

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Факультет «Аэрокосмический»
Кафедра «Летательные аппараты»
Направление 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой,
д.т.н., проф.

_____ / Дегтярь В.Г./
«__» _____ 2020 г.

**РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОЙ НАГРУЗКИ С РЕКУПЕРАЦИЕЙ
ЭНЕРГИИ**
ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ

ЮУрГУ–13.03.02. 2020.316.09 ПЗ ВКР

Руководитель ВКР: к.т.н., доцент
_____/Н.В. Клиначев/
_____ 2020 г.

Автор работы:
Студент группы П-428
_____/А.А. Пабст /
_____ 2020 г.

АННОТАЦИЯ

Пабст А.А. Разработка электронной нагрузки с рекуперацией энергии – Челябинск: ЮУрГУ, П-428; 2020, 50с., 21 ил., 5 табл., библиогр. список – 9 назим., 2 приложения.

Выпускная квалификационная работа состоит из: введения, глав, которые поделены на параграфы, заключения и списка литературы.

В первой главе рассказано о электронных нагрузках их видах и принципах работы.

Во второй главе говорится о рекуперации энергии, и что она из себя представляет.

В третьей главе расписана функциональная схема работы.

В четвертой главе был расписан подбор трехфазного трансформатора его назначение и принцип действия.

В пятой главе было рассказано, как был подобран частотный преобразователь.

В шестой главе говорится как прошла разработка электронной нагрузки.

В заключении были приведены основные выводы, которые были получены в результате проведенного исследования.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.316.09 ПЗ ВКР</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Пабст А.А.</i>			<i>Разработка электронной нагрузки с рекуперацией энергии</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Пров.</i>		<i>Клиначев Н.В.</i>					<i>6</i>	<i>50</i>
<i>Н. контр.</i>		<i>Шабуров П.О.</i>			<i>ЮУрГУ</i>			
<i>Утв.</i>		<i>Дегтярь В.Г.</i>			<i>Летательные аппараты</i>			

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	8
1. ЭЛЕКТРОННЫЕ НАГРУЗКИ ИХ ВИДЫ И ПРИНЦИП РАБОТЫ.....	9
1.1. Для чего используют электронные нагрузки	9
1.2. Какие бывают электронные нагрузки	10
2. РЕКУПЕРАЦИЯ ЭНЕРГИИ	14
2.1. Принцип рекуперации энергии	14
2.2. Виды рекуперации.....	15
3. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА	20
4. ТРЕХФАЗНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР	21
5. ЧАСТОТНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ	23
6. РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОЙ НАГРУЗКИ	25
6.1. DC-DC преобразователь.....	25
6.2. Датчики тока.....	28
6.3. Микроконтроллер STM32F303CBT6	30
6.4. Приемопередатчик ADM2582EBRWZ.	36
6.5. Чип стабилизации напряжения MC34063ADE4	38
6.6. Регулятор напряжения MCP1700T-3302ETT	39
6.7. Схема измерения напряжения шины постоянного тока.....	40
6.8. Дискретно-импульсная модель DC-DC преобразователя	41
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	44
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	45
ПРИЛОЖЕНИЕ А	46
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	47

ВВЕДЕНИЕ

Электронная нагрузка – это устройство, предназначенное для имитации различных режимов работы фактической электрической нагрузки. В этом случае электронная нагрузка может работать в нескольких режимах потребления. Наиболее распространенными являются: режим постоянного сопротивления, режим постоянного потребления тока, режим постоянной мощности и режим стабилизации напряжения. Большинство моделей электронных нагрузок также поддерживают режим изменения их состояния в соответствии со списком определяемых пользователем значений, что позволяет реализовать сложные алгоритмы тестирования, которые наилучшим образом соответствуют работе тестируемых устройств в реальных условиях.

					ЮУрГУ-13.03.02.2020.316.09 ПЗ ВКР	Лист
						8
Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата		

1. ЭЛЕКТРОННЫЕ НАГРУЗКИ ИХ ВИДЫ И ПРИНЦИП РАБОТЫ

1.1. Для чего используются электронные нагрузки.

Основной задачей электронных нагрузок является проверка различных источников энергии: аккумуляторов, источников питания, преобразователей напряжения, регуляторов и стабилизаторов напряжения, солнечных батарей, генераторов и других подобных устройств (рис. 1.1). Для тестирования, электронная нагрузка связана с тестируемым источником питания, и выполняется один или несколько тестов. В то же время электронная нагрузка ведет себя как реальная нагрузка: например, она изменяет свое сопротивление в соответствии с заданным алгоритмом, моделирует большие начальные токи запуска, короткого замыкания и другие заданные вами условия. Во время теста электронная нагрузка постоянно измеряет напряжение, ток и потребление энергии. [1]

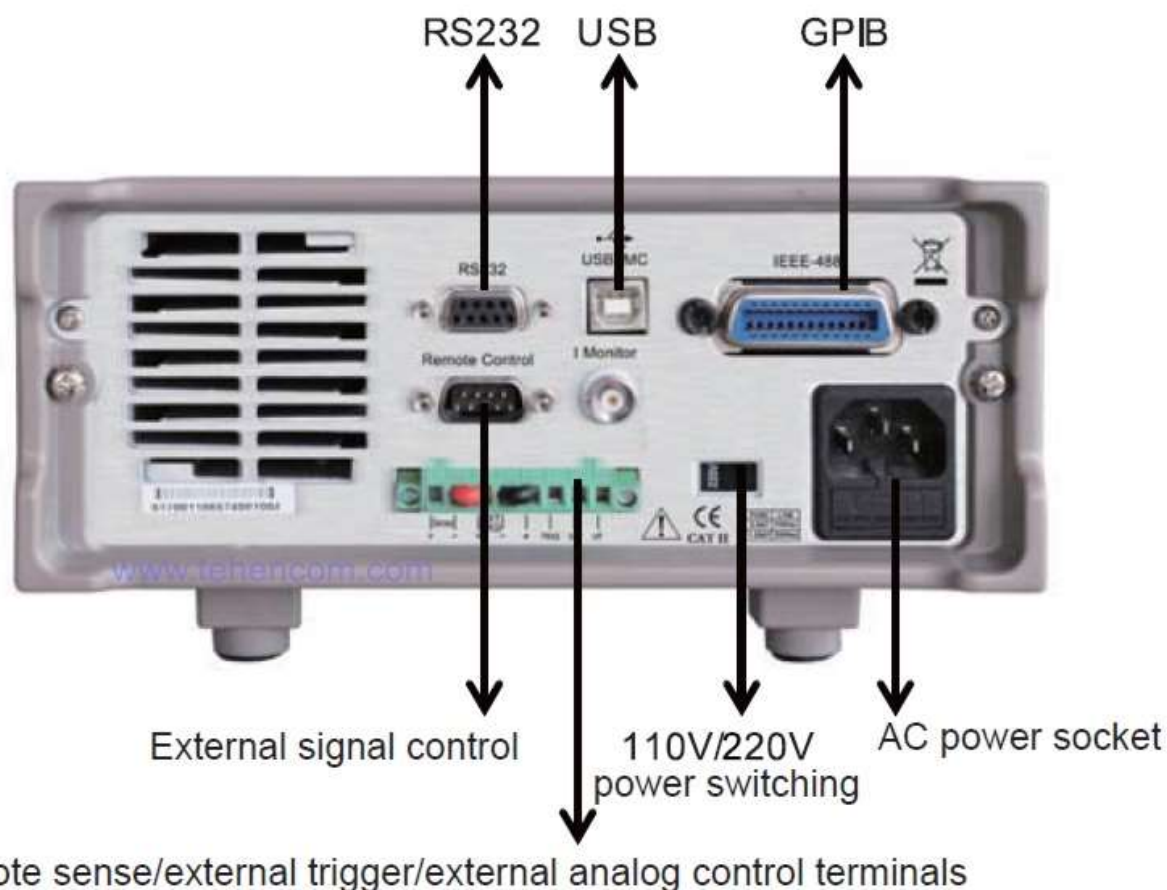


Рис. 1.1 – Примеры устройств, для проверки работы которых применяют электронные нагрузки

Большинство электронных нагрузок содержат точный мультиметр, который

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.316.09 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		9

измеряет напряжение, ток и энергию, потребляемую нагрузкой. Некоторые модели могут выполнять стандартную разрядку аккумуляторов и батарей путем измерения фактической емкости аккумулятора в ампер часах. Многие модели могут также управляться компьютером, что позволяет использовать их как часть автоматизированных систем контроля и измерений (рис. 1.2).



Remote sense/external trigger/external analog control terminals

Рис. 1.2 – Задняя панель маломощной электронной нагрузки серии IT8800 с интерфейсными разъёмами для подключения к компьютеру

1.2. Какие бывают электронные нагрузки

Большая часть серии электронных нагрузок предназначена для тестирования источников питания постоянного тока (батареи, источники питания, солнечные батареи и т. Д.). Типичными примерами являются серии ITECH IT8500 + и ITECH IT8800. Для тестирования источников питания переменного тока (преобразователей, источников бесперебойного питания, трансформаторов и т.д.)

Изготавливаются специализированные электронные нагрузки переменного и постоянного тока переменного и постоянного тока, что является типичным примером: серия ITECH IT8615.

Структурные серийные электронные нагрузки изготавливаются в приборных шкафах. Размер и вес корпуса напрямую зависят от максимальной мощности, которая может рассеивать нагрузку. Модели с самым низким энергопотреблением могут рассеивать около 100 Вт и размещаются в небольших компактных корпусах, таких как IT8211, с выходной мощностью 150 Вт (рис. 1.3).



Рис. 1.3 – Типичная маломощная электронная нагрузка
(модель ITECH IT8211, максимальная мощность 150 Вт)

Более серьезные модели, такие как пятикиловаттный ITECH IT8818B, могут

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата

быть установлены в промышленную стойку и весить 40 килограмм или более (рис. 1.4).



Рис. 1.4 – Типичная мощная электронная нагрузка
(модель ITECH IT8818B, максимальная мощность 5 кВт)

Существуют также модели, способные рассеивать от десятков до сотен киловатт. В серии ITECH IT8800 вы найдете варианты дизайна для электронных нагрузок различной мощности.

Иногда вместо электронных нагрузок используется реостат (мощное переменное сопротивление) для снижения затрат. Использование реостата при испытаниях энергетического оборудования связано с такими ограничениями:

- отсутствие режима постоянного тока потребления;
- отсутствие режима постоянной мощности;
- отсутствие режима стабилизации напряжения;
- отсутствие режима изменения состояния по списку заданных значений;
- отсутствие автоматизации работы;
- значительная индуктивность реостата;

- необходимость использовать дополнительный вольтметр и амперметр.

Поэтому вместо устаревших методов испытаний более эффективно и в конечном итоге дешевле использовать современное оборудование, специально предназначенное для конкретной задачи.

Использование хорошей электронной нагрузки может значительно упростить и ускорить процесс тестирования любых источников энергии, а также обеспечить безопасный и эффективный процесс. [2]

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.316.09 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>13</i>

2. РЕКУПЕРАЦИЯ ЭНЕРГИИ

2.1. Принцип рекуперации энергии

Принцип работы рекуперативной электронной нагрузки легко объяснить на основе рисунка 2.1.

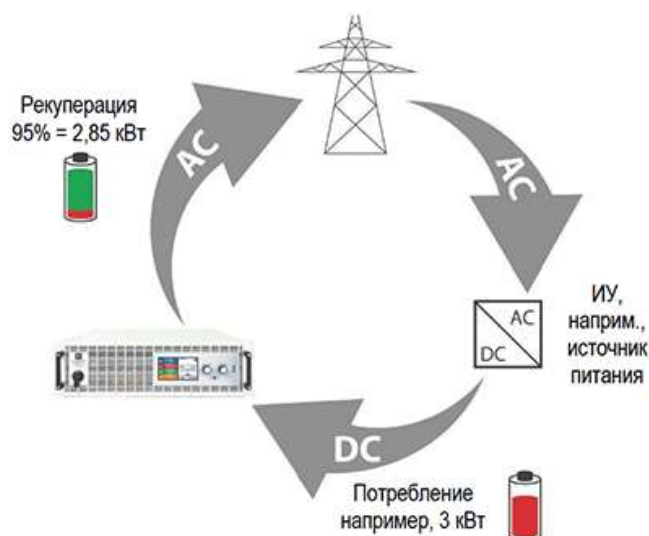


Рис. 2.1 – Принцип рекуперации энергии

Тестируемое устройство представляет собой аккумулятор, который потребляет около 3 кВт энергии. Как показано на рисунке 2.2, энергия постоянного тока подается на вход преобразователя постоянного тока (преобразователя постоянного тока), который подготавливает усилие для дальнейшего преобразования. На последнем этапе происходит процесс преобразования энергии постоянного тока в энергию, реагирующую на переменный ток. [3]

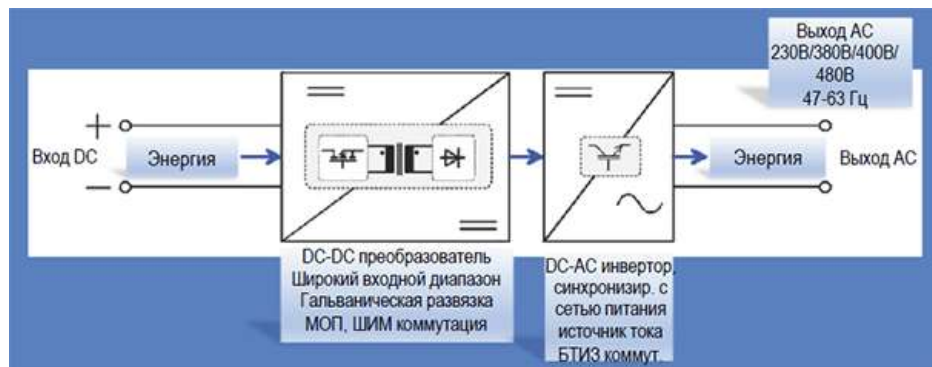


Рис. 2.2 – Процесс преобразования мощности

Полученная энергия затем возвращается в сеть и может быть использована в соответствии с отраслью или фабрикой помещения. Если возвратная энергия больше, чем та, которая потребляется пользователями в локальной сети, остаточную энергию в конечном итоге потребляют соседние компании, получающие ее через общедоступную сеть за пределами здания, где проводятся испытания оборудования.

2.2. Виды рекуперации.

Избыточную энергию, накопленную в преобразователях частоты при торможении асинхронных двигателей с высокой инерционной нагрузкой (ПТО, стойки, электрический транспортный порт, намоточные машины, центрифуги и т. Д.), рассеивали специальными тормозными резисторами. При работе в этих режимах необходимо было ограничить уровень напряжения на шине преобразователя постоянного тока. В противном случае отказ от использования тормозных резисторов поставил бы под угрозу отказ преобразователей частоты или невозможность установить необходимые временные линейные изменения для ускорения и торможения управляемых механизмов. [4]

Использование тормозных резисторов не оказывает существенного влияния на стоимость систем оборудования, но при их конструкции и эксплуатации это вызывает ряд неудобств, а именно: большие размеры тормозных резисторов, нагрев поверхности тормозных резисторов до 100 °C и более, обязательная за-

щита резисторов. от пыли и влаги и т. д. Однако самое неприятное состоит в том, что избыточная энергия превращается в ненужное тепло, за которое общество платит деньги. В теплый период, когда температура в помещениях с технологическим оборудованием уже достаточно высока, тормозные резисторы, подключенные к инвертору, способствуют еще большему увеличению. Это означает, что дополнительная вентиляция или даже кондиционирование воздуха в помещениях крайне необходимы, и это опять-таки представляет дополнительную стоимость. Но в конце концов, вы не можете рассеивать избыточную энергию на резисторы, а возвращать ее в электросеть, тем самым экономя дорогие энергоресурсы. Системы рекуперации энергии используются для этой цели. Было доказано, что современные преобразователи частоты могут значительно снизить энергопотребление оборудования и оптимизировать различные процессы, что приводит к экономии сырья и других ресурсов, а также помогает улучшить качество конечного продукта. Существует потенциал для дальнейшей экономии при замене систем управления частотой с тормозными резисторами на системы восстановления питания от сети. Теперь энергия, генерируемая при торможении электродвигателей, может возвращаться в сеть и вносить полную корректировку в ее параметры в соответствии с параметрами сети. Ведущие производители промышленного оборудования и механизмов уже широко используют эти системы, эти системы нашли применение в электромобилях (электropоезда, трамваи, троллейбусы, эскалаторы).

Для возврата накопленной мощности к источнику переменного тока в качестве входного выпрямителя блока рекуперации используются преобразователи с источником ШИМ-напряжения. Теперь переменный ток может течь в любом направлении, ток можно регулировать, и можно получить почти единичный коэффициент мощности. Когда преобразователь частоты работает в режиме рекуперации, IGBT-транзисторный каскад (используемый в качестве выходной фазы в приводе двигателя) действует как синусоидальный выпрямитель, который преобразует переменный ток в постоянное напряжение для питания системы. Когда двигатель интенсивно тормозится и, как результат, на линии постоянного

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.316.09 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		16

тока преобразователя частоты возникает избыточное напряжение выше определенного уровня, IGBT-каскад ПЧ-транзисторов генерирует ШИМ-сигнал в направлении сети. Разность напряжений между фазовым напряжением ШИМ и напряжением питающей сети подается на катушки индуктивности (рекуперативные катушки индуктивности). Это напряжение содержит много высокочастотных гармоник, которые блокируются индуктивностью, и на выходе преобразователя получается синусоидальный ток с небольшим добавлением высших гармоник. Никаких дополнительных устройств не требуется для синхронизации питания восстановления диска с сетью. Частота и угол вектора сетевого напряжения определяются путем подачи в модулятор ШИМ трех специальных испытательных импульсов.

Одним из проверенных и эффективных решений для рекуперации энергии является использование преобразователей частоты Control Techniques Unidrive SP. Примеры их использования на стендах динамических испытаний автомобилей многих автозаводов, в металлургии, на эскалаторах, кранах и т.д. Конфигурация такой системы может иметь несколько типов, но ее суть сводится к одному - организовать двусторонний поток энергии в и из переменного источника энергии. Следующие факторы должны быть приняты во внимание при определении мощностей и рейтингов компонентов системы восстановления:

1. Изменение сетевого напряжения.
2. Номинальный ток двигателя, напряжение, коэффициент мощности.
3. Максимальная производительность нагрузки и условия перегрузки.
4. Потери в единицах и других компонентах.

На рисунке 2.3 показана общая схема системы рекуперации, когда используется один привод двигателя и один диск рекуперации. Для такой системы привод двигателя и рекуперативный привод обычно имеют одинаковые номинальные значения. Однако подробный расчет может показать, что характер нагрузки подразумевает, что привод двигателя работает с перегрузкой, если напряжение питания рекуперативного привода находится на нижнем пределе, то оно может не покрывать энергию, генерируемую приводом двигателя, и си-

стемные потери. Тогда необходимо использовать блок регкуперации с более высокой производительностью.

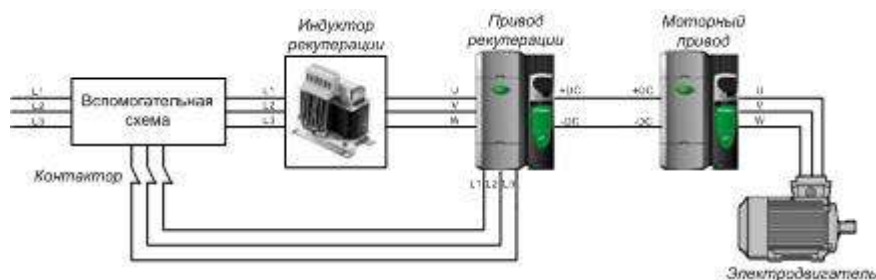


Рис. 2.3 – Система с одним приводом регкуперации и одним моторным приводом

На рисунке 2.4 показана общая схема системы восстановления с использованием нескольких блоков двигателя и одного блока восстановления. В таких конфигурациях с несколькими блоками привод восстановления должен выбираться так, чтобы обеспечить общую мощность всех приводов двигателя с учетом потерь, включая его собственные. В этом случае, конечно, необходимо учитывать характер нагрузки для каждого привода двигателя в отдельности, так как можно одновременно тормозить все двигатели в системе.

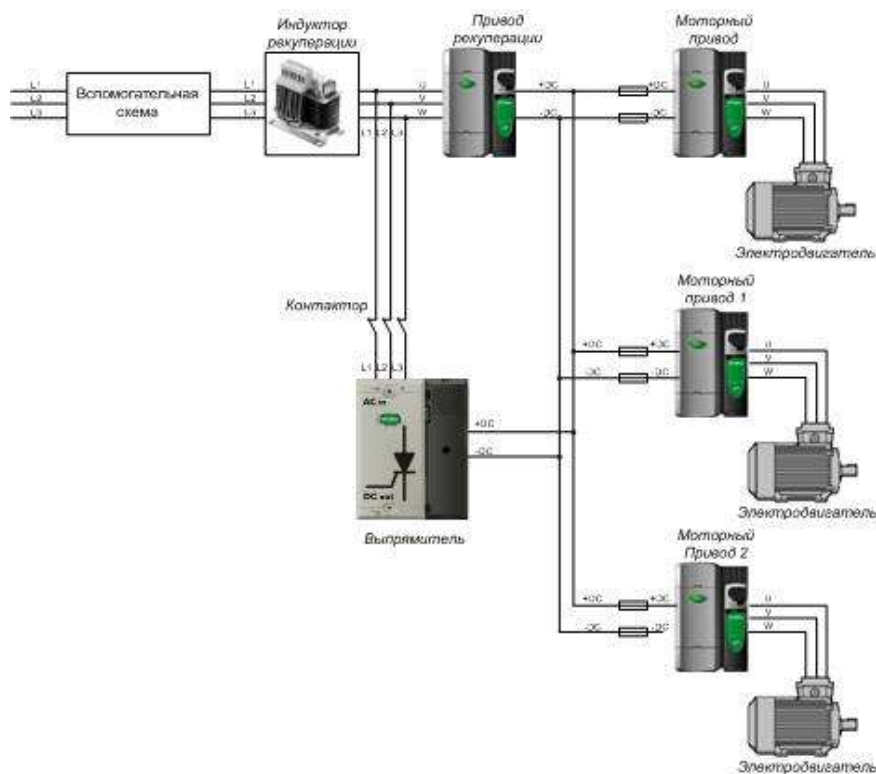


Рис. 2.4 – Система с одним приводом регкуперации и несколькими моторными приводами

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата

При включении системы с несколькими приводами, подключенными через шину постоянного тока, необходимо ограничить начальный ток, поскольку электролитические конденсаторы в звене постоянного тока преобразователей частоты имеют низкое сопротивление. Для этого используется тиристорный выпрямительный модуль SPMC, который соединен контактором для зарядки конденсаторов объединенной шины постоянного тока преобразователей. Убедившись, что шина постоянно заряжена до номинального напряжения, выпрямительный модуль SPMC отключается.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.316.09 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		<i>19</i>

3. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА

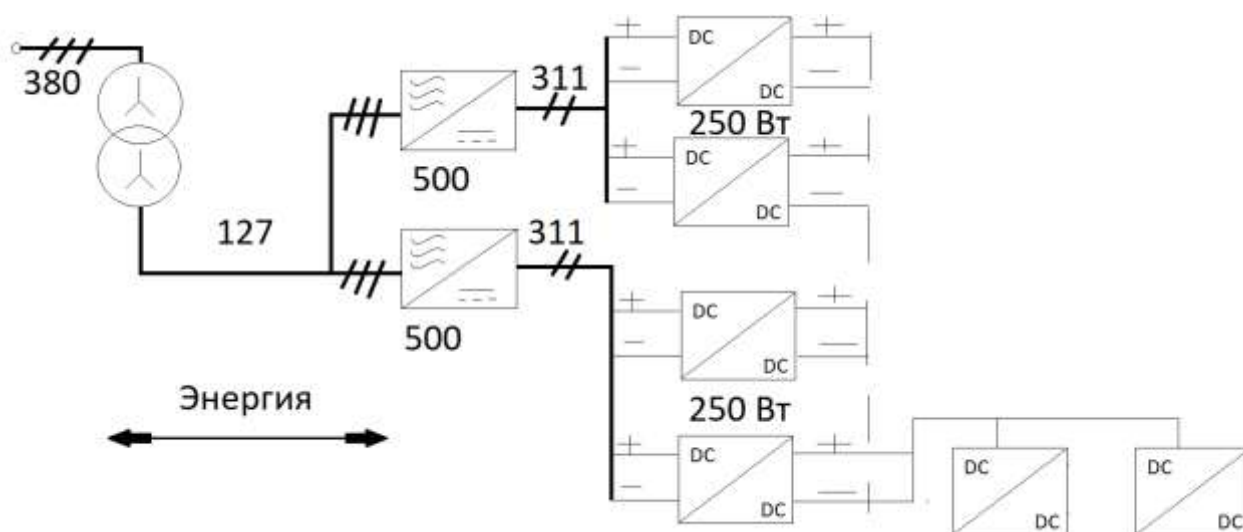


Рис. 3.1 – Функциональная схема

На рисунке 3.1 изображено сеть с напряжением 380 В., к которой подключен трехфазный трансформатор, из трансформатора по шине уже передается напряжение 127 В., далее идет на частотный преобразователь, а с него уже на DC-DC преобразователь. [5]

4. ТРЕХФАЗНЫЙ ТРАНСФОРМАТОР

Выбор трансформатора.

Был подобран трансформатор ТСМ-1,0 УХЛЗ 380/127, который изображен на рисунке 4.1, техническая характеристика указана в таблице 4.1.

Трансформаторы серии ТСМ предназначены для питания выпрямительных схем, полупроводниковых преобразователей станков, электрических инструментов и других устройств, требующих пониженного трехфазного напряжения.

ТСМ – трехфазный, сухой, многоцелевого назначения.



Рис. 4.1 – Трансформатор ТСМ-1,0 УХЛЗ 380/127

Климатическое исполнение УХЛ, категория размещения 2, 3 по ГОСТ 15150-69. Значения температуры воздуха при эксплуатации от +40 до – 60 °С. Трансформатор ТСМ 1,0 - трехфазный, сухой, многоцелевой. Заявленная мощность - 1 кВ·А. Тип трансформатора - открытый. Из-за перепадов напряжения на производстве страдает дорогостоящее оборудование, многоцелевой трансформатор ТСМ-1,0 понижает напряжение в сети и питает цепи станков, агрегатов и различный электроинструмент. Климатическое исполнение трансформатора – УХЛЗ. Эта серия трансформаторов - встраиваемая, инсталляция транс-

						Лист
					ЮУрГУ-13.03.02.2020.316.09 ПЗ ВКР	21
Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата		

форматора - в закрытых помещениях. Степень защиты от поражения током IP00 по ГОСТ14254-96. Векторная диаграмма напряжения представлена на рисунке 4.2.

Таблица 4.1. Технические характеристики трансформатора ТСМ-1,0

Мощность	1 кВ·А
Напряжение первичной обмотки	380 В Л
Напряжение вторичной обмотки	127 В Л
Ток холостого хода	20%
Напряжение короткого замыкания	5,5%
КПД	91%
Длина	300 мм
Ширина	130 мм
Высота	160 мм
Масса	11 кг

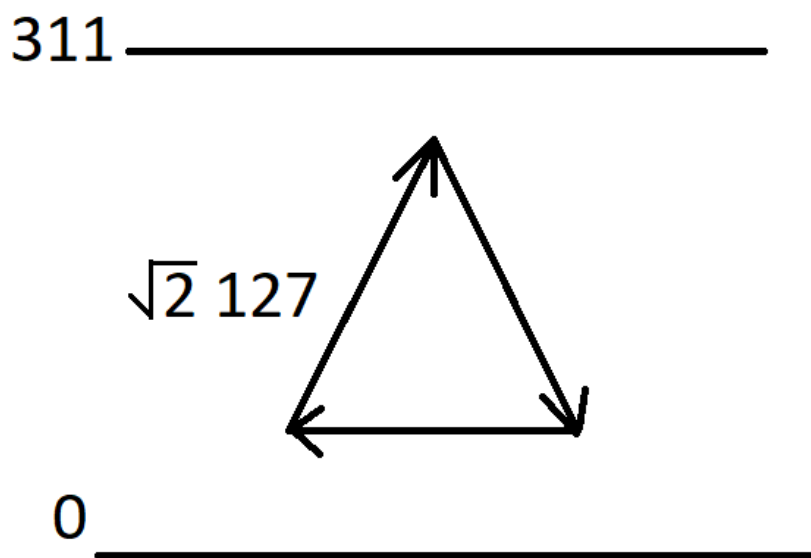


Рис. 4.2 – Векторная диаграмма напряжения трехфазного трансформатора

5. ЧАСТОТНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Выбор частотного преобразователя. Частотный преобразователь работает в реверсивном режиме. Преобразователи частоты серии SINAMICS G110 (рис 5.1), его техническая характеристика указана в таблице 5.1, производятся мощностью от 120 Вт до 1 кВт (для однофазных сетей), применяются для изменения и регулирования скорости вращения низковольтных двигателей переменного тока с нагрузкой постоянного типа (конвейеры, привода автоматических дверей и т.д.) или вентиляторного типа (центробежные насосы, вентиляторы и т. д.)

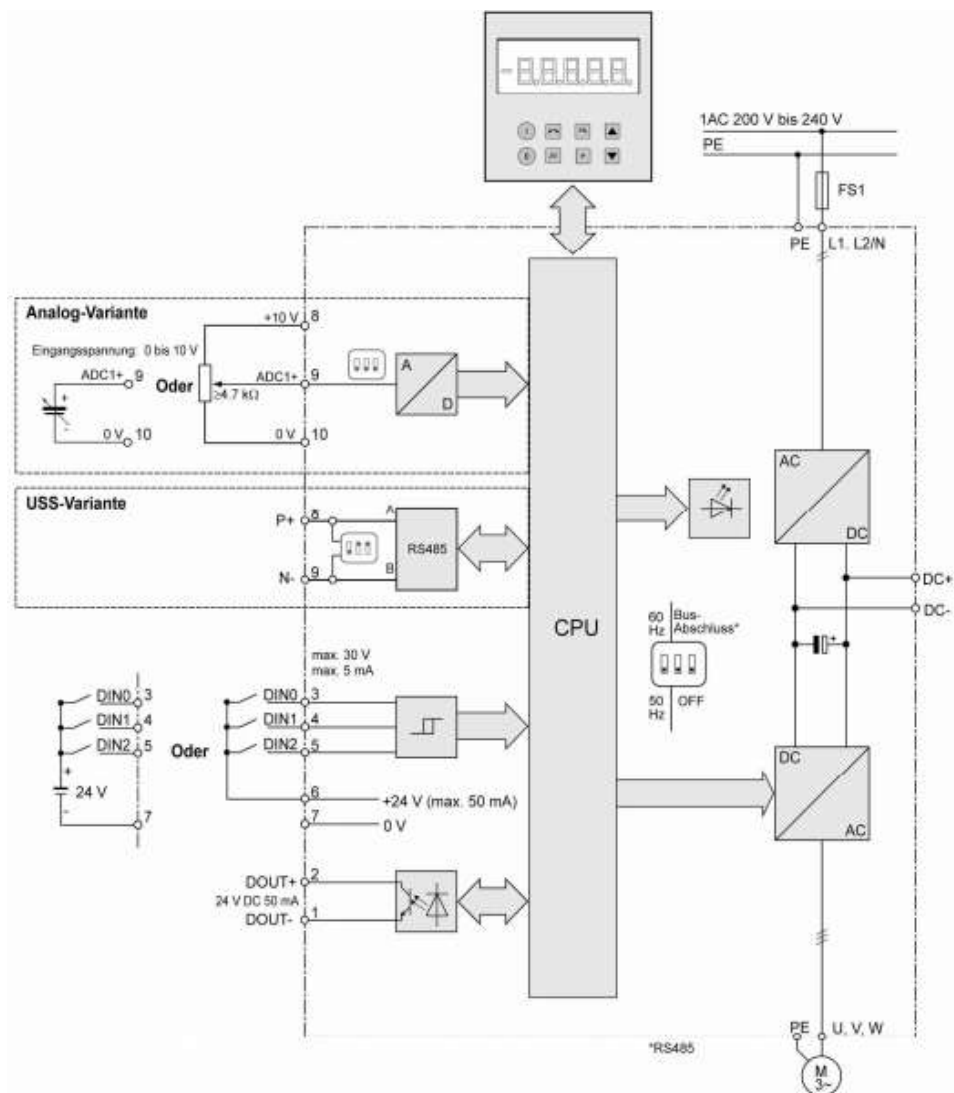


Рис. 5.1 – Преобразователь частоты SINAMICS G110

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата

Таблица 5.1. Технические характеристики

Параметр	Технические характеристики
Сетевое напряжение	120-240 В
Диапазон мощностей	120 Вт-1,0 кВт
Выходная частота	0-95 Гц

6. РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОЙ НАГРУЗКИ

Электрическая принципиальная схема электронной нагрузки, собранная в Easy EDA, представлена в Приложении А. Вся схема состоит из:

- dc-dc преобразователя;
- датчиков тока;
- микроконтроллера;
- приемопередатчика.

Далее будет подробно рассмотрен каждый из компонентов. [6]

6.1. DC-DC преобразователь

Для начала был выбран трехфазный инвертор (рис 6.1), чтобы не было короткого замыкания при перегонке энергии из сети и обратно, техническая характеристика представлена на рисунке 6.2. [7]

Высокопроизводительные приводы Motionch SPM Fairchild Semiconductor являются альтернативой традиционным приводам с дискретными приводами. Части этой серии предназначены для использования в кондиционерах, водяных насосах, стиральных машинах, холодильных камерах и другом оборудовании. Модуль объединяет цепи управления и защиты от короткого замыкания и пониженного напряжения. Наличие высоковольтных интегральных микросхем (HVIC) значительно упрощает схемы цепи управления электроприводом и уменьшает габариты окончного оборудования. За счет оптимизации структуры значительно снижаются потери на коммутацию и проводимость, что повышает энергоэффективность привода. Кроме того, переходный отклик улучшается без значительной потери эффективности устройства управления. Характерные особенности и интегрированные функции модулей серии SPM включают рабочее

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.316.09 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		25

напряжение - 600 В, ток от 3 до 30 А, встроенные IGBT-транзисторы с низкими потерями и диоды FRD, надежные и проверенные компоненты IGBT и HVIC, схемы защиты от короткого замыкания и схемы плавного пуска, интерфейс гальванически изолированный заземленный источник питания, встроенный в HVIC, напряжение изоляции 2500 В (в течение 1 минуты), минимальные токи утечки, вызванные керамической или композитной подложкой DBC и входным интерфейсом 3,3 В, 5 В (совместимо с CMOS-TTLS). Как уже упоминалось, функция внутренних цепей модуля обеспечивает безопасную работу, когда Motion-SPM напрямую подключен к контроллеру цифрового сигнала (DSP) или процессору без внешней последовательной логики.

Встроенные в модуль органы управления верхним и нижним рычагами (HVIC и LVIC) обладают необходимой минимальной функциональностью для обеспечения стабильной работы модуля и минимального энергопотребления. В частности, HVIC имеет встроенные схемы сдвига уровня, которые позволяют подключать цепи управления без оптопары или изоляции трансформатора, а также схемы отключения по напряжению (UVLO), которые защищают от пониженного напряжения, которое останавливает работу IGBT, когда управляющее напряжение падает, чтобы исключить линейную работу. А цепь низкого напряжения оснащена схемой защиты от короткого замыкания с внешним резистором от короткого замыкания (с выходным сигналом ошибки).

Кроме того, контроллер затвора IGBT можно подключить к источнику питания 15 В, что освобождает разработчиков от необходимости иметь три изолированных источника питания. Fairchild активно работает над улучшением производительности модулей серии SPM. Во-первых, технологическое усовершенствование силовых элементов 3-фазного инвертора (IGBT и FRD) и основные задачи при проектировании силовых компонентов заключается в уменьшении площади кристаллов и повышении их производительности.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.316.09 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
						26
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

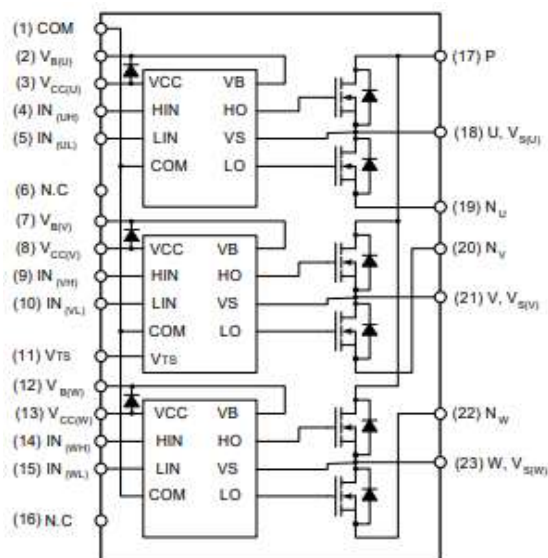


Рис. 6.1 – Трехфазный инвертор FSB50450

V_{IH}	ON Threshold Voltage	Logic HIGH Level	Applied between V_{IN} and COM	-	-	2.9	V
V_{IL}	OFF Threshold Voltage	Logic LOW Level		0.8	-	-	V

Рис. 6.2 – Техническая характеристика по напряжению

На основе трехфазного инвертера был собран DC-DC преобразователь в программе Easy EDA, схема представлена на рисунке 6.3.

Схема состоит из:

- диодов VD1, VD2, VD3;
- резисторов R1, R2, R3;
- конденсаторов C1, C2, C3, C4;
- транзисторов MOSFET n-канальных VT1, VT2, VT3, VT4, VT5, VT6;
- индуктивностей L1, L2, L3.

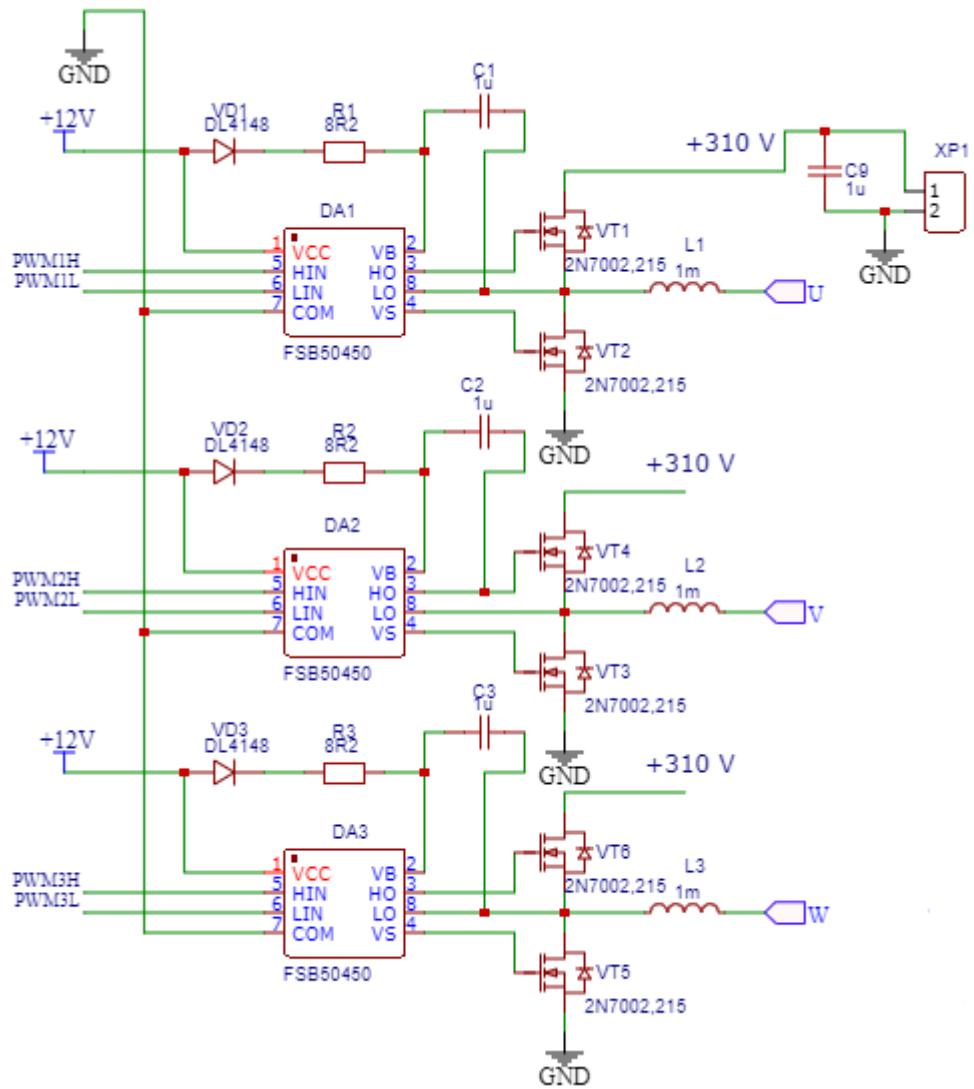


Рис. 6.3 – DC-DC преобразователь в схеме Easy EDA

6.2. Датчики тока

На рисунке 6.4 представлены датчики тока ACS712ELCTR-05B-T, обозначенные буквами DA4, DA5, DA6, техническая характеристика представлена в таблице 6.1. [8]

Датчики тока ACS712ELCTR-05B-T используются для определения силы переменного или постоянного тока в электрических цепях.

Датчик тока состоит из магнитопровода с зазором и компенсационной обмотки, датчика Холла и платы с электронными схемами для обработки элект-

трических сигналов. Датчик Холла служит магниточувствительным элементом, который закреплен в зазоре магнитопровода и подключен к входу усилителя.

Принцип действия ACS712ELCTR-05B-T: измеренный ток генерирует магнитное поле, датчик Холла измеряет соответствующее напряжение, усиливает его на выходе и подает на выходную обмотку.

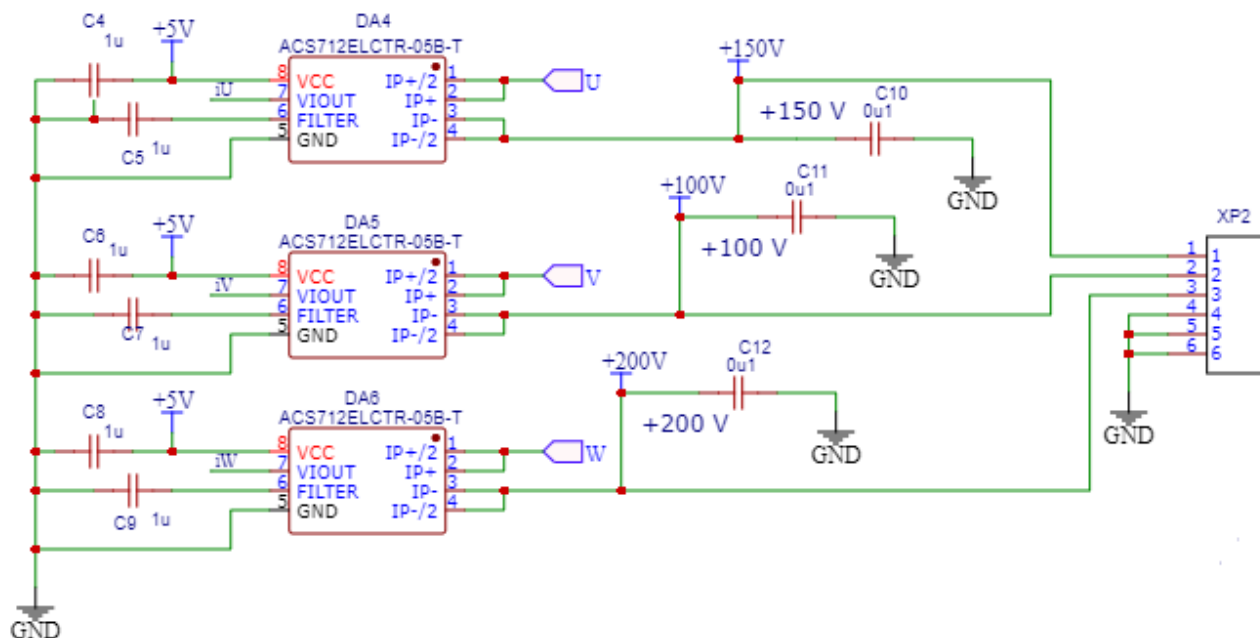


Рис. 6.4 – Датчики тока ACS712ELCTR-05B-T

Таблица 6.1. Техническая характеристика датчики тока ACS712ELCTR-05B-T

Поляризация	Униполярная
Точность	1,5%
Ток покоя	5 А
Полоса пропускания	80 кГц
Напряжение питания (min)	4,5 В
Напряжение питания (max)	5,5 В
Тип завершения	SMD
Корпус	SOIC
Рабочий диапазон температуры	-20...+80 °С

6.3. Микроконтроллер STM32F303CBT6

Далее на схеме представлен микроконтроллер STM32F303CBT6, он показан на рисунке 6.5 и обозначен на схеме DD1.1, DD1.2.

Микроконтроллер - это микросхема, которая состоит из:

- центральное процессорное устройство. Содержит блок управления, регистры, ПЗУ (только для чтения);
- периферийные устройства, которые включают порты ввода-вывода, контроллеры прерываний, таймеры, различные генераторы импульсов, аналоговые преобразователи и тому подобное.

Микроконтроллер часто называют микропроцессором. Но это не так. Он выполняет только определенные математические и логические операции. Микроконтроллер также включает в себя микропроцессор с другими элементами, которые являются только частью МК.

Несмотря на сложное оснащение, принцип работы микроконтроллера очень прост. Он основан на аналоговом принципе работы. Система понимает только две команды («есть сигнал», «нет сигнала»). Из этих сигналов код конкретной команды записывается в ее память. Когда МК читает команду, она выполняет ее.

Каждый МС имеет свои основные инструкции. И только он способен принять и исполнить. Комбинируя отдельные команды, вы можете написать уникальную программу, которая будет работать на любом электронном устройстве именно так, как нужно.

В связи с тем, что микроконтроллеры очень просты в использовании, имеют высокую интеграционную емкость и низкое энергопотребление, области их применения различны:

- автомобильная промышленность;
- роботизированный;

									Лист
									30
Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2020.316.09 ПЗ ВКР				

- авиастроение и судостроение;
- промышленное оборудование;
- электронные детские игрушки;
- компьютеры, телефоны;
- электронные музыкальные инструменты;
- оборудование;
- медицинское оборудование;
- управление препятствиями и воротами;
- семафоры, семафоры;
- рельсовый транспорт.

Это не полный список приложений для МС.

Основная цель МК - управлять всеми процессами, происходящими на его платформе. От включения и выключения ватного света до подъема штор при смене уличного освещения. МК фактически контролирует состояние определенных переменных и изменяет систему в динамических условиях.

Микроконтроллер, как и любое электронное устройство, нуждается в энергии для работы. Большинство приборов работают на 5 вольт. Частота входящего тока влияет на деятельность Министерства культуры. Низкое напряжение также требует низких частотных пределов. Чем выше частота, тем быстрее работают некоторые модели.

Если модель имеет несколько входов и выходов питания, необходимо подключить их все.

Аналого-цифровой преобразователь питается от дополнительных фильтров. Это поможет избавиться от помех, которые могут изменить значения напряжения. В этом случае напряжение подается на положительный вход через дроссель фильтра. И нулевые выводы делятся на цифровые и аналоговые. Кроме того, они могут подключаться только в одной точке.

Кроме того, необходимо установить конденсаторы, предпочтительно керамические, в количестве 1 на 100 нанофард.

Контроль МК может быть выполнен двумя способами:

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.316.09 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
						<i>31</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		

1. Проводная дорожка. Контроллеры управляются через электропроводящее соединение цепей управления и контроллеров. Включение - нажатием кнопки на пульте управления или на клавиатуре.

2. Беспроводной метод. Этот метод управления не требует кабельного соединения. Сигнал передается от передатчика или пульта дистанционного управления (РС), который направляется на приемник.

Беспроводные сигналы могут быть:

- аналогичные сигналы контролируются бытовой техникой: телевизоры или кондиционеры;
- есть несколько вариантов: Wi-Fi, Bluetooth и т.д.

Развитие современных средств связи позволяет управлять контроллерами с помощью пульта дистанционного управления, который находится в непосредственной близости от устройства, и через Интернет из любой точки мира через локальную сеть.

Обеспечивает поддержку сети Wi-Fi МК ESP 8266. Он имеет 32-битное ядро, вы должны запрограммировать его через последовательный порт UART. Существуют более продвинутые карты с возможностью прошивки через USB - это NodeMCU. Например, они могут хранить информацию, записанную с датчиков. Такие платы работают с различными интерфейсами, в том числе SPI, I2S.

Поддерживает большое количество функций:

- диспетчер задач;
- таймер;
- канал АЦП;
- генерирование ШИМ-сигнала на выходе;
- аудиоплеер и многое другое.

Каждый тип контроллера имеет свои собственные периферийные устройства, которые работают автономно, т.е. независимо от центрального ядра. Когда

периферийное устройство завершает свою задачу, оно может сообщать или не сообщать о ЦП. Это зависит от того, как это запрограммировано.

На МК могут быть следующие устройства:

- аналоговый компаратор. Его основная задача - сравнить входное (измеренное) напряжение с идеальным. Если измеренное напряжение выше идеального, то компаратор выдает сигнал логической 1 (устройство выключается), если оно ниже, то логическая 0 (устройство продолжит работать);
- аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Он измеряет аналоговое напряжение в течение определенного периода времени и предоставляет его в цифровом виде. Не все МС;
- таймер / счетчик. Это комбинация 2-х форм таймера и счетчика. Таймер генерирует временные интервалы, а цифровой счетчик подсчитывает количество импульсов, поступающих от внутреннего генератора частоты или сигналов от внешних источников. Одним из представителей таймера / счетчика может быть ШИМ (широтно-импульсный модулятор). Он предназначен для регулирования среднего значения напряжения под нагрузкой;
- сторожевой таймер. Его задача - перезапустить программу через некоторое время;
- модуль прерываний. Он информирует МС о наступлении события и прерывает программу. Когда событие завершается, прерванная программа восстанавливается.

Не все эти периферийные устройства обязательно присутствуют в каждом МС. Есть и другие, менее распространенные устройства.

Чтобы микроконтроллер мог выполнять необходимые функции и решать определенные задачи, он должен быть запрограммирован.

Путь программирования проходит несколько этапов:

1. Прежде чем начать писать программный код, вы должны определиться с конечной целью.
2. Алгоритм программы скомпилирован.
3. Прямое написание программного кода. Коды написаны на С или Ассемблере.
4. Компиляция программы, то есть ее перевод в двоичные или шестнадцатеричные системы 1 и 0. Только так МК может понять.
5. Скомпилированный код записывается в память контроллера.
6. Перепрошивка МК с помощью программатора. Существует два типа соединений: через COM или USB порт.
7. Тестирование и настройка МК на реальном оборудовании.

Языки программирования для МК не сильно отличаются от классических компьютерных языков. Основное отличие состоит в том, что МК ориентированы на работу с периферийными устройствами. МК архитектура требует бит-ориентированных инструкций. Поэтому для контроллеров были созданы специальные языки:

- ассемблер. Самый низкий уровень языка. Программы, написанные на нем, громоздки и трудны для понимания. Но это все же позволяет полностью раскрыть все возможности контроллеров и получить максимальную производительность и компактный код. Особенно подходит для маленьких 8-битных МК;
- с / с ++. Более высокий уровень языка. Написанная на нем программа более понятна человеку. Сегодня существует множество программных инструментов и библиотек, которые позволяют писать коды на этом языке. Его компиляторы есть практически на каждой модели МК. Сегодня это основной язык программирования контроллера.

Выбор языка программирования зависит от решаемых задач и требуемого качества кода. Если вам нужен компактный код, тогда Assembler подходит для решения глобальных задач, выбор будет ограничен только С / С ++.

Микроконтроллер серии STM32F101 с тактовой частотой 36МГц. Имеет встроенную FLASH-память от 32К до 128К. STM32 идеально подходит для приложений с батарейным питанием, т.к. работает при напряжении питания от 2 до 3,6В и потребляет до 2мкА в режиме ожидания с работающей схемой сброса.

Отличительные способности:

- ядро: ARM Cortex M3;
- тактовая частота: до 36 МГц;
- flash-память: 32...128кб;
- интерфейсы: SPI, I2C, USART, USB 2.0, CAN;
- ацп: до двух 12 бит/16 каналов;
- напряжение питания: 2...3,6В;
- ток потребления: до 2мкА в режиме ожидания;
- четыре режима работы с малым потреблением;
- температурный диапазон: -40°С....125°С;
- типы корпусов: VFQFPN36, LQFP48, LQFP64, LQFP100.

Области применения:

- автомобильная электроника;
- промышленная автоматика;
- оборудование для беспроводной связи.

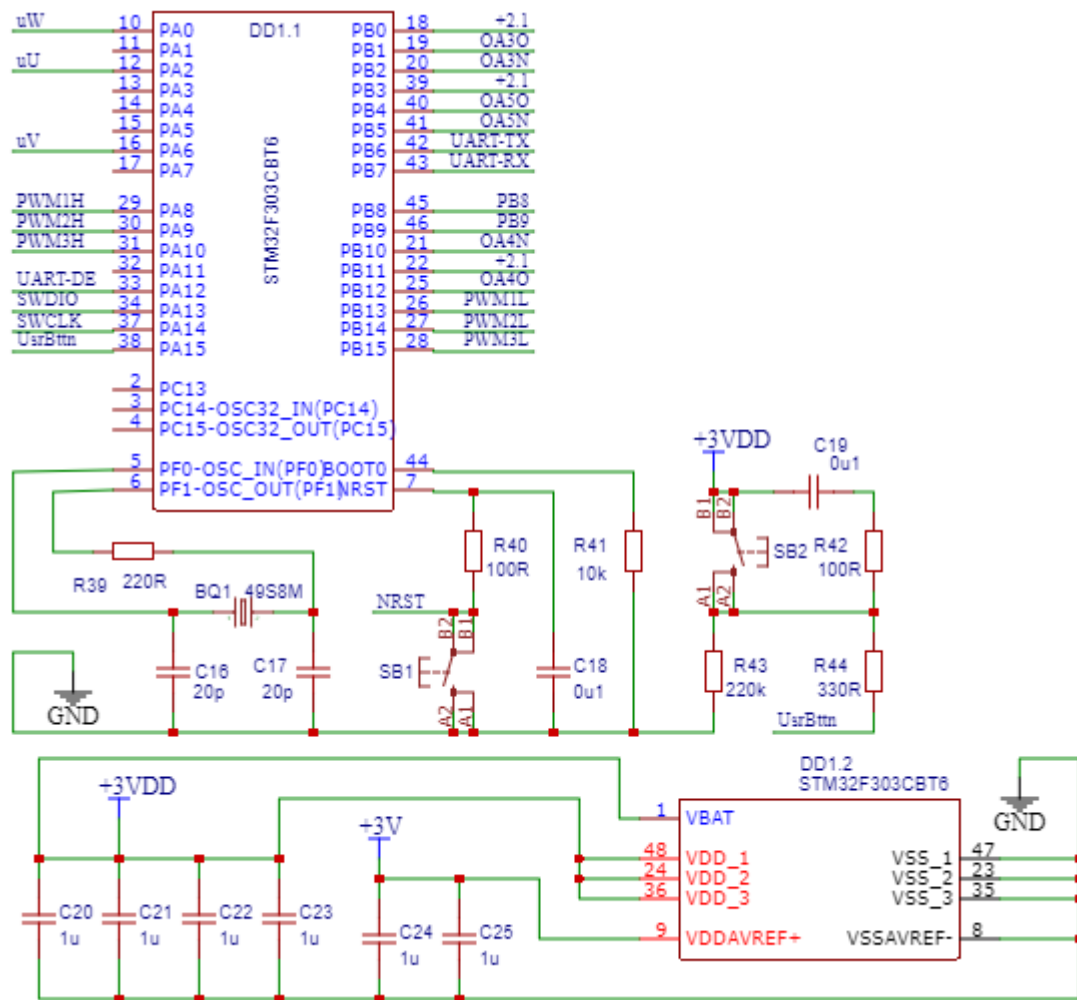


Рис. 6.5 – Микроконтроллер STM32F303CBT6

6.4. Приемопередатчик ADM2582EBRWZ.

После микроконтроллера, в схеме идет приемопередатчик ADM2582EBRWZ, он изображен на рисунке 6.6, на схеме обозначается DD2.

ADM2582EBRWZ - передатчик и приемник RS-485 с изоляцией мощности и сигнала. Он имеет защиту от электростатического разряда ± 15 кВ и отлично подходит для высокоскоростной связи на многоточечных линиях передачи. Он включает в себя изолированный источник питания постоянного тока, что устраняет необходимость во внешнем изоляторе постоянного тока. Передатчик и приемник оснащены технологией iCoupler® для комбинации 3-канального разъединителя, 3-состояния дифференциального контроллера, приемника дифференциального входа и преобразователя постоянного тока

isoPower. Драйвер ADM2582E имеет очень активный сигнал включения. Приемник имеет активный сигнал активации низкого уровня и в неактивном состоянии приводит к тому, что выход приемника находится в состоянии высокого импеданса. Устройство имеет ограничитель тока и тепловое прерывание, которое защищает выходы от коротких замыканий и ситуаций, когда конфликт шины вызывает чрезмерное рассеяние энергии. Он оснащен технологией isoPower, которая использует высоко частотный:

- изолированный передатчик и приемник RS-485 / RS-422 с полудуплексной или дуплексной конфигурацией;
- защита от электростатического разряда ± 15 кВ на входах / выходах RS-485;
- соответствует ANSI / TIA / EIA-485-A-98 и ISO 8482: 1987 (E)
- скорость передачи 16 Мбит / с;
- возможность подключения к шине до 256 узлов;
- отказоустойчивые входы приемника, защита от короткого замыкания и разомкнутого контура;
- высокое переходное сопротивление в обычном режиме > 25 кВ / мкс;
- отключение тепловой перегрузки.

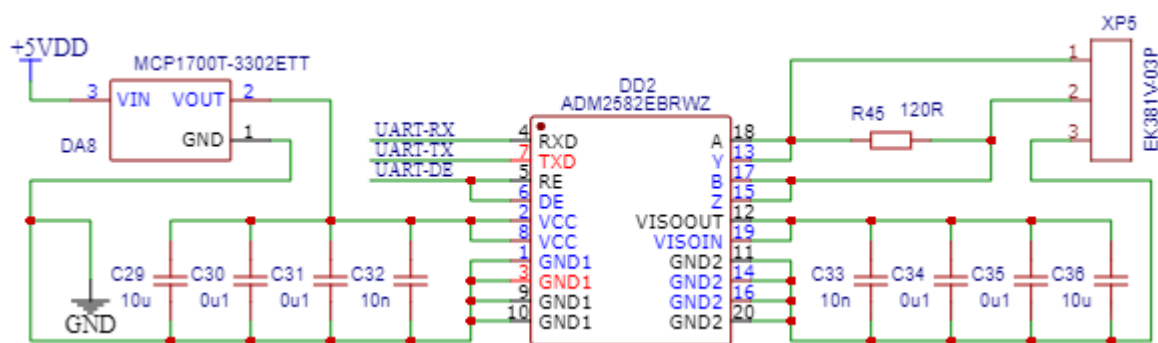


Рис. 6.6 – Приемопередатчик ADM2582EBRWZ

6.5. Чип стабилизации напряжения MC34063ADE4.

Чип стабилизации напряжения представлен на рисунке 6.7, на схеме обозначен буквой DA9, техническая характеристика представлена в таблице 6.2.

Таблица 6.2. Технические характеристики чипа стабилизации напряжения.

Частота	100 кГц
Количество выходных интерфейсов	1
Выходное напряжение	1.25 В (min)
Выходной ток	1.5 А
Ток покоя	4 мА
Количество регулируемых выходов	1
Количество выводов	8
Корпус	SOIC

MC34063ADE4 - это простая в использовании микросхема, содержащая все основные схемы, необходимые для создания простых преобразователей постоянного тока в постоянный ток. Это устройство в основном состоит из внутреннего эталона с температурной компенсацией, компаратора, генератора, ШИМ-контроллера с активным ограничением тока, драйвера и сильноточного выходного переключателя. Таким образом, устройству требуются минимальные внешние компоненты для построения преобразователей в топологии повышения, снижения и инверсии. [9]

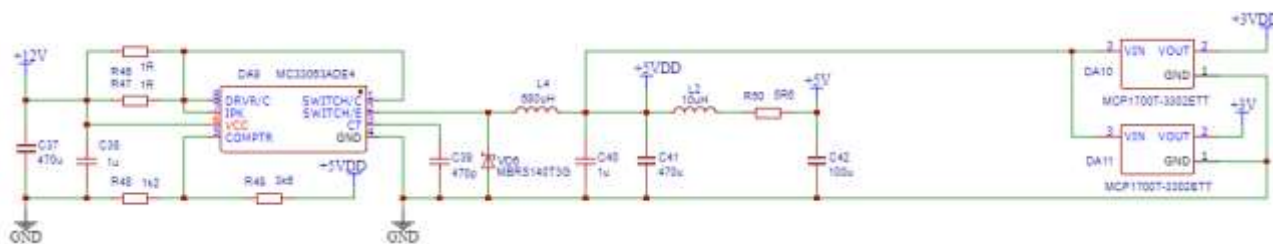


Рис. 6.7 – Чип стабилизации напряжения MC34063ADE4

6.6. Регулятор напряжения MCP1700T-3302ETT.

Регулятор напряжения MCP1700T-3302ETT подключен к приемопередатчику ADM2582EBRWZ и чипу стабилизации напряжения MC34063ADE4, показан на рисунке 6.6 и 6.7, техническая характеристика представлена в таблице 6.3, на схеме обозначен как DA8, DA10 и DA11. MCP1700T-3302ETT представляет собой положительный стабилизатор падения напряжения КМОП, способный выдавать ток 250 мА, с чрезвычайно низкой разницей напряжения ввода-вывода 178 мА при 250 мА. Низкое падение напряжения и низкое потребление тока (1,6 мАк) делают это устройство идеальным устройством с питанием от батареи.

Особенности:

- чрезвычайно низкий рабочий ток для увеличения срока службы батареи;
- очень низкое падение напряжения;
- высокая точность выходного напряжения;
- защита от перегрева и перегрузки по току.

Таблица 6.3. Техническая характеристика регулятора напряжения MCP1700T-3302ETT

Полярность	Положительная
Тип выхода	Фиксированный
Количество выходов	1
Выходное напряжение	3.3 В

Продолжение таблицы 6.3.

Максимальный ток нагрузки	0.25 А
Падение напряжение при $I_{\text{вых}}$	0.35 В
Максимальное входное напряжение	6 В
Рабочая температура	-40...+125 °С
Корпус	SOT-23-3
Вес	0.05 г

6.7. Схема измерения напряжения шины постоянного тока.

Также измеряется напряжение шины постоянного тока.

Задача измерения напряжения шины постоянного тока, питающей мост питания преобразователя частоты или реверсивного синхронного векторного выпрямителя (АВН), не является тривиальной. Суть его заключается в том, что высокое напряжение должно быть преобразовано в шкалу АЦП управляющего микроконтроллера. Типичным решением является отделение напряжения от двух резисторов. Однако диапазон низкого напряжения (до 50% от номинального значения) обычно не работает. Соответствующая часть шкалы АЦП не используется. Рисунок 6.8 представляет собой схему решения указанной трудности. Термическая стабильность цепи обеспечивается токовыми зеркалами (симметрия решения схемы). Резисторы в цепи эмиттера выравнивают зеркала, тем самым снижая чувствительность схемы к статистическому изменению падения напряжения на соединении база-эмиттер в случае транзисторов.

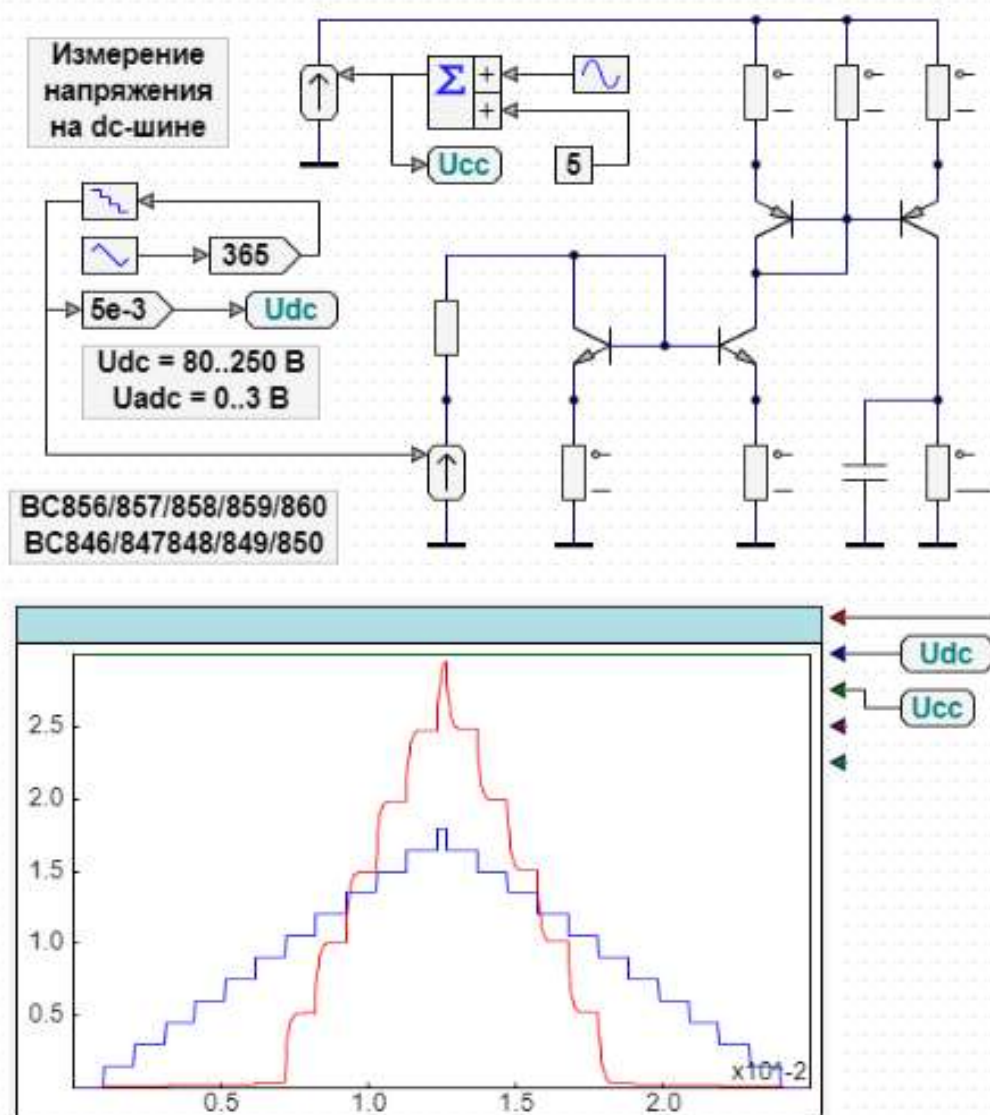


Рис. 6.8 – Схема измерения напряжения питания силового моста частотного преобразователя

6.8. Дискретно-импульсная модель DC-DC преобразователя.

Дискретно-импульсная модель описываемого DC-DC преобразователя представлена ниже по тексту на рисунке 6.9. Система управления сводится к относительным единицам - и входная, и выходная координаты контроллеров находятся в диапазоне от -1 до +1. Представленная таким образом система управления будет работать правильно, если блоки управления представлены инерционными соединениями. Две смены, два приращения, два постоянных

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата

умножения и ограничения - вот и весь программный код цифровой системы управления.

$$K_{рТ} = K_{кт.крит} / (1/L_{др}) / K_{шим} / K_{дт} / (2 \div 3) = L_{др} / (4 / (2 \cdot \pi) \cdot T_{цвм}) / K_{шим} / K_{дт} / (2 \div 3),$$

где: $1/L_{др}$ – коэффициент усиления объекта или частота единичного усиления интегратора, которым является индуктивность; $1/(0.637 \cdot T_{цвм})$ – полоса пропускания ЦВМ или коэффициент усиления контура тока, при котором запас по фазе будет равен нулю; $(2 \div 3)$ – отступ от конца полосы пропускания ЦВМ, обеспечивающий устойчивость контура (тем больше, чем больше шум в схеме).

$$K_{рН} = [1 / (0.637 \cdot T_{цвм}) / (2 \div 3)] / (I_{н} / C_{ф}) / K_{дн} / (2),$$

где: $I_{н} / C_{ф}$ – коэффициент усиления объекта или частота единичного усиления интегратора, которым является заряжающийся номинальным током конденсатор; $1 / (0.637 \cdot T_{цвм}) / (2 \div 3)$ – полоса пропускания контура тока или коэффициент усиления контура напряжения, при котором запас по фазе недостаточен (45°); (2) – отступ от конца полосы пропускания контура тока, обеспечивающий устойчивость контура напряжения (запас по амплитуде).

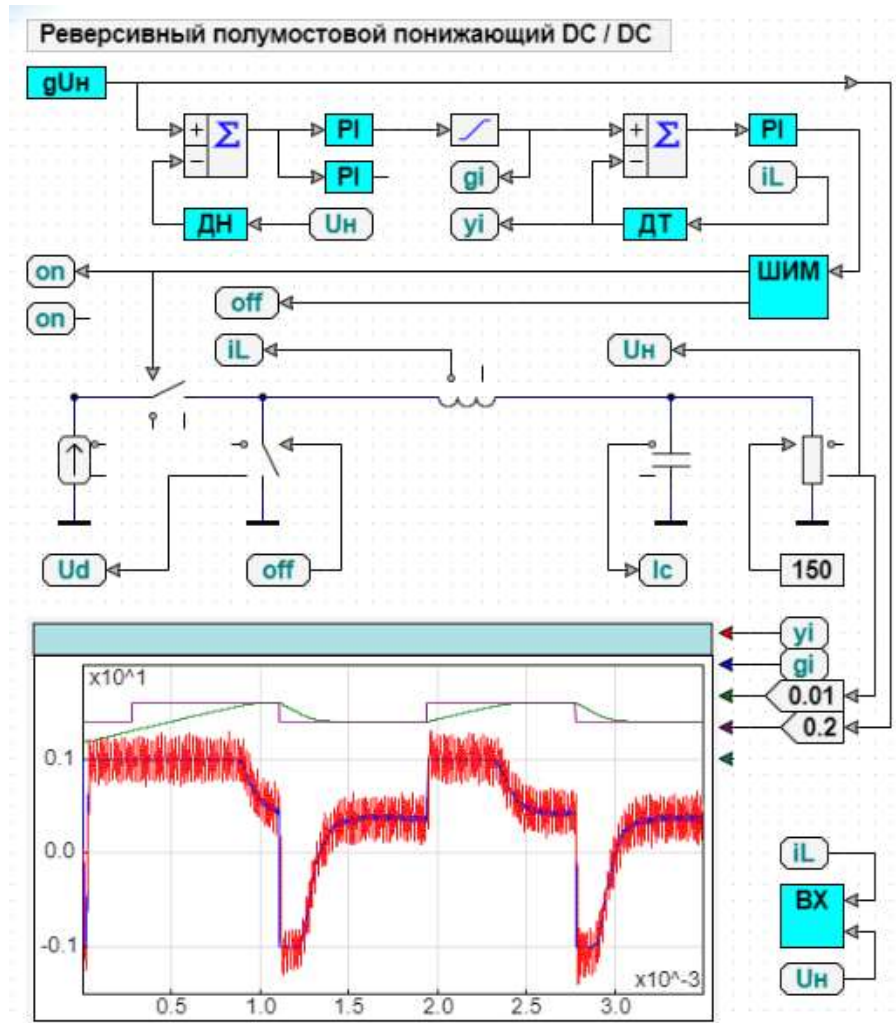


Рис. 6.9 – Дискретно-импульсная модель DC-DC преобразователя

Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выпускной квалификационной работы была разработана электронная нагрузка с рекуперацией энергии согласно требованиям, предъявленным к выполнению технологического процесса.

Был осуществлен подбор компонентов, подходящих к выполнению данной работы.

Также было проведено математическое моделирование с использованием программного пакета Jigsaw.

Была выполнена разработка принципиальной электрической схемы в сервисе Easy EDA.

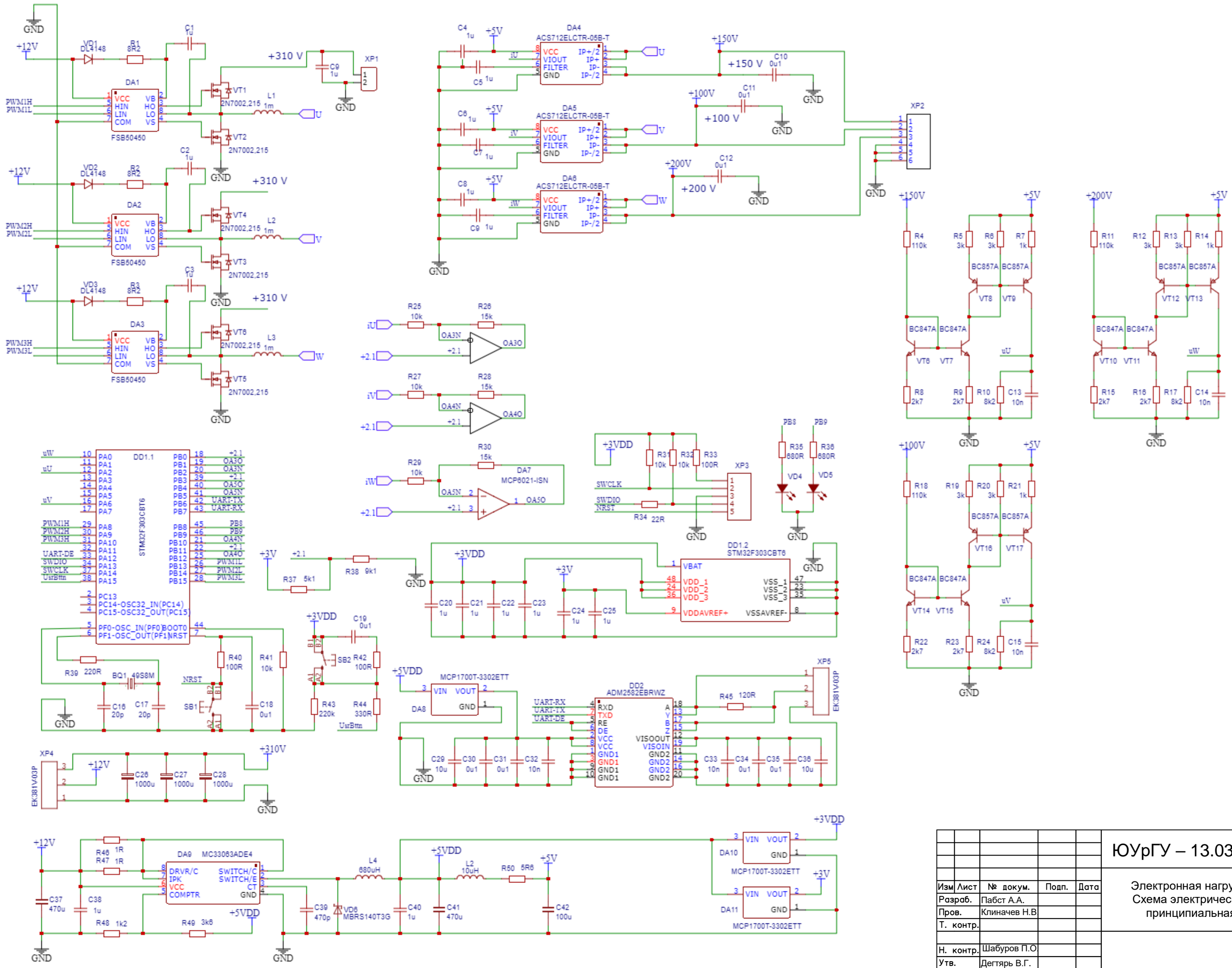
					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.316.09 ПЗ ВКР</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		44

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Что такое электронная нагрузка [Электронный ресурс] Режим доступа: [URL:http://www.tehencom.com/Categories/Electronic_Loads/Basics/Electronic_Loads_Basics.htm](http://www.tehencom.com/Categories/Electronic_Loads/Basics/Electronic_Loads_Basics.htm)
2. Особенности источников питания и программируемых нагрузок для промышленности и научных исследований. [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://www.prosoft.ru/cms/f/473108.pdf>
3. Рекуперация энергии в электронных нагрузках. [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://www.elektroautomatik-rus.ru/articles/energy-recovery-in-electronic-loads/>
4. Рекуперация энергии в сеть. [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://driveka.ru/resheniya/362.html>
5. Калашников, В.И. Электроника и микропроцессорная техника: Учебник / В.И. Калашников. - М.: Академия, 2008. - 544 с.
6. Михаил Пушкарев. Микросхемы для измерения тока // Компоненты и технологии №10, 2006. [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: https://www.kit-e.ru/assets/files/pdf/2006_10_116.pdf
7. DC/DC-преобразователи: принципы работы и уникальные решения Maxim Integrated [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: <https://www.compel.ru/lib/134297>
8. Комплект разработчика устройств управления электродвигателями. [Электронный ресурс] Режим доступа: URL: https://klinachevrv.ru/Jigrein/md_120.htm
9. Кузовкин, В.А. Электротехника и электроника: Учебник для бакалавров / В.А. Кузовкин, В.В. Филатов. - М.: Юрайт, 2013. - 431 с.

										Лист
										45
Изм.	Лист	№докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2020.316.09 ПЗ ВКР					

ПРИЛОЖЕНИЕ А



Перв. примен.	
Справ. №	
Подп. и дата	
Взамен инв. №/Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

ЮУрГУ – 13.03.02.2020.316.09 ЭЗ			
Изм	Лист	№ докум.	Подп. Дата
Разраб.	Пабст А.А.		
Пров.	Клиначев Н.В.		
Т. контр.			
Н. контр.	Шабуров П.О.		
Утв.	Дегтярь В.Г.		
Электронная нагрузка Схема электрическая принципиальная			Лит. Масса Масшт.
			Лист 46 Листов 1
ЮУрГУ Летательные аппараты			

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Примеч.
	<u>Пьезоэлемент</u>		
BQ1	49S8M	1	HC-49S
	<u>Конденсаторы</u>		
C1...C9	GRM31MF51E105Z	9	SMD1206 Y5V 1uF +80-20 % 50V
C10...C12	GRM319F51H104Z	3	SMD1206 Y5V 0.1uF +80-20 % 50V
C13...C15	GRM319R71H103K	3	SMD1206 Y5V 10nF +80-20 % 50V
C16, C17	GRM2165C1H200J	2	SMD1206 NPO 20pF ±5% 50V
C18, C19	GRM319F51H104Z	2	SMD1206 Y5V 0.1uF +80-20 % 50V
C20...C25	GRM31MF51E105Z	6	SMD1206 Y5V 1uF +80-20 % 50V
C26...C28	B41858D6108M	3	1000uF 63V 105 °C 16X25 EPCOS
C29	GRM31MR61A106K	1	SMD1206 X5R 10uF 10V
C30, C31	GRM319F51H104Z	2	SMD1206 Y5V 0.1uF +80-20 % 50V
C32	GRM319R71H103K	1	SMD1206 Y5V 10nF +80-20 % 50V
C33	GRM319R71H103K	1	SMD1206 Y5V 10nF +80-20 % 50V
C34, C35	GRM319F51H104Z	2	SMD1206 Y5V 0.1uF +80-20 % 50V
C36	GRM31MR61A106K	1	SMD1206 X5R 10uF 10V
C37	B41851A7477M000	1	470uF 35V 105 °C 10x16 ECAP
C38	GRM31MF51E105Z	1	SMD1206 Y5V 1uF +80-20 % 50V
C39	GRM31B7U3A471J	1	SMD1206 NPO 470pF ±5% 50V
C40	GRM31MF51E105Z	1	SMD1206 Y5V 1uF +80-20 % 50V
C41	B41121A3477M000	1	470uF 10V 105 °C 8x10 ECAP
C42	B41121A2107M000	1	100uF 6.3V 105 °C 6.3x5.4 ECAP
	<u>Микросхемы</u>		
DA1...DA3	FSB50450	3	spm5b-023
DA4...DA6	ACS712ELCTR-05B-T	3	SOIC
DA7	MCP6021-ISN	1	SOIC-8
DA8	MCP1700T-3302ETT	1	SOT-23-3

ЮУрГУ – 13.03.02.2020.316.09 ПЭЗ

Изм.	Лис.	№ докум.	Подп.	Дата.
Разраб.		Пабст А.А.		
Пров.		Клиначев Н.В.		
Реценз.				
Н. контр.		Шабуров П.О.		
Утв.		Дегтярь В.Г.		

Электронная нагрузка
Перечень элементов

Лит.	Лист	Листов
	47	4
ЮУрГУ Летательные аппараты		

Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Примеч.
DA9, DA10	MC33063ADE4	2	SOIC-8
DA11	MCP1700T-3302ETT	1	SOT-23-3
DD1	STM32F303CBT6	1	LQFP
DD2	ADM2582EBRWZ	1	SOIC-20
	<u>Индуктивности</u>		
L1...L3	1m	3	
L4	680uH	1	
L5	10uH	1	
	<u>Резисторы</u>		
R1...R3	RC1206FR-078R2L	3	SMD 1206 8,2±1%
R4	RC1206FR-07110KL	1	SMD 1206 110k±5%
R5, R6	RC1206FR-073KL	2	SMD 1206 3k±1%
R7	RC1206FR-071KL	1	SMD 1206 1k±1%
R8, R9	RC1206FR-072K7L	2	SMD 1206 2,7k±1%
R10	RC1206FR-078K2L	1	SMD 1206 8,2k±5%
R11	RC1206FR-07110KL	1	SMD 1206 110k±5%
R12, R13	RC1206FR-073KL	2	SMD 1206 3k±1%
R14	RC1206FR-071KL	1	SMD 1206 1k±1%
R15, R16	RC1206FR-072K7L	2	SMD 1206 2,7k±1%
R17	RC1206FR-078K2L	1	SMD 1206 8,2k±5%
R18	RC1206FR-07110KL	1	SMD 1206 110k±5%
R19, R20	RC1206FR-073KL	2	SMD 1206 3k±1%
R21	RC1206FR-071KL	1	SMD 1206 1k±1%
R22, R23	RC1206FR-072K7L	2	SMD 1206 2,7k±1%
R24	RC1206FR-078K2L	1	SMD 1206 8,2k±5%
R25	RC1206FR-0710KL	1	SMD 1206 10k±1%
R26	RC1206FR-0715KL	1	SMD 1206 15k±5%
R27	RC1206FR-0710KL	1	SMD 1206 10k±1%
R28	RC1206FR-0715KL	1	SMD 1206 15k±5%
R29	RC1206FR-0710KL	1	SMD 1206 10k±1%
Изм.	Лис.	№ докум.	Подп.
			Дата.
ЮУрГУ – 13.03.02.2020.316.09 ПЭЗ			
			Лист
			48

Поз. обозн.	Наименование	Кол.	Примеч.			
R30	RC1206FR-0715KL	1	SMD 1206 15k±5%			
R31, R32	RC1206FR-0710KL	2	SMD 1206 10k±1%			
R33	RC1206FR-07100RL	1	SMD 1206 100±1%			
R34	RC1206FR-0722RL	1	SMD 1206 22±1%			
R35, R36	RC1206FR-07680RL	2	SMD 1206 680±1%			
R37	RC1206FR-075K1L	1	SMD 1206 5,1±5%			
R38	RC1206FR-079K1L	1	SMD 1206 9,1±5%			
R39	RC1206FR-07220RL	1	SMD 1206 220±5%			
R40	RC1206FR-07100RL	1	SMD 1206 100±5%			
R41	RC1206FR-0710KL	1	SMD 1206 10k±1%			
R42	RC1206FR-07100RL	1	SMD 1206 100±5%			
R43	RC1206FR-07220RL	1	SMD 1206 220±5%			
R44	RC1206FR-07330RL	1	SMD 1206 330±5%			
R45	RC1206FR-07120RL	1	SMD 1206 120±1%			
R46, R47	RC1206FR-071RL	2	SMD 1206 1±1%			
R48	RC1206FR-071K2L	1	SMD 1206 1,2±1%			
R49	RC1206FR-073K6L	1	SMD 1206 3,6±1%			
R50	RC1206FR-075R6L	1	SMD 1206 5,6±1%			
<u>Кнопки</u>						
SB1, SB2	7914G-1-000E	2	SMD			
<u>Полупроводниковые приборы</u>						
VD1...VD3	DL4148	3	LL-34			
VD4	KPA-3010SFC	1	SMD LED, Green			
VD5	KPA-3010SURC	1	SMD LED, Red			
VD6	MBRS140T3G	1	DO-214AA			
VT1...VT5	2N7002,215	5	SOT-23			
VT6...VT17	BC857A	12	SOT-23			
<u>Разъемы</u>						
XP1	HDR-M-2.54_1X2	1				
XP2	KLS2-103-5.00-06P-4S	1				
Изм.	Лис.	№ докум.	Подп.	Дата.	ЮУрГУ – 13.03.02.2020.316.09 ПЭЗ	Лист
						49

