

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.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АСИНХРОИЗИРОВАННОГО СИНХРОННОГО
ГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ВЕТРОУСТАНОВКИ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ – 13.03.02.2019.178. ПЗ ВКР

Руководитель работы, д.т.н., доцент

_____ С.А. Ганджа

_____ 2019 г.

Автор работы

Студент группы П-473

_____ А.А. Тингаев

_____ 2019 г.

Нормоконтроллер, д.т.н., доцент

_____ С.А. Ганджа

_____ 2019 г.

АННОТАЦИЯ

А.А. Тингаев, Проектирование асинхронизированного синхронного генератора для ветроустановки. – Челябинск: Южно-Уральский государственный университет, Политехнический институт, Энергетический, 2019, 39с., 21 ил., 2 табл., библиогр. список – 7 наим.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка асинхронизированного синхронного генератора для ветроустановки.

Задача работы заключается в выборе типа генератора для ветроустановки, который удовлетворяет требованиям, указанным в техническом задании. Для выполнения указанной задачи была взята за основу методика И.П. Копылова для синхронных генераторов.

В результате был выполнен электромагнитный расчет генератора в программном пакете *MathCad*, построена модель и произведен анализ машины в пакете *Ansys Electromagnetic Maxwell*, а также реализовано твердотельное моделирование компонентов асинхронизированного синхронного генератора, и их сборка в пакете *SolidWorks*.

					130302.2019.178.ПЗ				
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата					
Разраб.		<i>Тингаев</i>			<i>Проектирование асинхронизированного синхронного генератора для ветроустановки</i>		Лит	Лист	Листов
Провер.		<i>Ганджа</i>						3	39
Н.контр.		<i>Ганджа</i>			<i>ЮУрГУ Кафедра ТОЭ</i>				
Утв.		<i>Ганджа</i>							

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 ВЫБОР ТИПА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ.....	9
1.1 Выбор электрической машины.....	9
2.1 Преимущества выбранной машины.....	9
2.3 Устройство и принцип работы машины.....	10
2 РАСЧЕТ АСИНХРОНИЗИРОВАННОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА.....	12
2.1. Определение главных размеров.....	12
2.2 Расчет параметров обмотки статора.....	13
2.3 Расчет размеров зубцовой зоны статора.....	15
2.4 Расчет основных размеров зубцовой зоны ротора.....	17
2.5 Расчет магнитной цепи.....	18
2.6 Определение параметров обмотки статора для установившегося режима работы машины.....	23
2.7 Определение МДС обмотки возбуждения при нагрузке.....	25
2.8 Расчет обмотки возбуждения.....	25
2.9 Определение массы активных материалов.....	27
2.9 Определение потерь и КПД.....	28
2.10 Расчет рабочих характеристик.....	29
3 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ.....	32
3.1 Обзор пакета ANSYS ELECTRONICS MAXWELL.....	32
3.2 Моделирование в пакете <i>Maxwell</i>	32
3.3 Обзор программного пакета <i>SolidWorks</i>	36
3.4 Создание 3D модели и сборки в <i>SolidWorks</i>	37
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	38
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	39

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

130302.2019.178.ПЗ

Лист

4

ВВЕДЕНИЕ

История ветроэнергетики в России берет свое начало в первой половине XX века: Центральный аэрогидродинамический институт им. Профессора Н.Е. Жуковского разрабатывал ветроэлектрические станции для обеспечения сельских хозяйств. Мощность таких станций варьировалась от 2.2 кВт до 33 кВт, что позволяло освещать 50-300 дворов и приводить в действие мельницу[1].

В 1931 году вошла в строй самая мощная в мире на тот момент ветроэлектростанция мощностью 100 кВт в городе Балаклава, которая была разрушена в ходе боев во время Великой Отечественной войны в 1941 году[2].

В настоящее время в России вырабатывается 1 053 861,9 млн. кВтч, из которых на ВЭС (Ветряные электростанции) приходится лишь 131 млн. кВтч (0,012%). До 2014 года эти цифры были значительно меньше – 5 млн. кВтч. Подобный рост объясняется присоединением Крымской энергосистемы[3].

Согласно оценки экспертов, экономический потенциал ветроэнергетики России составляет более 33 млрд. кВтч, т.е. вырабатывать такое количество энергии выгодно уже в настоящее время. А значит, Российская Федерация может стать мировым лидером по производству электроэнергии путем добычи ее ветряными электростанциями[4].

Понимая необходимость развития электроэнергетической отрасли, Правительство РФ приняло ряд нормативных правовых актов, которые должны поспособствовать развитию возобновляемых источников энергии ввиду их многочисленных преимуществ перед традиционными методами добычи электроэнергии.

Преимуществами ветростанций являются:

- отсутствие влияния на воздух, воду, почву. Не загрязняется окружающая среда;
- не производятся твердые отходы;
- отсутствие потребления органического топлива, такого как нефть, уголь, газ;

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

130302.2019.178.ПЗ

Лист

5

- как следствие, отсутствуют потери топливных ресурсов при добыче и транспортировке.

Преимущества ветроэнергетики перед традиционными способами добычи электроэнергии отражены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение способов добычи электроэнергии

Виды воздействия	Ветер	Атом	Уголь	Природный газ
Глобальное потепление	нет	нет	да	да
Загрязнение воды (тепловое или вредными выбросами)	нет	да	да	да
Загрязнение воздуха	нет	нет	да	ограничено
Выброс ртути	нет	нет	да	нет
Разработка месторождений, добыча топлива	нет	да	да	да
Твердые отходы	нет	да	да	нет
Среда обитания в целом	весьма ограничено	ограничено хранение и захоронение отходов	да	да

Помимо экономической, экологической и энергетической проблем, ветроэнергетика так же способствует решению проблемы освоения труднодоступных регионов.

Экстремальные климатические условия труднодоступных регионов ставят задачу энергообеспечения районов на первое место, так как от этого зависит не

только функционирование производства и народные хозяйства, но и жизни людей, которые, в случае возникновения проблем с энергообеспечением, рискуют остаться без своего главного ресурса – электроэнергии. Самыми проблемными районами России в электроснабжении признаются удаленные восточные территории и крайний север.

В связи с малой плотностью населения, отсутствует возможность создания центрального энергоснабжения, а значит, чтобы обеспечить эти районы электроэнергией, необходима доставка топлива для производства энергии на месте. Это осложняется низкой степенью развитости транспортной инфраструктуры, ограниченными сроками сезонного ввоза и дальним расположением регионов. Все эти факторы создают сложную, многосвязную цепочку процесса доставки топлива. Исходя из общего положения и опираясь на совокупность всех ранее вышперечисленных и упомянутых фактов, мы можем сделать вывод, что мероприятия по ввозу топлива в труднодоступные регионы весьма финансово затратные.

Одним из способов решения данной проблемы является производство электроэнергии, которое не потребует ввозимого топлива, на месте. Например, территории Дальнего Востока изобилуют реками, что частично восполняет энергетический дефицит, посредством использования гидроэлектростанций. Однако, использование ГЭС накладывает ряд обязательных условий, таких как: наличие существенного перепада высот, скорость течения рек, требования к грунту. Кроме того, в регионах крайнего севера такой способ добычи электроэнергии невозможен, так как большую часть года поверхность рек скованна льдом.

Еще одним способом решения проблемы электроснабжения является строительство тепловых энергетических станций на органическом топливе (газ, уголь и пр.), однако вновь встает вопрос о нецелесообразности ввоза топлива и строительства такого крупного объекта в целом.

Таким образом, исходя из общего положения и опираясь на совокупность всех ранее вышперечисленных и упомянутых фактов, мы можем сделать вывод,

что самым эффективным источником электроэнергии в труднодоступных регионах является ветряные электростанции, так как они:

- конструктивно проще, чем ТЭС и ГЭС;
- не предъявляют требований к климатическим условиям, кроме наличия ветра;
- не предъявляют серьезных требований к ландшафту местности;
- не требуют топлива.

Исходя из всего вышесказанного, можем заключить, что внедрение технологий ветряной электроэнергетики окажет заметную помощь в энергообеспечении труднодоступных регионов.

					<i>130302.2019.178.ПЗ</i>	Лист
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

1 ВЫБОР ТИПА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

Главной проблемой ветроэнергетики заключается в изменении скорости и направления ветра, из-за чего меняется скорость вращения ротора генератора, а значит и получаемая энергия будет серьезно отличаться по амплитуде, частоте и фазе. Такое явление называется «грязная энергия» и ее применение невозможно без ряда преобразователей, которые, со значительными потерями, выровняют амплитуду и частоту выходного тока и сделают энергию пригодной для потребления.

Кроме того, не только низкая скорость ветра не дает генераторам работать на номинальной мощности, но и наоборот, высокая. Если скорость ветра превышает номинально значение, то генератор перестает работать, так как повышенные мощности, на которые он не рассчитан, могут привести к поломке.

1.1 Выбор электрической машины

Исходя из выше озвученных фактов, приходим к выводу, что нам необходима такая машина, которая будет выдавать стабильные параметры амплитуды и частоты вне зависимости от скорости ветра.

Эффективным способом решения этих проблем является преобразование энергии ветра в электрическую с помощью асинхронизированного синхронного генератора на базе машины двойного питания.

2.1 Преимущества выбранной машины

Актуальность исследования обеспечена возможностями машины двойного питания:

- обеспечение стабильных значений выходных параметров: напряжения и частоты;
- экономия энергии от нормализации частоты;
- сбережение энергии за счет регулирования и управления качества энергии.

От синхронных машин АСГ отличается тем, что магнитное поле, создаваемое ротором, перемещается относительно его, а от асинхронных машин –

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

130302.2019.178.ПЗ

Лист

9

тем, что это перемещение магнитного поля осуществляется и управляется посторонним источником.

2.3 Устройство и принцип работы машины

На рисунке 2.1 приведена схема АСГ.

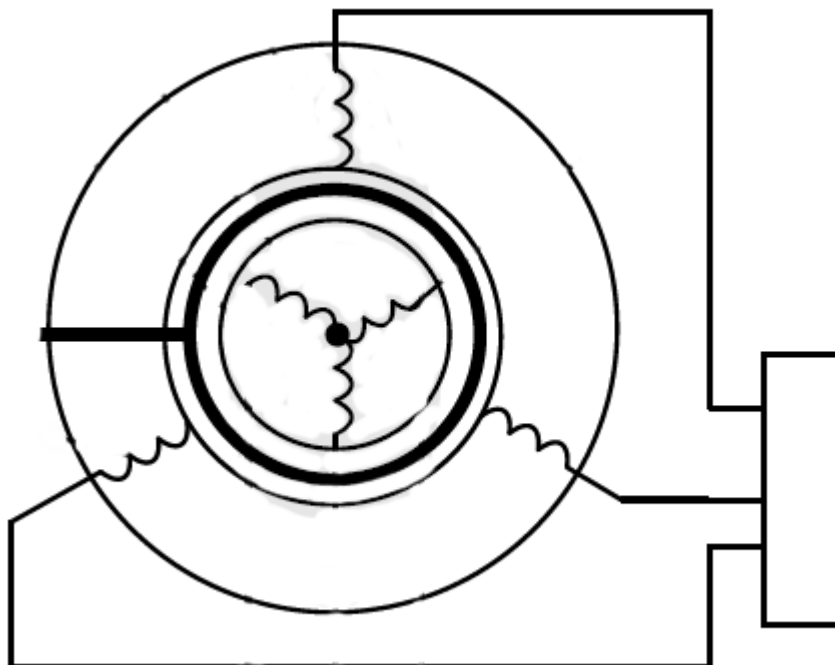


Рисунок 1.1 – Схема асинхронизированного синхронного генератора

Рассчитываемая машина имеет обращенную конструкцию. Ротор, к которому напрямую крепятся ветряные лопасти, осуществляет возбуждение. Частота подведенного к обмотке возбуждения тока меняется с помощью преобразователя частоты таким образом, чтобы частота вращения поля относительно статора оставалась неизменной.

В ветроустановке используется вертикальная ось вращения, что позволяет более эффективно использовать энергию ветра, так как отсутствует необходимость использования редукторов и поворотного механизма для достижения наибольшего ветряного потока.

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

130302.2019.178.ПЗ

Лист

10

На рисунке 2.2 представлен эскиз асинхронизированного синхронного генератора.

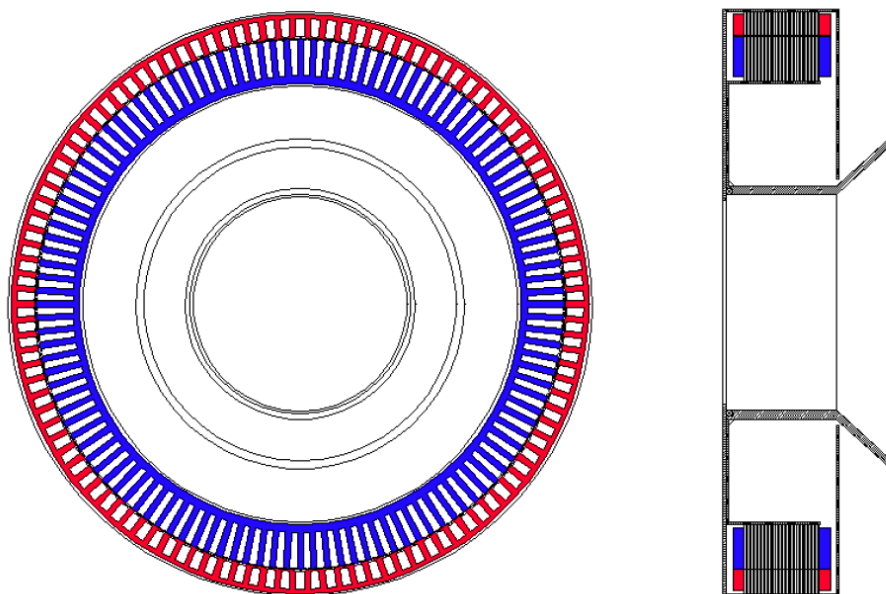


Рисунок 1.2 – Эскиз асинхронизированного синхронного генератора

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

130302.2019.178.ПЗ

Лист

11

2 РАСЧЕТ АСИНХРОНИЗИРОВАННОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА

Для расчета за основу взята методика расчета синхронного генератора И.П. Копылова. Перед разработкой задаемся рядом параметров: $P_n = 30$ кВт, $U_{ном} = 220$ В, $m = 3$, $n = 45$ об/мин.

2.1. Определение главных размеров.

Проектирование электрической машины начинается с выбора главных размеров: внешнего диаметра статора и расчетной длины. Для этого определим электромагнитную мощность.

Электромагнитная мощность генератора $S_{ном}$:

$$S_{ном} = \frac{k_E \cdot P_n}{\cos\varphi}; \quad (1)$$

$$S_{ном} = \frac{1.08 \cdot 30\,000}{0.8} = 40\,500 \text{ Вт};$$

где k_E – коэффициент, представляющий собой отношение ЭДС в якоре к номинальному напряжению при номинальной нагрузке, $k_E = 0,8$;

P_n – номинальная мощность генератора, $P_n = 30\,000$ Вт;

$\cos\varphi$ – коэффициент мощности, $\cos\varphi = 0,8$.

Расчетная длина l_δ :

$$l_\delta = \frac{6.1 \cdot S_{ном}}{a_\delta \cdot k_\delta \cdot k_{об1} \cdot A \cdot B_{\delta ном} \cdot D_a \cdot n}; \quad (2)$$

$$l_\delta = \frac{6.1 \cdot 40\,500}{0.71 \cdot 1.11 \cdot 0.92 \cdot 45\,000 \cdot 0.6 \cdot 1.3 \cdot 45} = 0.166 \text{ м};$$

где k_δ – коэффициент формы поля, $k_\delta = 1.11$;

a_δ – расчетный коэффициент полюсного перекрытия, $a_\delta = 0.71$;

$k_{об1}$ – обмоточный коэффициент обмотки статора, $k_{об1} = 0.95$;

B_δ – магнитная индукция в воздушном зазоре, $B_\delta = 0,6$ Тл;

A – линейная нагрузка, $A = 45\,000$ А/м.

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

130302.2019.178.ПЗ

Лист

12

Число пар полюсов p :

$$p = \frac{60 \cdot f}{n}; \quad (3)$$

$$p = \frac{60 \cdot 50}{45} = 68;$$

где f – частота тока в сети, $f = 50$ Гц;

n – скорость вращения ротора, $n = 45$ об/мин.

2.2 Расчет параметров обмотки статора

Полюсное деление статора τ :

$$\tau = \frac{\pi \cdot D_a}{2p}; \quad (4)$$

$$\tau = \frac{3.14 \cdot 1.3}{2 \cdot 68} = 0.03 \text{ м.}$$

где D_a – наружный диаметр статора, $D_a = 1,3$ м.

Число зубцов статора Z_1 :

$$Z_1 = 2 \cdot p \cdot m \cdot q_1; \quad (5)$$

$$Z_1 = 2 \cdot 68 \cdot 3 \cdot 1 = 408;$$

где m – число фаз статора, $m = 3$;

q_1 – число пазов на полюс и фазу, $q_1 = 1$.

Зубцовое деление статора t_1 :

$$t_1 = \frac{\pi \cdot D_a}{Z_1}; \quad (6)$$

$$t_1 = \frac{3.14 \cdot 1.3}{408} = 0.01 \text{ м.}$$

Номинальный ток обмотки статора $I_{\text{ном}}$:

$$I_{\text{ном}} = \frac{S_{\text{ном}}}{3 \cdot \cos\varphi \cdot U_{\text{ном}}}; \quad (7)$$

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

130302.2019.178.ПЗ

Лист

13

$$I_{1\text{ном}} = \frac{40\,500}{3 \cdot 0.8 \cdot 220} = 106 \text{ A};$$

где $U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение, $U_{\text{ном}} = 220 \text{ В}$.

Номинальный фазный ток обмотки статора $I_{1\text{ном.ф}}$:

$$I_{1\text{ном.ф}} = I_{1\text{ном}} \cdot \sqrt{3}; \quad (8)$$

$$I_{1\text{ном.ф}} = 76 \cdot \sqrt{3} = 184 \text{ A}.$$

Число проводников в пазу статора $u_{\text{п}}$:

$$u_{\text{п}} = \frac{\pi \cdot a \cdot D_a \cdot A}{Z_1 \cdot I_{1\text{ном.ф}}}; \quad (9)$$

$$u_{\text{п}} = \frac{3.14 \cdot 1 \cdot 1.3 \cdot 45\,000}{408 \cdot 184} = 2.447;$$

где a – число параллельных ветвей, $a = 1$.

Учитывая принятое число эффективных проводников в пазу уточняем значение линейной нагрузки $A_{\text{ут}}$:

$$A_{\text{ут}} = \frac{Z_1 \cdot u_{\text{п}} \cdot I_{1\text{ном.ф}}}{\pi \cdot a \cdot D_a}; \quad (10)$$

$$A_{\text{ут}} = \frac{408 \cdot 2.447 \cdot 184}{3.14 \cdot 1 \cdot 1.3} = 36\,780 \text{ А/м}.$$

Отклонение уточненного значения линейной нагрузки от принятого ранее отличается в приемлемых пределах.

Плотность тока в обмотке статора J_1 :

$$J_1 = \frac{A_{j1}}{A_{\text{ут}}}; \quad (11)$$

$$J_1 = \frac{17 \cdot 10^{10}}{36\,780} = 6.422 \cdot 10^6 \text{ А/м}.$$

Сечение эффективного проводника обмотки статора $q_{\text{эф1}}$:

$$q_{\text{эф1}} = \frac{I_{1\text{ном.ф}}}{a \cdot J_1}; \quad (12)$$

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

130302.2019.178.ПЗ

Лист

14

$$q_{\text{эф1}} = \frac{131}{1 \cdot 4.622 \cdot 10^6} = 1.377 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2.$$

Разделим эффективный проводник на упрощенные. Количество упрощенных проводников в одном эффективном:

$$n_{\text{эл1}} = 1; \quad (13)$$

Исходя из найденного сечения эффективного проводника из табличных значений выбираем провод требуемого сечения:

$$d_{1\text{эл}} \text{ГОСТ} = 0.63 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad (14)$$

$$d_{1\text{из}} \text{ГОСТ} = 0.69 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad (15)$$

$$q_{1\text{эл}} \text{ГОСТ} = 0.312 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2. \quad (16)$$

Уточним фактическое значение плотности тока в обмотке статора $J_{\text{лут}}$:

$$J_{\text{лут}} = \frac{I_{\text{ном.ф}}}{a \cdot n_{\text{эл1}} \cdot q_{\text{эл1}}}; \quad (17)$$

$$J_{\text{лут}} = \frac{131}{1 \cdot 0.312 \cdot 10^{-6}} = 1,457 \cdot 10^8 \text{ А/м}.$$

Определим эффективные витки в фазе обмотки статора w_1 :

$$w_1 = \frac{2 \cdot \pi \cdot q \cdot u_{\text{п}}}{2 \cdot a}; \quad (18)$$

$$w_1 = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 1 \cdot 3.447}{2 \cdot 1} = 136.$$

2.3 Расчет размеров зубцовой зоны статора

Ширина зуба статора b_{z1} :

$$b_{z1} = \frac{B_{\delta} \cdot t_1 \cdot l_{\delta}}{B_{z1} \cdot l_{\text{ст1}} \cdot k_{\text{ст}}}; \quad (19)$$

$$b_{z1} = \frac{1.3 \cdot 0.01 \cdot 0.166}{1.3 \cdot 0.166 \cdot 0.95} = 0.008 \text{ м};$$

где B_{δ} – индукция в воздушном зазоре, $B_{\delta} = 0.6$ Тл;

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
-----	------	----------	---------	------

130302.2019.178.ПЗ

Лист

15

B_{z1} – индукция в зубце статора, $B_{z1} = 1,3$ Тл;

l_{cm1} – длина пакета стали в статоре, $l_{cm1} = 0.166$ м;

k_{cm} – коэффициент заполнения пакета статора сталью, $k_{cm} = 0.95$.

Высота ярма статора h_{a1} :

$$h_{a1} = \frac{B_{\delta} \cdot \tau \cdot l_{\delta} \cdot a_{\delta}}{2 \cdot B_{a1} \cdot l_{ст1} \cdot k_{ст}}; \quad (20)$$
$$h_{a1} = \frac{1.3 \cdot 0.03 \cdot 0.166 \cdot 0.71}{2 \cdot 0.5 \cdot 0.166 \cdot 0.95} = 0.024 \text{ м};$$

где a_{δ} – коэффициент полюсной дуги, $a_{\delta} = 0.7$;

B_{a1} – индукция в ярме статора, $B_{a1} = 1.4$ Тл.

Высота паза статора h_{p1} :

$$h_{p1} = \frac{Da}{2} - \frac{D_{BH}}{2} - h_{a1}; \quad (21)$$
$$h_{p1} = \frac{1.3}{2} - \frac{1.066}{2} - 0.024 = 0.093$$

Высота шлица паза статора $h_{ш1}$:

$$h_{ш1} = 0.0028 \quad (22)$$

Эскиз паза статора представлен на рисунке 2.1.

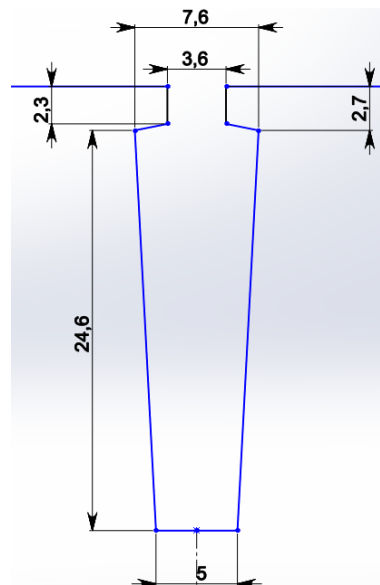


Рисунок 2.1 – Эскиз паза статора

2.4 Расчет основных размеров зубцовой зоны ротора

В данной электрической машине используемый ротор имеет неявнополюсную конструкцию. Трехфазная обмотка возбуждения позволит уменьшить объем меди в обмотке возбуждения.

Число пазов на полюс и фазу ротора q_2 :

$$q_2 = 1. \quad (23)$$

Число фаз обмотки ротора m_2 :

$$m_2 = 1. \quad (24)$$

Число зубцов ротора z_2 :

$$z_2 = 2 \cdot p \cdot m_2 \cdot q_2; \quad (25)$$
$$z_2 = 2 \cdot 68 \cdot 3 \cdot 1 = 408.$$

Зубцовое деление ротора t_2 :

$$t_2 = \frac{\pi \cdot (D_a + 2 \cdot \delta)}{Z_2}; \quad (26)$$
$$t_2 = \frac{3.14 \cdot (1.3 + 2 \cdot 0.001)}{408} = 0.01 \text{ м.}$$

Ширина зубца ротора b_{z2} :

$$b_{z2} = \frac{B_\delta \cdot t_2 \cdot l_\delta}{B_{z2} \cdot l_{ст2} \cdot k_{ст}}; \quad (27)$$
$$b_{z2} = \frac{1.3 \cdot 0.01 \cdot 0.166}{1.35 \cdot 0.166 \cdot 0.95} = 0.005 \text{ м.}$$

где $l_{ст2}$ – длина пакета стали ротора, $l_{ст2} = 0.166$ м;

B_{z2} – индукция в зубце ротора, $B_{z2} = 1.35$ Тл.

Высота ярма ротора h_{a2} :

$$h_{a2} = \frac{B_\delta \cdot \tau \cdot l_\delta \cdot a_\delta}{2 \cdot B_{a2} \cdot l_{ст2} \cdot k_{ст}}; \quad (28)$$

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

130302.2019.178.ПЗ

Лист

17

$$h_{a2} = \frac{0.7 \cdot 0.01 \cdot 0.166 \cdot 0.71}{2 \cdot 0.55 \cdot 0.166 \cdot 0.95} = 0.092 \text{ м.}$$

где B_{a2} – индукция в ярме ротора, $B_{a2} = 0.155$ Тл.

Наружный диаметр пакета ротора D_2 :

$$D_2 = 1.5 \text{ м.} \quad (29)$$

Высота паза ротора h_{p2} :

$$h_{p2} = \frac{D_2}{2} - \frac{D_1 + 2 \cdot \delta}{2} - h_{a2}; \quad (30)$$

$$h_{p2} = \frac{1.5}{2} - \frac{1.3 + 2 \cdot 0.001}{2} - 0.092 = 0.043 \text{ м.}$$

Высота шлица паза ротора $h_{ш2}$:

$$h_{ш2} = 0.002 \text{ м.} \quad (31)$$

На рисунке 2.3 представлен эскиз паза ротора.

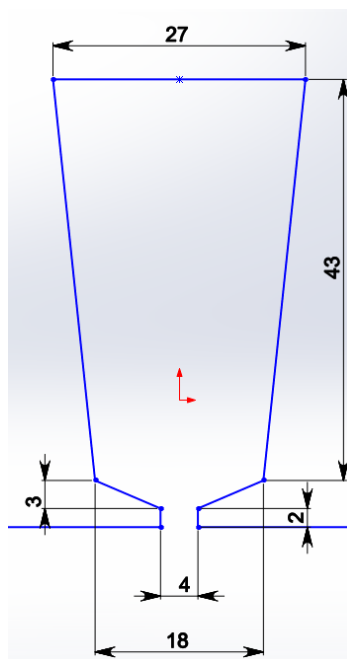


Рисунок 2.3 – Эскиз паза ротора

2.5 Расчет магнитной цепи

Для определения МДС обмотки возбуждения в дальнейшем, рассчитаем магнитную цепь, чтобы найти поток Φ :

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

130302.2019.178.ПЗ

Лист

18

$$\Phi = \frac{E}{4 \cdot k_B \cdot f_1 \cdot w_1 \cdot k_{об1}}; \quad (32)$$

$$\Phi = \frac{238}{4 \cdot 1.11 \cdot 50 \cdot 576 \cdot 0.92} = 2.023 \cdot 10^{-3} \text{ Вб.}$$

Максимальное значение индукции в воздушном зазоре B_δ :

$$B_\delta = \frac{\Phi}{a_\delta \cdot l_\delta \cdot \tau}; \quad (33)$$

$$B_\delta = \frac{2.023 \cdot 10^{-3}}{0.71 \cdot 0.166 \cdot 0.03} = 0.572 \text{ Тл.}$$

Магнитодвижущую силу обмотки возбуждения определим, как сумму магнитных напряжений отдельных участков магнитной цепи машины.

1. Магнитное напряжение воздушного зазора F_δ :

$$F_\delta = \frac{1}{\mu_0} \cdot B_\delta \cdot \delta \cdot k_\delta; \quad (34)$$

$$F_\delta = \frac{1}{1.256 \cdot 10^{-6}} \cdot 0.572 \cdot 0.001 \cdot 1.2 = 546.3 \text{ А.}$$

2. Магнитное напряжение зубцов статора F_{z1}

Индукция в зубцах статора B_{z1} :

$$B_{z1} = \frac{B_\delta \cdot t_{z1} \cdot l_\delta}{b_{z1} \cdot l_{ст1} \cdot k_{ст}}; \quad (35)$$

$$B_{z1} = \frac{0.572 \cdot 0.077 \cdot 0.166}{0.011 \cdot 0.166 \cdot 0.95} = 0.572 \text{ Тл.}$$

Напряженность магнитного поля в зубцах статора H_{z1} :

$$H_{z1} = 495 \text{ А/м.} \quad (36)$$

Магнитное напряжение зубцов статора F_{z1}

$$F_{z1} = H_{z1} \cdot h_{p1}; \quad (37)$$

$$F_{z1} = 495 \cdot 0.093 = 44 \text{ А.}$$

3. Магнитное напряжение спинки статора F_{a1} :

Индукция в спинке статора:

$$B_{a1} = \frac{\Phi}{2 \cdot l_{\delta} \cdot h_{a1} \cdot k_{ст}}; \quad (38)$$
$$B_{a1} = \frac{2.023 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,166 \cdot 0,024 \cdot 0,95} = 0,22 \text{ Тл.}$$

Напряженность магнитного поля H_{a1} :

$$H_{a1} = 390 \text{ А/м.} \quad (39)$$

Длина магнитной линии в спинке статора L_{a1} :

$$L_{a1} = \frac{\pi \cdot (D_a - h_{a1})}{4 \cdot p}; \quad (40)$$
$$L_{a1} = \frac{3,14 \cdot (1,3 - 0,024)}{4 \cdot 68} = 0,015 \text{ м.}$$

Магнитное напряжение спинки статора F_{a1} :

$$F_{a1} = \varepsilon_1 \cdot H_{a1} \cdot L_{a1}; \quad (41)$$
$$F_{a1} = 0,65 \cdot 390 \cdot 0,015 = 5 \text{ А.}$$

4. Магнитное напряжение зубцов ротора F_{z2} :

Индукция в зубцах ротора B_{z2} :

$$B_{z2} = \frac{B_{\delta} \cdot t_{z2} \cdot l_{\delta}}{b_{z2} \cdot l_{ст2} \cdot k_{ст}}; \quad (42)$$
$$B_{z2} = \frac{0,572 \cdot 0,01 \cdot 0,166}{0,005 \cdot 0,166 \cdot 0,95} = 0,594 \text{ Тл.}$$

Напряженность магнитного поля в зубцах ротора H_{z2} :

$$H_{z2} = 545 \text{ А/м.} \quad (43)$$

Магнитное напряжение зубцов ротора F_{z2} :

$$F_{z2} = H_{z2} \cdot h_{p2}; \quad (44)$$

$$F_{z2} = 545 \cdot 0.094 = 48 \text{ A.}$$

5. Магнитное напряжение спинки ротора F_{a2} :

Индукция в спинке ротора:

$$B_{a2} = \frac{\Phi}{2 \cdot l_{\delta} \cdot h_{a2} \cdot k_{ст}}; \quad (45)$$

$$B_{a2} = \frac{2.023 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0.166 \cdot 0.092 \cdot 0.95} = 0.725 \text{ Тл.}$$

Напряженность магнитного поля H_{a2} :

$$H_{a2} = 142 \text{ А/м.} \quad (46)$$

Длина магнитной линии в спинке статора L_{a2} :

$$L_{a2} = \frac{\pi \cdot (D_1 - h_{a2})}{4 \cdot p}; \quad (47)$$

$$L_{a2} = \frac{3.14 \cdot (1.3 - 0.092)}{4 \cdot 68} = 0.015 \text{ м.}$$

Магнитное напряжение спинки статора F_{a2} :

$$F_{a2} = \varepsilon_2 \cdot H_{a2} \cdot L_{a2}; \quad (48)$$

$$F_{a2} = 0.65 \cdot 142 \cdot 0.015 = 1.376 \text{ A.}$$

Исходя из расчетов, приведенных выше найдем магнитодвижущую силу обмотки возбуждения на один полюс при холостом ходе F_b :

$$F_b = F_{\delta} + F_{z1} + F_{a1} + F_{z2} + F_{a2}; \quad (49)$$

$$F_b = 546.3 + 44 + 5 + 48 + 1.376 = 644.6 \text{ A.}$$

Расчет ЭДС для ряда значений: 0.5, 0.7, 1, 1.2, 1.4·Е. Результаты расчета представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты расчета магнитной цепи.

Параметр	0.5·E	0.7·E	E	1.2·E	1.4·E
E, В	119	166.6	238	285	333.2
$\Phi \cdot 10^{-3}$, Вб	1.012	1.416	2.023	2.428	2.832
Bb, Тл	0.286	0.4	0.572	0.686	0.801
Fb, А	273	382.4	546.3	655.5	764.8
Bz1, Тл	0.286	0.4	0.572	0.686	0.801
H _{z1} , А/м	210	330	500	620	780
Fz1, А	18.5	29	44	54.5	68.7
Ba1, Тл	0.11	0.154	0.22	0.264	0.308
Ha1, А/м	220	340	520	620	780
Fa1, А	2.1	3.3	4.96	5.9	7.4
Bz2, Тл	0.297	0.416	0.594	0.713	0.831
H _{z2} , А/м	240	380	545	650	800
Fz2, А	21.1	33.45	48	57.2	70.4
Ba2, А/м	0.362	0.507	0.725	0.87	1.014
Ha2, А	66	116	142	178	186
Fa2, Тл	0.639	1.124	1.376	1.725	1.8
Fb, А	315.5	449.29	644.6	775	913.2

По результатам расчета построим характеристику холостого хода, представленную на рисунке 2.4.

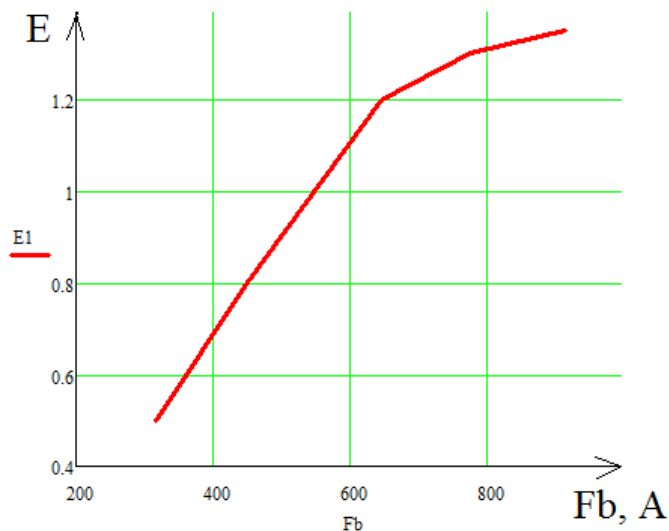


Рисунок 2.4 – Характеристика холостого хода

2.6 Определение параметров обмотки статора для установившегося режима работы машины

Средняя ширина катушки обмотки статора b_{kt1} :

$$b_{kt1} = \frac{\pi(D_a - h_{p1})}{2p}; \quad (50)$$

$$b_{kt1} = \frac{3.14(1.3 - 0.146)}{2 \cdot 68} = 0.027 \text{ м.}$$

Длина лобовой части обмотки статора l_{l1} :

$$l_{l1} = K_{l1} \cdot b_{kt} + 2B; \quad (51)$$

$$l_{l1} = 1.031 \cdot 0.027 + 2 \cdot 0.015 = 0.058 \text{ м.}$$

Средняя длина витка обмотки статора l_{cp1} :

$$l_{cp1} = 2 \cdot (l_{\delta} + l_{l1}); \quad (52)$$

$$l_{cp1} = 2 \cdot (0.166 + 0.058) = 0.411 \text{ м.}$$

Активное сопротивление обмотки статора r_a :

$$r_a = \frac{\rho_j \cdot w_1 \cdot l_{cp1}}{n_{el1} \cdot q_{1ГОСТ} \cdot a}; \quad (53)$$

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

130302.2019.178.ПЗ

Лист

23

$$r_a = \frac{0.024 \cdot 10^{-6} \cdot 575 \cdot 0.411}{2 \cdot 2.04 \cdot 10^{-5} \cdot 1} = 0.346 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление обмотки статора в относительных единицах r_a^* :

$$r_a^* = r_a \cdot \frac{I_{\text{НОМ}}}{U_{\text{НОМ}}}; \quad (54)$$

$$r_a^* = 0.346 \cdot \frac{184}{220} = 0.072$$

Коэффициент удельной проводимости между стенками паза $\lambda_{\text{п}}$:

$$\lambda_{\text{п}} = \frac{h_1 - 2b_{\text{из1}}}{b_1} \cdot k_{\beta} + \left(\frac{b_{\text{из1}}}{b_1} + \frac{3h_{\text{к1}}}{b_1 + 2b_{\text{ш1}}} + \frac{h_{\text{ш1}}}{b_{\text{ш1}}} \right) \cdot k'_{\beta}; \quad (55)$$

$$\lambda_{\text{п}} = \frac{0.036 - 2 \cdot 0.0056}{0.0036} \cdot 1.11 + \left(\frac{0.0028}{0.0036} + \frac{3 \cdot 0.0081}{0.093} + \frac{0.0027}{0.0026} \right) \cdot 1.11 = 2.33$$

Коэффициент удельной проводимости по коронкам зубцов $\lambda_{\text{к}}$:

$$\lambda_{\text{к}} = (a_{\delta} \cdot \lambda'_{\text{к}} + (0.22 + 0.35 \cdot \sqrt{\frac{t_1 - b_{\text{ш1}}}{b_{\text{ш1}}}} \cdot (1 - \alpha_{\delta})) \cdot k'_{\beta}; \quad (56)$$

$$\lambda_{\text{к}} = (0.7 \cdot 0.1 + (0.22 + 0.35 \cdot \sqrt{\frac{0.07 - 0.0026}{0.0026}} \cdot (1 - 0.7))) \cdot 1.11 = 0.297$$

Коэффициент удельной проводимости пазового рассеяния $\lambda_{\text{пк}}$:

$$\lambda_{\text{пк}} = \lambda_{\text{п}} + \lambda_{\text{к}}; \quad (57)$$

$$\lambda_{\text{пк}} = 2.33 + 0.297 = 2.627$$

Коэффициент удельной проводимости лобового рассеяния $\lambda_{\text{л}}$:

$$\lambda_{\text{л}} = 0.34 \cdot (l_{l1} - 0.64 \cdot \beta_1 \cdot \tau) \frac{q_1}{l_{\delta}}; \quad (58)$$

$$\lambda_{\text{л}} = 0.34 \cdot (0.058 - 0.64 \cdot 1 \cdot 0.03) \frac{1}{0.166} = 0.073$$

Коэффициент удельной проводимости дифференциального рассеяния $\lambda_{\text{д}}$:

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
-----	------	----------	---------	------

$$\lambda_d = 0.03 \frac{\tau \cdot a_\delta}{k_\delta \cdot q_1 \cdot \delta}; \quad (59)$$

$$\lambda_d = 0.03 \frac{0.023 \cdot 0.7}{1.11 \cdot 1 \cdot 0.001} = 0.437$$

Индуктивное сопротивление рассеяния фазы обмотки статора x_σ :

$$x_\sigma = 15.8 \cdot \left(\frac{w_1}{100}\right)^2 \cdot \frac{l_\delta}{pq_1} \cdot (\lambda_d + \lambda_l + \lambda_{пк}) \cdot \frac{f}{100}; \quad (60)$$

$$x_\sigma = 15.8 \cdot \left(\frac{576}{100}\right)^2 \cdot \frac{0.166}{68 \cdot 1} \cdot (0.437 + 0.073 + 2.627) \cdot \frac{50}{100} = 2.44 \text{ Ом.}$$

Индуктивное сопротивление фазы обмотки статора в относительных единицах x_σ^* :

$$x_\sigma^* = x_\sigma \cdot \frac{I_{ном}}{U_{ном}}; \quad (61)$$

$$x_\sigma^* = 2.44 \cdot \frac{184}{220} = 2$$

2.7 Определение МДС обмотки возбуждения при нагрузке

Величина МДС, наводимая одной фазой $F_{вн}$:

$$F_{вн} = \frac{F_B}{2}; \quad (62)$$

$$F_{вн} = \frac{644.6}{2} = 322.3 \text{ А.}$$

2.8 Расчет обмотки возбуждения

Средняя ширина катушки обмотки возбуждения b_{kt2} :

$$b_{kt2} = \frac{\pi \cdot (D_a + h_{p2} + 2 \cdot \delta)}{2 \cdot p}; \quad (63)$$

$$b_{kt2} = \frac{3.14 \cdot (1.3 + 0.002 + 2 \cdot 0.001)}{2 \cdot 68} = 0.031 \text{ м.}$$

Длина лобовой части обмотки возбуждения l_{l2} :

$$l_{l2} = K_{l1} \cdot b_{kt2} + 2B; \quad (64)$$

$$l_{l2} = 1.031 \cdot 0.031 + 2 \cdot 0.015 = 0.062 \text{ м.}$$

Средняя длина витка обмотки возбуждения l_{cp2} :

$$l_{cp2} = 2 \cdot (l_{\delta} + l_{l2}); \quad (65)$$

$$l_{cp2} = 2 \cdot (0.166 + 0.062) = 0.456 \text{ м.}$$

Сечение проводника обмотки возбуждения $q_{в2}$:

$$q_{в} = \frac{2 \cdot p \cdot F_{вн} \cdot p_j \cdot l_{cp2}}{U_{н}}; \quad (66)$$

$$q_{в} = \frac{2 \cdot 68 \cdot 322.2 \cdot 2.4 \cdot 10^{-8} \cdot 0.52}{220} = 2.6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Исходя из найденного сечения проводника из табличных значений выбираем провод требуемого сечения:

$$d_{внеиз} \text{ ГОСТ} = 2.83 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad (67)$$

$$d_{виз} \text{ ГОСТ} = 1.9 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad (68)$$

$$q_{в} \text{ ГОСТ} = 2.83 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2. \quad (69)$$

Плотность тока в обмотке возбуждения $J_{в}$:

$$J_{в} = 0.5 \cdot 10^6 \text{ А/м.} \quad (70)$$

Значение тока в обмотке возбуждения $I_{в}$:

$$I_{в} = J_{в} \cdot q_{в} \text{ ГОСТ}; \quad (71)$$

$$I_{в} = 0.5 \cdot 10^6 \cdot 2.83 \cdot 10^{-6} = 1.415 \text{ А.}$$

Число витков в катушке обмотки возбуждения $w_{в}$:

$$w_{в} = \frac{F_{вн}}{I_{в}}; \quad (72)$$

$$w_{в} = \frac{322.2}{1.415} = 227,7$$

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
-----	------	----------	---------	------

130302.2019.178.ПЗ

Лист

26

Сопротивление обмотки возбуждения r_B :

$$r_B = \frac{2p \cdot \rho_j \cdot w_B \cdot l_{cp2}}{q_B \text{ГОСТ}}; \quad (73)$$

$$r_B = \frac{2 \cdot 68 \cdot 2.4 \cdot 10^{-8} \cdot 227.7 \cdot 0.52}{2.83 \cdot 10^{-6}} = 136.6 \text{ Ом.}$$

2.9 Определение массы активных материалов

Масса зубцов статора m_{z1} :

$$m_{z1} = 7800 \cdot l_{ст1} \cdot k_{ст} \cdot h_{p1} \cdot b_{z1} \cdot Z_1; \quad (74)$$

$$m_{z1} = 7800 \cdot 0.166 \cdot 0.95 \cdot 0.037 \cdot 0.146 \cdot 408 = 328.284 \text{ кг.}$$

Масса ярма магнитопровода статора m_{a1} :

$$m_{a1} = 7800 \cdot l_{ст1} \cdot h_{a1} \cdot \pi \cdot (D + h_{a1}); \quad (75)$$

$$m_{a1} = 7800 \cdot 0.166 \cdot 0.036 \cdot 3.14 \cdot (1.3 + 0.036) = 16.9 \text{ кг.}$$

Масса меди обмотки статора m_{m1} :

$$m_{m1} = 8900 \cdot q_1 \text{ГОСТ} \cdot n_{эл1} \cdot u_{п1} \cdot Z_1 \frac{l_{cp1}}{2}; \quad (76)$$

$$m_{m1} = 8900 \cdot 0.312 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 2.45 \cdot 408 \frac{0.166}{2} = 153.85 \text{ кг.}$$

Масса зубцов ротора m_{z2} :

$$m_{z2} = 7800 \cdot l_{ст2} \cdot k_{ст} \cdot h_{p2} \cdot b_{z2} \cdot Z_2; \quad (77)$$

$$m_{z2} = 7800 \cdot 0.166 \cdot 0.95 \cdot 0.009 \cdot 0.146 \cdot 408 = 124.75 \text{ кг.}$$

Масса ярма магнитопровода ротора m_{a2} :

$$m_{a2} = 7800 \cdot l_{ст2} \cdot h_{a2} \cdot \pi \cdot (D + 2h_{a2} + 2\delta); \quad (78)$$

$$m_{a2} = 7800 \cdot 0.166 \cdot 0.009 \cdot 3.14 \cdot (1.5 + 2 \cdot 0.036 + 2 \cdot 0.001) = 63.9 \text{ кг.}$$

Масса меди обмотки ротора m_{m2} :

$$m_{m2} = 8900 \cdot q_B \text{ГОСТ} \cdot n_{эл2} \cdot u_{п2} \cdot Z_2 \frac{l_{cp2}}{2}; \quad (79)$$

$$m_{m2} = 8900 \cdot 2.83 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 2.45 \cdot 408 \frac{0.166}{2} = 50.45 \text{ кг.}$$

Полная масса меди m_m :

$$m_m = m_{m1} + m_{m2}; \quad (80)$$

$$m_m = 153.85 + 50.54 = 204.39 \text{ кг.}$$

Полная масса активной стали $m_{ст}$:

$$m_{ст} = m_{a1} + m_{a2} + m_{z1} + m_{z2}; \quad (81)$$

$$m_{ст} = 16.9 + 63.9 + 328.3 + 124.75 = 533.85 \text{ кг.}$$

2.9 Определение потерь и КПД

Потери на возбуждение P_B :

$$P_B = m_2 \cdot I_B^2 \cdot r_B; \quad (82)$$

$$P_B = 3 \cdot 1.415^2 \cdot 136 = 817 \text{ Вт.}$$

Основные электрические потери в обмотке статора $P_{эл}$:

$$P_{эл} = m_1 \cdot I_{1ном.ф}^2 \cdot r_{a1}; \quad (83)$$

$$P_{эл} = 3 \cdot 184^2 \cdot 0.346 \cdot 10^{-3} = 35 \text{ Вт.}$$

Основные механические $P_{мех}$:

$$P_{мех} = 3.68 \cdot p \cdot \left(\frac{v}{40}\right)^3 \cdot \sqrt{l_1}; \quad (84)$$

$$P_{мех} = 3.68 \cdot 68 \cdot \left(\frac{3}{40}\right)^3 \cdot \sqrt{0.166} = 305 \text{ Вт.}$$

Магнитные потери в ярме статора P_a :

$$P_a = k_{da} \cdot B_{a1} \cdot m_{a1} \cdot p_z \cdot \left(\frac{f}{50}\right)^{1.3}; \quad (85)$$

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

130302.2019.178.ПЗ

Лист

28

$$P_a = 1.5 \cdot 0.5 \cdot 16.9 \cdot 3.1 \cdot \left(\frac{50}{50}\right)^{1.3} = 39.3 \text{ Вт.}$$

Магнитные потери в зубцах статора P_z :

$$P_z = k_{dz} \cdot B_{z1} \cdot m_{z1} \cdot p_z \cdot \left(\frac{f}{50}\right)^{1.3}; \quad (86)$$

$$P_z = 2 \cdot 1.35 \cdot 328.3 \cdot 3.1 \cdot \left(\frac{50}{50}\right)^{1.3} = 700 \text{ Вт.}$$

Полные магнитные потери P_{mg} :

$$P_{mg} = P_z + P_a; \quad (87)$$

$$P_{mg} = 700 + 39.3 = 739.3 \text{ Вт.}$$

Добавочные потери $P_{доб}$:

$$P_{доб} = 0.005 \cdot P_n; \quad (88)$$

$$P_{доб} = 0.005 \cdot 30\,000 = 150 \text{ Вт.}$$

Общие потери ΣP :

$$\sum P = P_{mg} + P_v + P_{эл} + P_{доб} + P_{мех}; \quad (89)$$

$$\sum P = 739.3 + 817 + 35 + 150 + 300 = 2\,041 \text{ Вт.}$$

Коэффициент полезного действия η :

$$\eta = 1 - \frac{\sum P}{P_n}; \quad (90)$$

$$\eta = 1 - \frac{2\,041}{30\,000} = 0.93$$

2.10 Расчет рабочих характеристик

Работу генератора можно описать двумя характеристиками: регулировочной и внешней. Регулировочная характеристика – зависимость тока

возбуждения от тока якоря. Регулировочная характеристика представлена на рисунке 2.5.

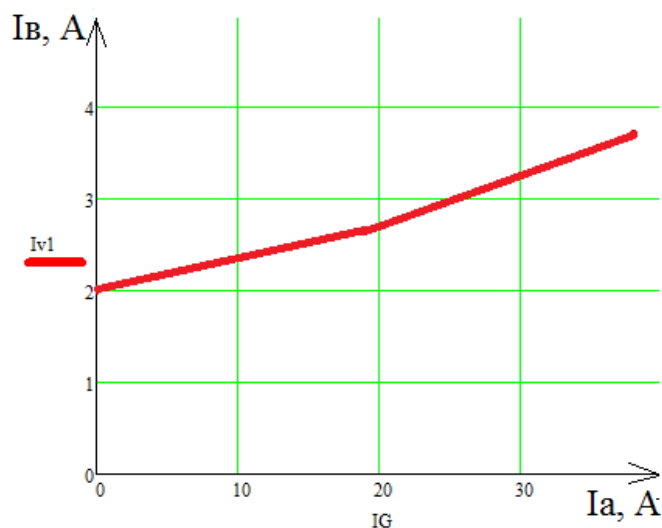


Рисунок 2.5 – Регулировочная характеристика АСГ

Внешняя характеристика – зависимость напряжения на генераторе от тока якоря. Внешняя характеристика представлена на рисунке 2.6.

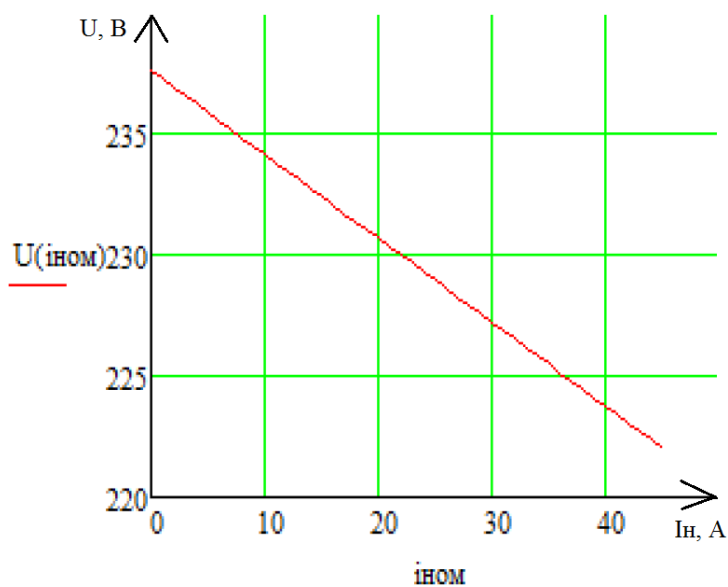


Рисунок 2.6 – Внешняя характеристика АСГ

На рисунке 2.7 представлена характеристика КПД от полезной мощности на валу.

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

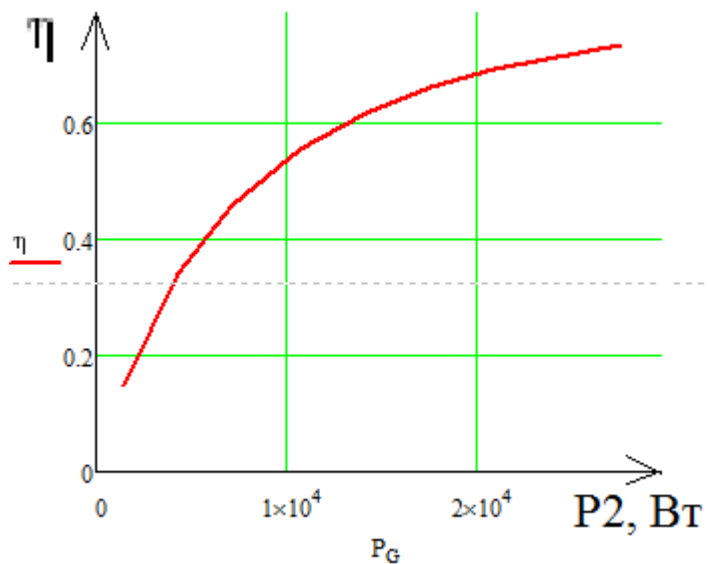


Рисунок 2.7 – Характеристика КПД от полезной мощности на валу

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

130302.2019.178.ПЗ

3 СПЕЦИАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

3.1 Обзор пакета ANSYS ELECTRONICS MAXWELL

ANSYS Maxwell — ведущий программный продукт для моделирования 2D и 3D электромагнитных полей, используемый для проектирования и исследования двумерных и трехмерных моделей, в том числе двигателей, датчиков, трансформаторов и других электрических и электромеханических устройств различного типа. *ANSYS Maxwell* базируется на методе конечных элементов и точно рассчитывает статические, гармонические электромагнитные и электрические поля, а также переходные процессы в полевых задачах.

3.2 Моделирование в пакете *Maxwell*

На рисунках, представленных ниже отображен пошаговый процесс моделирования в пакете *Ansys Maxwell*.

Первым шагом в работе с программой *Maxwell* является открытие нового проекта в *RMxprt* и выбора соответствующей машины, что представлено на рисунке 3.1.

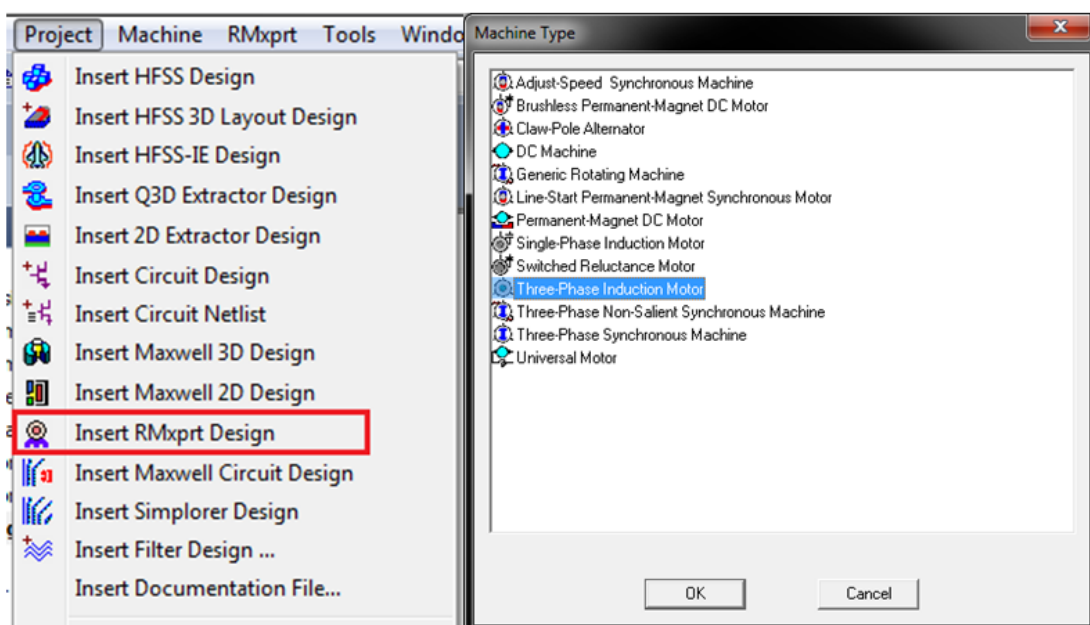


Рисунок 3.1 – Создание нового проекта в *RMxprt*

На рисунках 3.2 – 3.6 представлены диалоговые окна в которые необходимо ввести параметры машины: главные размеры машины, материал, вид ротора, количество полюсов и пазов статора их тип и геометрию, тип обмотки, число параллельных ветвей, количество элементарных проводников, шаг обмотки, коэффициент заполнения медью.

Name	Value	Unit	Evaluated Value	Description	Read-only
Source Type	AC			AC or DC source to deli...	<input type="checkbox"/>
Structure	Outer Rotor			Inner rotor, outer rotor, ...	<input type="checkbox"/>
Stator Type	SLOT_AC			The stator core type	<input type="checkbox"/>
Rotor Type	SLOT_AC			The rotor core type	<input type="checkbox"/>

Рисунок 3.2 – вкладка «Machine»

Name	Value	Unit	Evaluated Value	Description	Read-only
Number of Poles	68			Number of poles based...	<input type="checkbox"/>
Number of Slots	408			Number of slots of the ir...	<input type="checkbox"/>
Circuit Type	Y3			Drive circuit type	<input type="checkbox"/>
Slot Type	3			Slot type of the iron core	<input type="checkbox"/>
Position Control	<input type="checkbox"/>			Drive circuit is controll...	<input type="checkbox"/>

Рисунок 3.3 – вкладка «Stator»

Name	Value	Unit	Evaluated Value	Description	Read-only
Outer Diameter	1300	mm	1300mm	Outer diameter of the ir...	<input type="checkbox"/>
Inner Diameter	1100	mm	1100mm	Inner diameter of iron c...	<input type="checkbox"/>
Length	166	mm	166mm	Length of the iron core	<input type="checkbox"/>
Stacking Factor	0.95			Stacking factor of the ir...	<input type="checkbox"/>
Steel Type	steel_1010			Steel type of the iron c...	<input type="checkbox"/>
Press Board T...	0	mm		One side thickness of t...	<input type="checkbox"/>
Magnetic Pres...	<input type="checkbox"/>			Pole press board is ma...	<input type="checkbox"/>
Skew Width	0	deg	0deg	Skew width measured i...	<input type="checkbox"/>
Lamination Se...	0			The number of laminati...	<input type="checkbox"/>

Рисунок 3.4 – вкладка «Core»

Name	Value	Unit	Evaluated Value
Auto Design	<input type="checkbox"/>		
Parallel Tooth	<input checked="" type="checkbox"/>		
Tooth Width	11	mm	11mm
Hs0	2.8	mm	2.8mm
Hs1	1	mm	1mm
Hs2	64.2	mm	64.2mm
Bs0	3	mm	3mm
Rs	0	mm	0mm

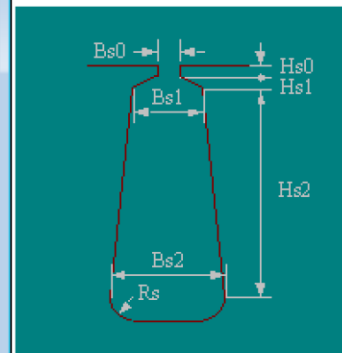


Рисунок 3.5 – вкладка «Stator»

Name	Value	Unit	Evaluated Value	Description	Read-only
Outer Diameter	1500	mm	1500mm	Outer diameter of the ir...	<input type="checkbox"/>
Inner Diameter	1302	mm	1302mm	Inner diameter of iron c...	<input type="checkbox"/>
Length	166	mm	166mm	Length of the iron core	<input type="checkbox"/>
Stacking Factor	0.95			Stacking factor of the ir...	<input type="checkbox"/>
Steel Type	steel_1010			Steel type of the iron c...	<input type="checkbox"/>
Press Board T...	0	mm		One side thickness of t...	<input type="checkbox"/>
Magnetic Pres...	<input type="checkbox"/>			Pole press board is ma...	<input type="checkbox"/>
Skew Width	0	deg	0deg	Skew width measured i...	<input type="checkbox"/>
Lamination Se...	0			The number of laminati...	<input type="checkbox"/>

Рисунок 3.6 – вкладка «Winding»

Далее проделываем те же шаги для ротора. После окончания моделирования в окне «Analyse setup» задаем параметры номинального выходного напряжения и номинальной скорости вращения. После этого преобразуем аналитическую модель в 2D-модель для получения характеристик и графиков путем симуляции вращения. 2D-модель представлена на рисунке 3.7.

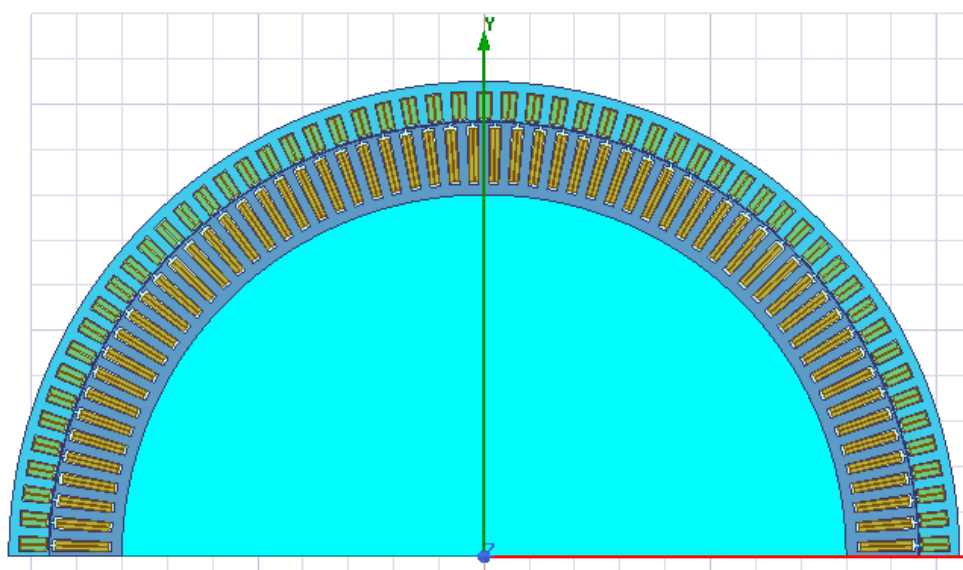


Рисунок 3.7 – Плоскость разрез машины

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

130302.2019.178.ПЗ

Лист

34

После запуска процесса анализа вращения машины получаем графики выходного напряжения, представленные на рисунке 3.8.

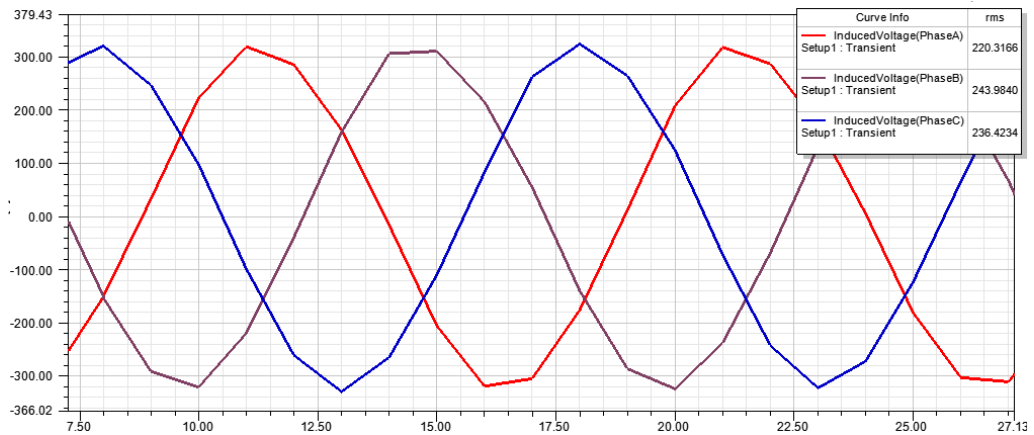


Рисунок 3.8 – Выходное напряжение генератора

После завершения процесса анализа можем посмотреть на картину магнитного поля машины, результаты представлены на рисунках 3.9 и 3.10.

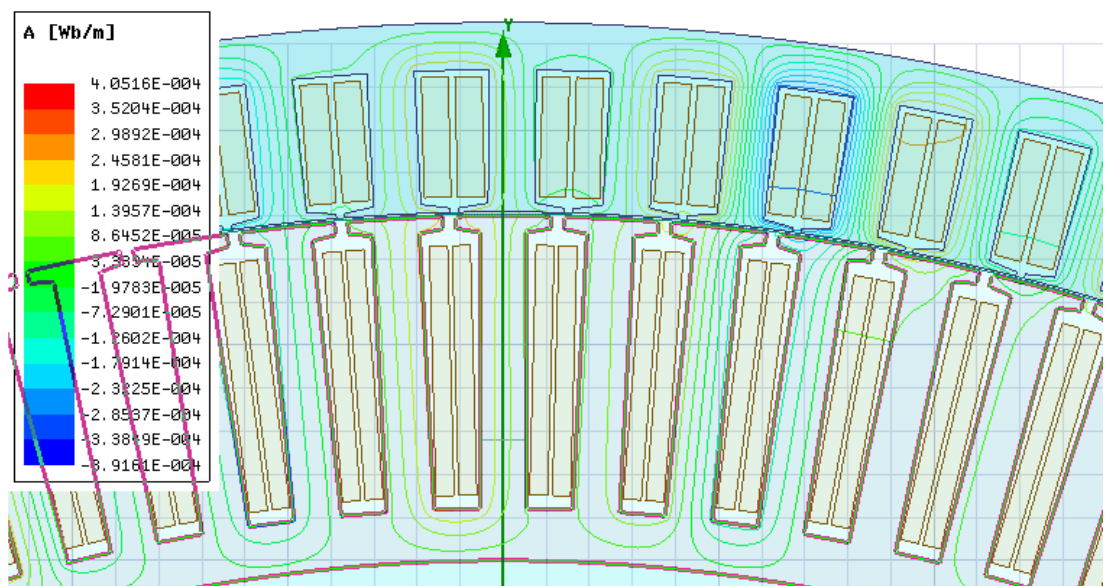


Рисунок 3.9 – Линии магнитной индукции машины

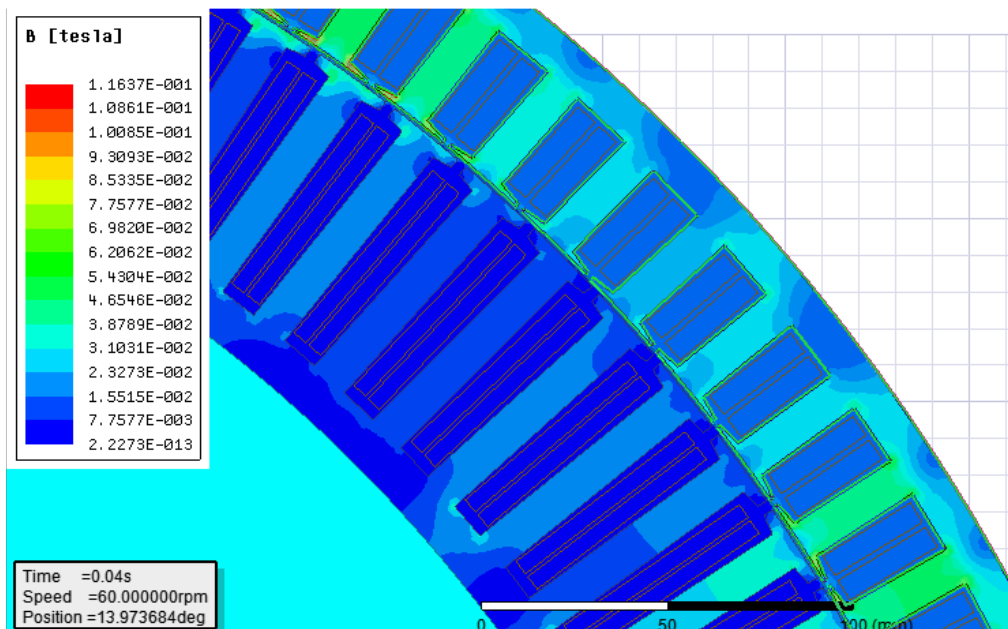


Рисунок 3.10 – Магнитное поле машины

Инициализируем построение 3D-модели для наглядного отображения магнитной системы. Результаты представлены на рисунке 3.11.

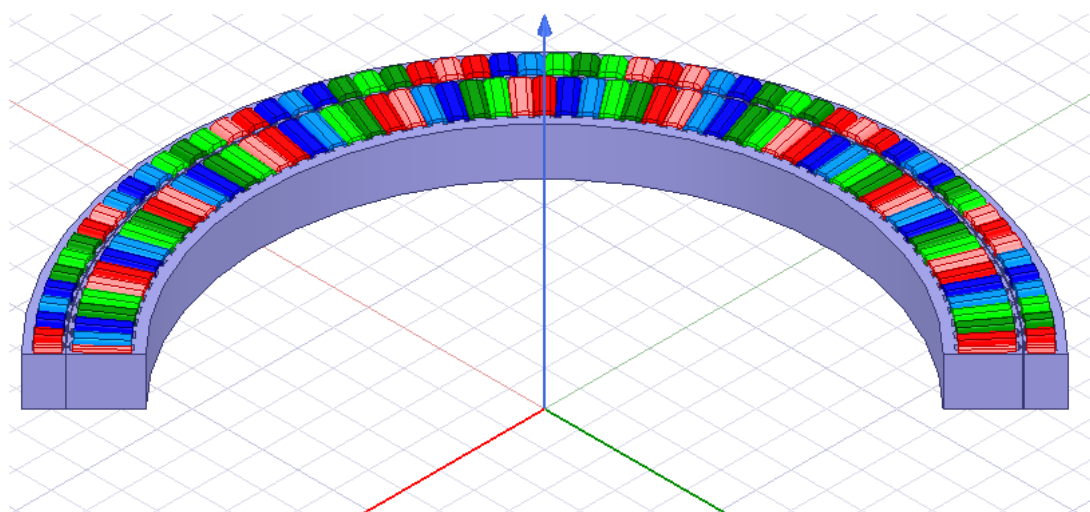


Рисунок 3.11 – Трехмерная модель машины в пакете *Ansys MaxWell*

3.3 Обзор программного пакета *SolidWorks*

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

3.4 Создание 3D модели и сборки в *SolidWorks*

В рамках данной работы в программном пакете *SolidWorks* была разработана полноценная трехмерная сборка асинхронизированного синхронного генератора, представленная на рисунках 3.12 и 3.13.

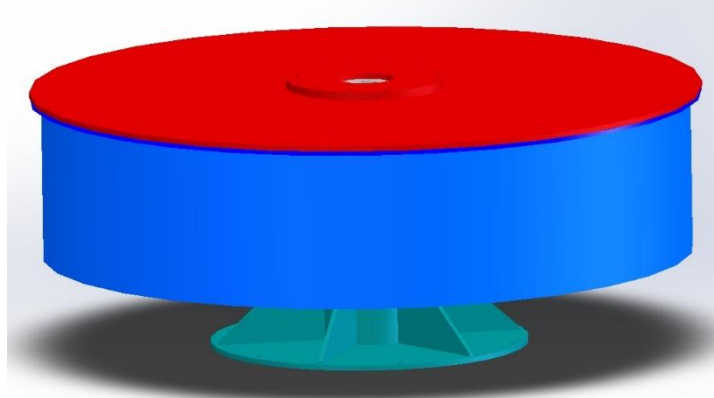


Рисунок 3.12 – Трехмерная модель сборки в пакете *SolidWorks*

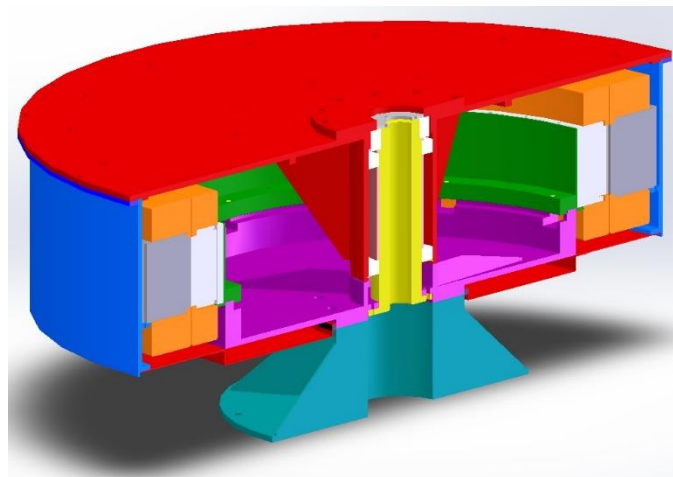


Рисунок 3.13 – Разрез трехмерной модели сборки в пакете *SolidWorks*

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе дипломной работы по заданным параметрам был разработан асинхронизированный синхронный генератор мощностью 30 кВт, с частотой вращения 45 об/мин для ветроустановки.

Была выбрана конструкция с обращенным исполнением генератора. Для него были рассчитаны геометрические размеры, выполнен расчет обмоток, расчет магнитной цепи, потерь и коэффициент полезного действия, а также построены рабочие характеристики.

Спроектированный генератор полностью удовлетворяет требованиям технического задания.

При разработке квалификационной работы были использованы следующие программные средства: *MathCad 15.0, SolidWorks 2013, Ansys Electromagnetics Suite 17.2, MicroSoft Office Word 2015.*

										Лист
										38
Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	<i>130302.2019.178.ПЗ</i>					

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Использование энергии ветра в СССР // Бурят-Монгольская правда. № 109 (782) 18 мая 1926 года. — С. 7.
2. Ветреная ветряная энергетика // Наука и жизнь. — 2013. — № 7. — С. 42.
3. Отчет о функционировании ЕЭС России в 2018 году. АО «СО ЕЭС».
4. Российская ассоциация ветроиндустрии. - <https://rawi.ru/windpower/faq/> (дата обращения 01.06.2019)
5. Проектирование электрических машин: учебник для вузов. / И.П. Копылов, Б.К. Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев; Под ред. И.П. Копылова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2011. – 767 с
6. Вольдек, А.И. Электрические машины: учебник для вузов /А.И. Вольдек. – Л.: Энергия, 1978. – 832 с.
7. СТО ЮУрГУ 04-2008 Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению / составители: Т.И. Парубочная, Н.В. Сырейщикова, В.И. Гузеев, Л.В. Винокурова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 56 с.

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

130302.2019.178.ПЗ

Лист

39