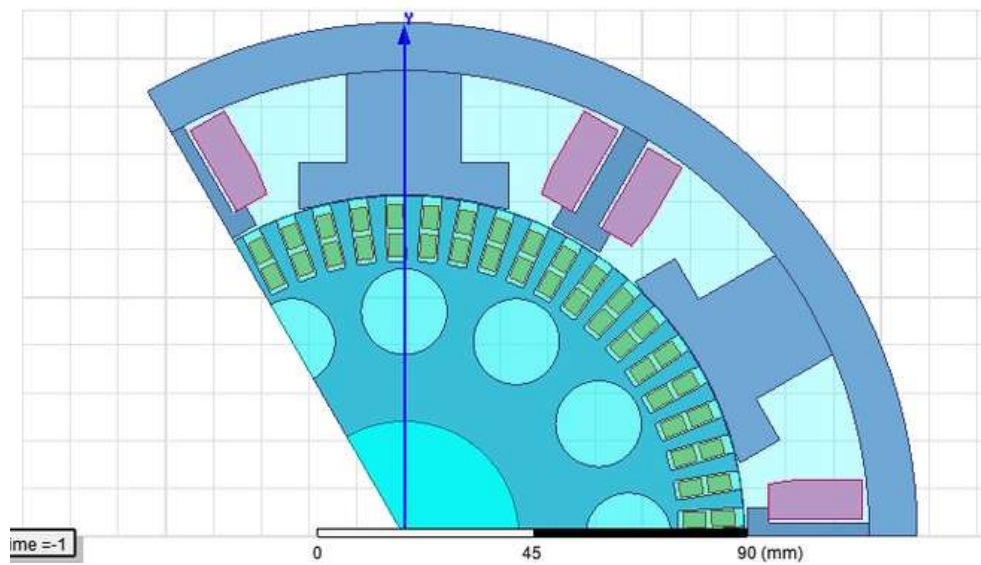


Рисунок 8 - Модель генератора в Maxwell 2D с постоянными магнитами

На рисунке 9 изображена зависимость индукции от времени.

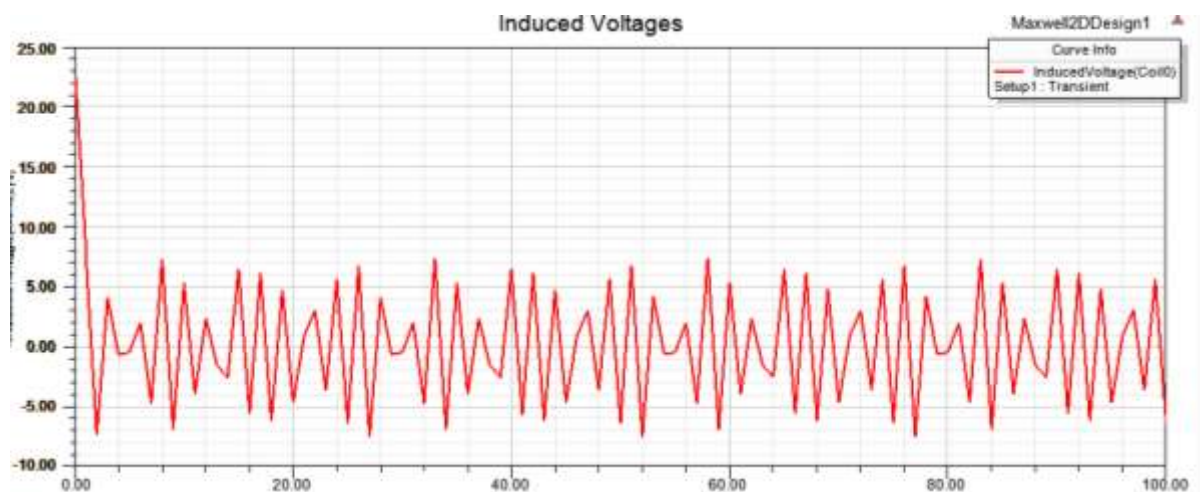


Рисунок 9 - Зависимость индукции от времени.

В ходе рассмотрения данного варианта было получено значение близкое к 19 кВт.

Изм/Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

Вывод по разделу два

В разделе был проведен: 1) расчет в программе Maxwell генератора с измененным сечением проводов в обмотке параллельного возбуждения, установки 6 добавочных полюсов с уменьшением их геометрических размеров по сравнению с исходной конфигурацией. 2) расчет в программе Maxwell генератора с заменой электромагнитных главных полюсов на полюса, выполненные на постоянных магнитов.

					<i>130302.2019.180.ПЗ.ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		41

4 СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВОПРОС

SolidWorks – это пакет программного обеспечения САПР, который автоматизирует работу промышленных предприятий на этапах конструкторской и технологической подготовки производства. Обеспечивает разработку изделий любой степени сложности и цели.

Подходит для работы в среде *Microsoft Windows*. Разработан корпорацией *SolidWorks Corporation*. *SolidWorks* - предназначен для создания твердотельных параметрических моделей деталей и последующего полуавтоматического выполнения их рабочих чертежей, содержащих все необходимые типы изображений. Также поддерживает поверхностное моделирование, проектирование деталей, изготовленных литьем, проектирование деталей, изготовленных из листового материала.

Процесс создания модели в *SolidWorks* начинается с построения опорного тела и последующего добавления или вычитания материала. Чтобы построить тело первоначально строится эскиз конструктивного элемента на плоскости, впоследствии преобразуемый тем или иным способом в твёрдое тело. *SolidWorks* предлагает пользователю полный набор функций геометрических построений и операций редактирования. Основное требование, предъявляемое системой к эскизу при работе с твёрдыми телами - это замкнутость и отсутствие самопересечений у контура.

При создании контура нет необходимости точно сохранять требуемые размеры, самое главное на этом этапе - указать положение его элементов. Затем, поскольку создаваемый эскиз полностью параметризован, можно установить необходимый размер для каждого элемента. Кроме того, для элементов, входящих в контур, можно задать ограничения положения и связи с другими элементами [6].

4.1 Разработка 3D модели в программе *SolidWorks*

В рамках данной дипломной работы в программе *SolidWorks* была построена полноценная трехмерная сборка генератора постоянного тока

обращенной конструкции, представленная на рисунке 10. На рисунках 11-13 представлена конструкция в разрезе и по отдельности.

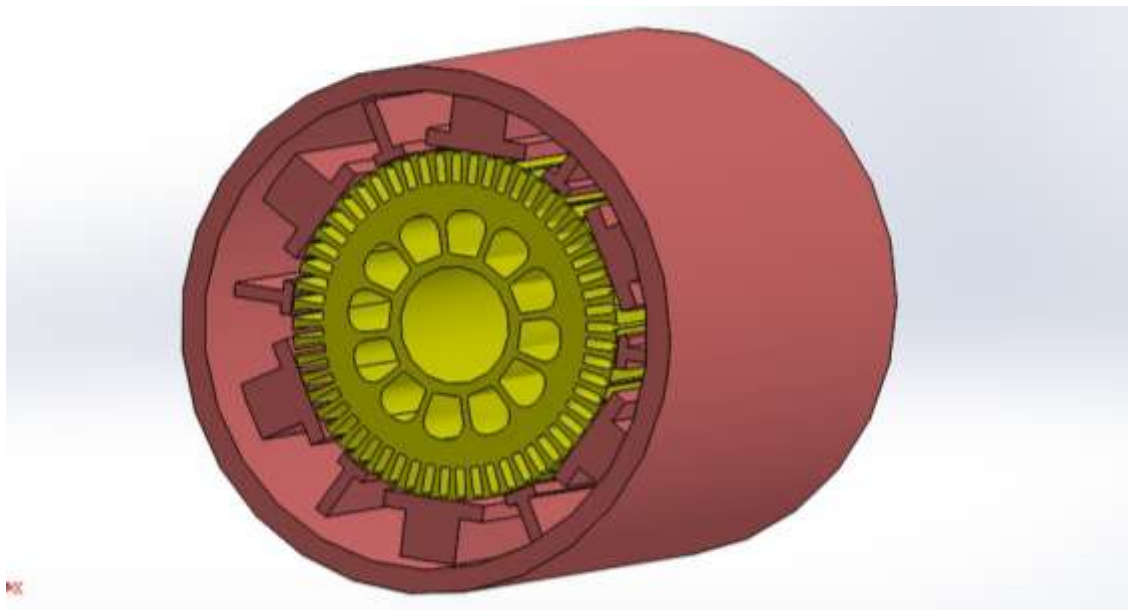


Рисунок 10 – Сборка генератора в *SolidWorks*

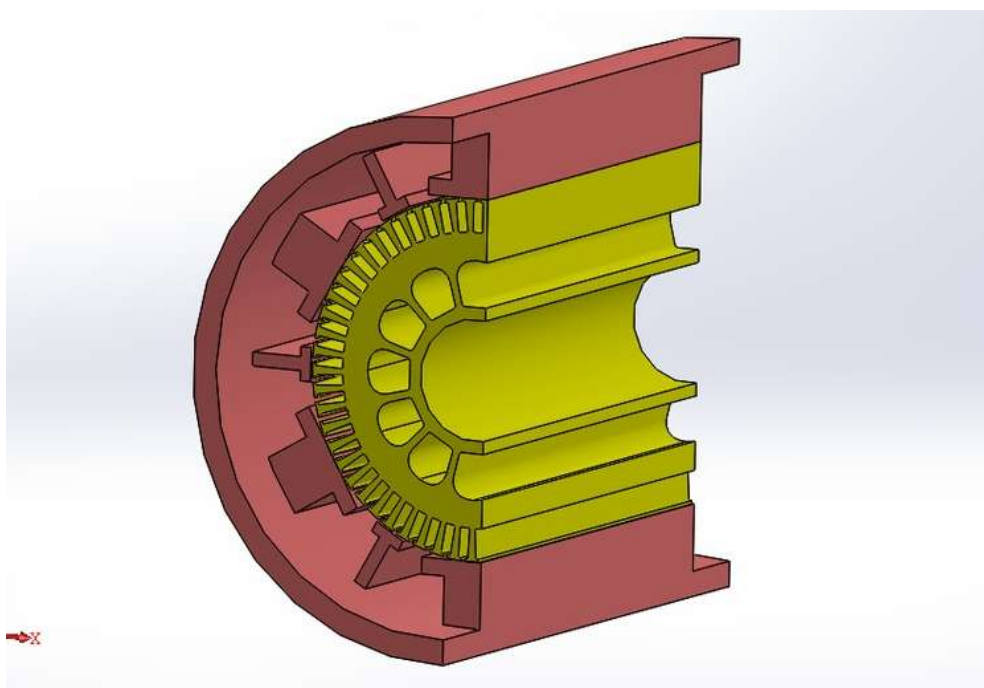


Рисунок 11 – Сечение сборки

Изм/Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

130302.2019.180.ПЗ.ВКР

Лист

43

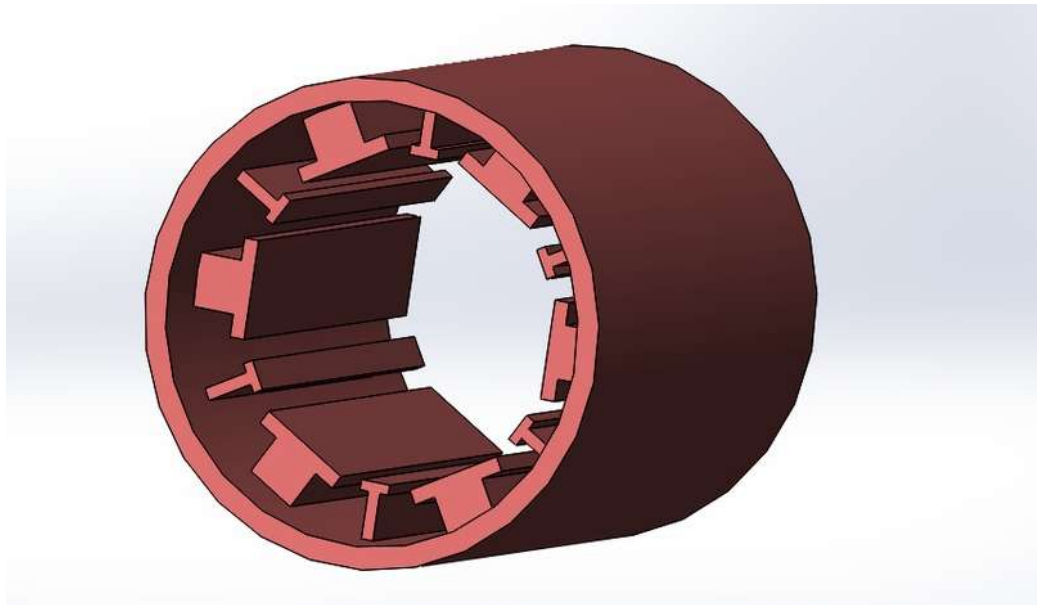


Рисунок 12 – Сборка статора.



Рисунок 13 – Сборка ротора.

Выводы по разделу четыре

Твердотельное проектирование моделирование в таких программах как *SolidWorks* облегчает визуализацию любого проекта. Поэтому было решено построить 3D модели деталей разрабатываемого генератора в пакете *SolidWorks* и показать это все в сборке.

Изм/Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

130302.2019.180.ПЗ.ВКР

Лист

44

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе дипломного проектирования был разработан стартер-генератор 19 кВт с габаритными размерами стартера-генератора 18 кВт.

В ходе работы по выданным чертежам были выбраны размеры, для достоверности правильности выбора размеров была посчитана машина по методике И.П. Копылова. Далее для удобства определения мощности была выбрана программа Maxwell. В процессе работы в программе были изменены следующие параметры: количество добавочных полюсов - стало 6; главные полюса были заменены на постоянные магниты.

При разработке квалификационной работы были использованы следующие программные средства: *MathCad, Microsoft Office, Solid Works, Maxwell.*

									Лист
									45
Изм/Лист		№ докум.	Подпись	Дата	130302.2019.180.ПЗ.ВКР				

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СТО ЮУрГУ 04–2002.
2. Копылов И.П. Проектирование электрических машин: учебное пособие для вузов / И.П. Копылов. – М.: Энергия, 1980. – 496 с.
3. Электроспецоборудование: учебное пособие для вузов/ Зимин Ю., Конов А., Беляков С. 1999. - 204 с.
4. Моделирование в ANSYS Maxwell/И.А. Кремлув, В. А. Гилев, М.В. Зеленин. - Томский политехнический университет, 2008. - 214
5. Вольдек, А.И. Электрические машины: учебник для вузов / А.И. Вольдек. – Л.: Энергия, 1978. – 832 с.
6. ГОСТ 15150-69 "Машины, приборы и другие технические изделия. Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды".
7. Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению / составители: Т.И. Парубочая, Н.В. Сырейщикова, В.И. Гузеев, Л.В. Винокурова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 56 с.

					<i>130302.2019.180.ПЗ.ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		46

					<i>130302.2019.180.ПЗ.ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		47