

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт
Энергетический факультет
Кафедра «Автоматизированный электропривод»
Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

**Заведующий кафедрой
автоматизированного электропривода,
д.т.н., профессор**

_____ / М.А. Григорьев /
« _____ » _____ 2020 г.

РАЗРАБОТКА НАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА НА БАЗЕ СЕРВОПРИВОДА

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
ПО ПРОГРАММЕ БАКАЛАВРИАТА
«ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ УСТАНОВОК
И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ»
ЮУрГУ–13.03.02.2020.065 ВКР**

Руководитель, доцент
_____ / Р.З. Хусаинов /
« _____ » _____ 2020 г.

**Автор работы,
бакалавр группы П–477**
_____ / Р.Р. Манатов /
« _____ » _____ 2020 г.

Нормоконтролер, доцент
_____ / Т.А. Функ /
« _____ » _____ 2020 г.

АННОТАЦИЯ

Манатов Р.Р. Разработка нагрузочного устройства на базе сервопривода. – Челябинск: ЮУрГУ, Э; 2020, 59 с., 13 ил., 27 табл., библиографический список – 7 наим., 1 лист чертежей ф. А3

В данной выпускной квалификационной работе разрабатывается нагрузочное устройство на базе сервопривода. Сервопривод в качестве источника нагрузки является современным решением при исследовании характеристик электродвигателей.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка электромашинного агрегата для проведения испытаний маломощных электрических машин и асинхронного двигателя АИР56А-2 мощностью 180 Вт в частности. В задачу данной работы входит создание номинальной величины нагрузки на валу двигателя и исследование характеристик получившейся системы.

					ЮУрГУ-13.03.02.2020.065.01ПЗ			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дат</i>				
Разраб.	Манатов Р.Р.				Разработка нагрузочного устройства на базе сервопривода Пояснительная записка	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
Провер.	Хусаинов Р.З.						4	59
Реценз						ЮУрГУ Кафедра «АЭП»		
Н. Контр.	Функ Т.А.							
Утверд.	Григорьев М.А.							

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ	10
2. РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ И ВЫБОР ТИПА НАГРУЗОЧНОЙ МАШИНЫ	13
2.1. Тип нагрузочной машины	13
2.2. Функциональная схема	13
3. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОМАШИННОГО АГРЕГАТА	18
3.1. Требования, предъявляемые к конструкции	18
3.2. Общая конструкция электромашинного агрегата и нагрузочного устройства	19
3.3. Лицевая панель нагрузочного устройства	22
4. ВЫБОР ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА	24
4.1. Нагрузочная машина	24
4.2. Тормозные резисторы	27
4.3. Элементы управления и индикации	28
4.4. Управляющее устройство индикации	30
4.5. Источник вторичного электропитания	35
5. РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ .	37
5.1. Выбор транзисторов для управления катодами индикаторов	37
5.2. Выбор резисторов на входе АЦП микроконтроллера	39
5.3. Выбор конденсаторов	40
6. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ УПРАВЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА СИСТЕМЫ ИНДИКАЦИИ И НАСТРОЙКА БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ	41
6.1. Настройка блока управления серводвигателем	41
6.2. Выбор и настройка периферийных устройств	42

6.3. Листинг программы в среде программирования Assembler с комментариями	45
7. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОМАШИННОГО АГРЕГАТА	50
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	53
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	54
ПРИЛОЖЕНИЕ А	55

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире электрический привод является неотъемлемым элементом в большинстве производственных процессов. Это вызывает потребность в высококвалифицированных специалистах, способных эффективно с ним работать, что влечёт за собой необходимость в их качественном обучении.

При изучении различных электротехнических дисциплин часто требуется проводить исследования работы электрических машин на учебных стендах, включающие испытания электродвигателей под воздействием нагрузки. В связи с этим возникает необходимость в использовании устройств, которые и будут создавать данную нагрузку.

В качестве нагрузочных устройств могут выступать различные электромеханические агрегаты среди которых наиболее распространёнными являются:

- двигатель постоянного тока;
- асинхронный двигатель;
- электромагнитный тормоз;
- серводвигатель

Двигатель постоянного тока, спроектированный еще в 1834 году русско-прусским учёным Б.С. Якоби – это первый известный человечеству электродвигатель современного типа, поэтому следует начать рассмотрение вариантов именно с него.

Такие двигатели, обычно, комплектуются с тиристорными преобразователями и имеют возможность плавного регулирования скорости вращения вала в широком диапазоне, но обладают существенными недостатками в виде наличия коллекторно-щёточного узла. [1]

Коллекторно-щёточный узел снижает надёжность всей системы и является причиной ряда проблем: он сокращает ресурс работы, может быть источником радиопомех и акустического шума, покрывает внутреннюю полость машины токопроводящим слоем продуктов износа щёток, ухудшая изоляцию токопроводящих цепей.

Кроме того двигатели постоянного тока с малой мощностью имеют низкие показатели коэффициента полезного действия, имеют низкую энергоэффективность и высокое тепловыделение.

Ещё одним типом двигателей, который применяют в качестве нагрузочной машины является асинхронный двигатель. В основном применяют асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором, так как они лишены коллекторно-щёточного узла и отличаются простотой в обслуживании и надёжностью при относительно небольшой стоимости.

В наше время для обеспечения плавного регулирования асинхронные электродвигатели работают совместно с преобразователями частоты, образуя системы асинхронного электропривода. [7]

Данный тип нагрузочных устройств является наиболее предпочтительным с экономической точки зрения и хорошо себя зарекомендовал, благодаря, как низкой себестоимости, так и большому ресурсу работы и относительно высокой надёжности.

Тем не менее асинхронный электропривод также не лишён недостатков: необходимо учитывать, что при снижении скорости у него может резко падать величина критического момента и соответственно снижаться максимально возможная нагрузка, что может воспрепятствовать процессу исследования, а также привести к износу узлов и механизмов двигателя и снижению рабочего ресурса.

Ещё одним из вариантов при выборе типа нагрузочной машины является электромагнитный тормоз.

Из основных достоинств электромагнитного тормоза следует выделить, что данное устройство, ввиду конструкции и принципа работы слабо подвержено износу и перегреву, не требует для своего функционирования дорогостоящего дополнительного оборудования в цепи питания и позволяет довольно точно обеспечивать регулирование тормозного момента.

Тем не менее электромагнитный тормоз обладает существенным недостатком в виде невозможности осуществить работу в двигательном режиме, что значительно сужает область его применения. Также стоит отметить низкую энергоэффективность данного типа нагрузочных устройств, поскольку энергия, вырабатываемая при торможении рассеивается в виде тепла.

Последним рассматриваемым вариантом исполнения нагрузочного устройства является сервопривод, представляющий из себя синхронный электродвигатель на постоянных магнитах комплектуемый блоком управления(сервопреобразователем).

Серводвигатель – это один из наиболее молодых видов электродвигателей, созданных человеком, и за последние десятилетия вся система сервопривода претерпела массу усовершенствований и сумела выйти на свободный рынок в качестве достойной альтернативы традиционным электроприводам.

Сервопривода обладают высокой перегрузочной способностью и не потребляют из сети реактивную мощность в отличие от систем с асинхронными электродвигателями. Они имеют хорошие массо-габаритные показатели и способны обеспечить высокую точность поддержания скорости, момента и угла, а также возможность точного позиционирования и высокий коэффициент полезного действия.

Главным недостатком данного типа нагрузочных машин является очень высокая стоимость, что часто ставит под сомнение целесообразность их применения, но учитывая их достоинства, часто сервопривод с лихвой окупает затраченные средства.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

За основу для проектирования взяты лабораторные стенды фирмы ООО НПП «Учтех-Профи» «Асинхронный двигатель» и «Двигатель постоянного тока».

Комплект лабораторного стенда «Асинхронный двигатель» включает:

- Моноблок «Асинхронный двигатель»;
- Двигатель АИР56А-2.

Двигатель АИР56А-2 представляет из себя маломощный общепромышленный асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором производства воронежского электромеханического завода. Его характеристики приведены ниже в таблице 1.1.

Таблица 1.1 - Технические характеристики электродвигателя АИР56А-2

Наименование, ед. изм.	Величина
Тип	АИР 56А-2 У2
Мощность, кВт	0,18
Синхронная частота вращения, об/мин	3000
Номинальная частота вращения, об/мин	2720
Номинальный ток, А	0,53
КПД, %	65
cosφ	0,8
Скольжение, %	13
Мпуск / Мном	2,2
Ммакс / Мном	2,2
Ммин / Мном	1,8
Ипуск / Ином	5,3
Класс защиты	IP55
Масса, кг	4

Комплект лабораторного стенда «Двигатель постоянного тока» включает:

- моноблок «Двигатель постоянного тока»;
- двигатель ДП112 УХЛ4.

Двигатель ДП112 УХЛ4 представляет из себя маломощный общепромышленный электродвигатель постоянного тока производства Островского завода электрических машин. Его характеристики приведены ниже в таблице 1.2.

Таблица 1.2 - Технические характеристики электродвигателя ДП112 УХЛ4

Наименование, ед. изм.	Величина
Тип	ДП112 УХЛ4
Мощность, кВт	0,1
Номинальная частота вращения, об/мин	3000
Номинальный ток, А	0,9
КПД, %	54
Номинальное напряжение, В	220
Класс защиты	IP10
Класс изоляции	В
Масса, кг	4

В текущем исполнении лабораторные стенды не позволяют провести исследования основных рабочих и механических характеристик данных типов электрических машин.

Передо мной поставлена задача разработать нагрузочное устройство не требующее дополнительного оборудования и позволяющее осуществлять исследования данных машин в различных режимах работы.

К данному нагрузочному устройству предъявляются следующие требования:

- способность нагрузочного устройства обеспечить нагрузку и возможность исследования в генераторном и двигательном режимах;
- возможность измерения и индикации скорости вращения вала и создаваемого момента нагрузочного устройства;
- возможность простой и быстрой замены исследуемых машин.
- нагрузочное устройство не должно требовать дополнительного оборудования для выполнения своих задач;
- нагрузочное устройство должно быть компактным и иметь малые габариты;
- нагрузочное устройство должно лаконично вписываться в концепцию данных лабораторных стендов.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.065.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		12

2. РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ И ВЫБОР ТИПА НАГРУЗОЧНОЙ МАШИНЫ

2.1. Тип нагрузочной машины

Учитывая ряд достоинств сервоприводов, а именно хорошие массо-габаритные показатели, высокую точность поддержания скорости, момента и угла, возможность точного позиционирования, высокий коэффициент полезного действия, для данного проекта в качестве нагрузочной машины было решено применять систему сервопривода.

Данный выбор обусловлен отсутствием существенных недостатков, которые могут негативно сказаться на качестве полученных результатов при испытании двигателей в различных режимах работы и широким спектром возможностей в исследовании электродвигателей, которые открывает высокоточный режим управления скоростью вращения вала двигателя и моментом нагрузки, благодаря которым сервосистема может применяться для работы в большом диапазоне параметров.

Малые габариты двигателя обеспечивают большие возможности для конструкционного исполнения всего электромашинного агрегата.

Кроме того решение использовать сервосистему в качестве нагрузочного устройства наиболее технологично, она имеет большой срок службы и отвечает современным тенденциям развития промышленных механизмов.

2.2. Функциональная схема

Разработку функциональной схемы и конструкции электромашинного агрегата в данной выпускной квалификационной работе было решено проводить на примере системы асинхронный двигатель – преобразователь частоты.

Заранее известно, что исследуемый асинхронный двигатель АИР56А-2 комплектуется преобразователем частоты производства фирмы Schneider Electric серии Altivar Machine ATV320, характеристики которого приведены ниже в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Технические характеристики преобразователя частоты ATV320

Наименование	Величина
Серия	Altivar Machine ATV320
Тип продукта	привод с регулируемой частотой вращения
Специальная область применения	Комплексные установки
Краткое название устройства	ATV320
Формат блока управления	Компактный
Назначение продукта	синхронные двигатели, асинхронные двигатели
Фильтр помех	Класс С2 с интегрированным фильтром ЭМС
Степень защиты	IP20
Тип охлаждения	безвентиляторный
Число фаз	1 фаза
Номинальное напряжение сети	200...240 В
Частота сети питания	50...60 Hz
Мощность двигателя	0,18 кВт
Линейный ток	3,4 А в 200 В 2,8 А в 240 В
Диапазон мощности	0.18...0.37 кВт

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

ЮУрГУ-13.03.02.2020.065.01ПЗ

Лист

14

Продолжение таблицы 2.1

Профиль управления асинхронным электродвигателем	Отношение напряжения/частоты, 5 точек, Управление вектором потока без датчика(стандартный), Отношение напряжения/частоты – энергосбережение(квадратичная функция U/f)
Выходная частота привода	0,1...599 Гц
Номинальн. частота коммутации	4 кГц
Функция защиты	STO (безопасное выключение крутящего момента) SLS (безопасная ограниченная скорость) SS1 (безопасная остановка 1) SMS (safe maximum speed) GDL (guard door locking)
Протокол порта обмена данными	Modbus последовательный, CANopen

Внешний вид преобразователя частоты ATV320 представлен на рисунке 2.1



Рисунок 2.1 - Внешний вид ATV320

					ЮУрГУ-13.03.02.2020.065.01ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

В соответствии с выбранными компонентами разработаем функциональную схему нагрузочного устройства и исследуемого электродвигателя.

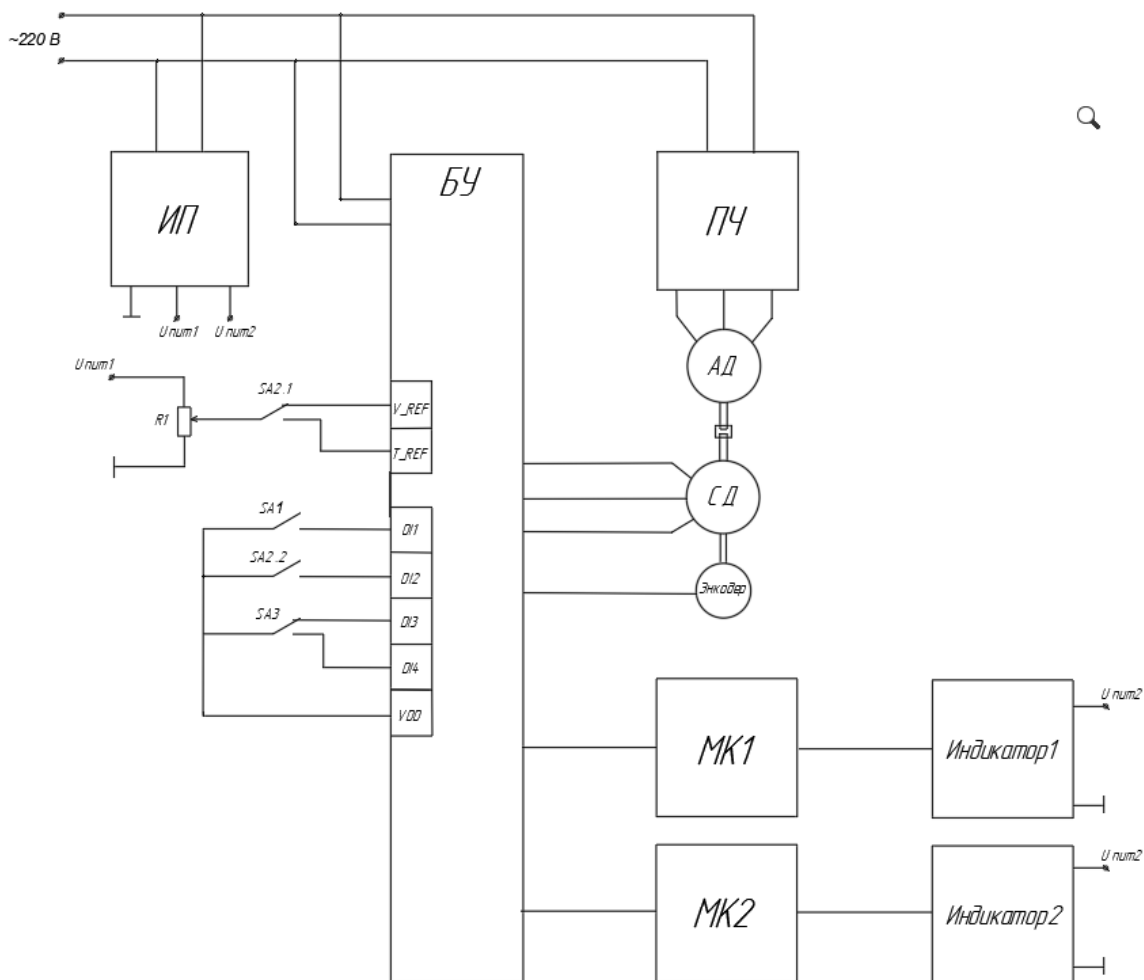


Рисунок 2.2 - Функциональная схема нагрузочного устройства

ИП – источник питания для индикаторов и цепи аналогового задания скорости и момента серводвигателя;

БУ – блок управления серводвигателем;

ПЧ – преобразователь частоты асинхронного двигателя;

АД – исследуемый асинхронный двигатель;

СД – нагрузочная машина(серводвигатель)

Энкодер – датчик угла положения ротора серводвигателя.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

МК1, МК2 – микроконтроллеры управления системой индикации скорости и момента нагрузочного устройства;

Индикатор1, Индикатор2 – семисегментные индикаторы для вывода числовых значений скорости и момента;

R1 – потенциометр аналогового задания скорости и момента.

SA1 – тумблер разрешения работы серводвигателя;

SA2.1, SA2.2 – тумблер переключения режима поддержания скорости или момента серводвигателя;

SA3 – тумблер переключения реверсивного вращения серводвигателя.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.065.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		17

3. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕКТРОМАШИННОГО АГРЕГАТА

3.1. Требования, предъявляемые к конструкции

Необходимо разработать компактное нагрузочное устройство, которое будет лаконично вписываться в концепцию лабораторного стенда «Двигатель постоянного тока» и лабораторного стенда «Асинхронный двигатель».

При этом часть элементов нагрузочного устройства, включающая блок управления сервопривода и источник вторичного электропитания должна находиться внутри закрытого корпуса, во избежание механических повреждений, возникновения большого количества пыли и свободного доступа к сложной электротехнике со стороны неавторизованных лиц.

Серводвигатель должен надежно закрепляться на корпусе устройства с возможностью его снятия и установки в краткие сроки и без использования сложного или редкого инструмента. Серводвигатель не должен вызывать деформацию и иные механические повреждения, которые могут негативно повлиять на работоспособность, внешний вид и функционал электромашинного агрегата.

Исследуемый электродвигатель следует разместить на основании корпуса и обеспечить возможность их крепления друг с другом, при этом необходимо осуществить прочное соединение вала исследуемой машины и вала серводвигателя.

Для обеспечения надежной и долговечной работы следует реализовать соосность вала исследуемого двигателя с валом нагрузочного устройства, то есть в пространстве их оси должны лежать на одной прямой. При этом соединение валов необходимо сделать надежным и прочным, чтобы избежать возможных аварий, связанных с их вращением в процессе работы системы и проведения испытаний.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.065.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		18

Следует принять меры, чтобы исключить механические повреждения, которые могут возникнуть из-за вибраций, создаваемых при работе электромашинного агрегата.

В удобном для пользования при осуществлении работы месте на корпусе нагрузочного устройства необходимо разместить лицевую панель с элементами управления и индикации, для контроля и регулирования работы нагрузочного устройства посредством тумблеров, потенциометров, выключателей и индикаторов.

Для соединения внутренних и внешних элементов электромашинного агрегата следует разместить на корпусе необходимые для работы системы разъёмы.

3.2. Общая конструкция электромашинного агрегата и нагрузочного устройства

Конструкция электромашинного агрегата была разработана мной под руководством инженеров ООО НПП «Учтех-Профи».

Непосредственно в мои обязанности входило проектирование общей модели и разработка основных её элементов. Результатом деятельности стали рабочие чертежи, отвечающие необходимым требованиям их изготовления.

При проектировании было принято решение обеспечить соосность валов электродвигателя и нагрузочного устройства, путём их совмещения в пространстве, используя элементы конструкции.

Для большей надёжности была реализована система фиксации при помощи неодимовых магнитов, что обеспечит как хорошее присоединение, так и позволит без особого труда осуществлять установку и снятие исследуемых электрических машин.

Внешний вид электромашинного агрегата представлен на рисунке 3.1

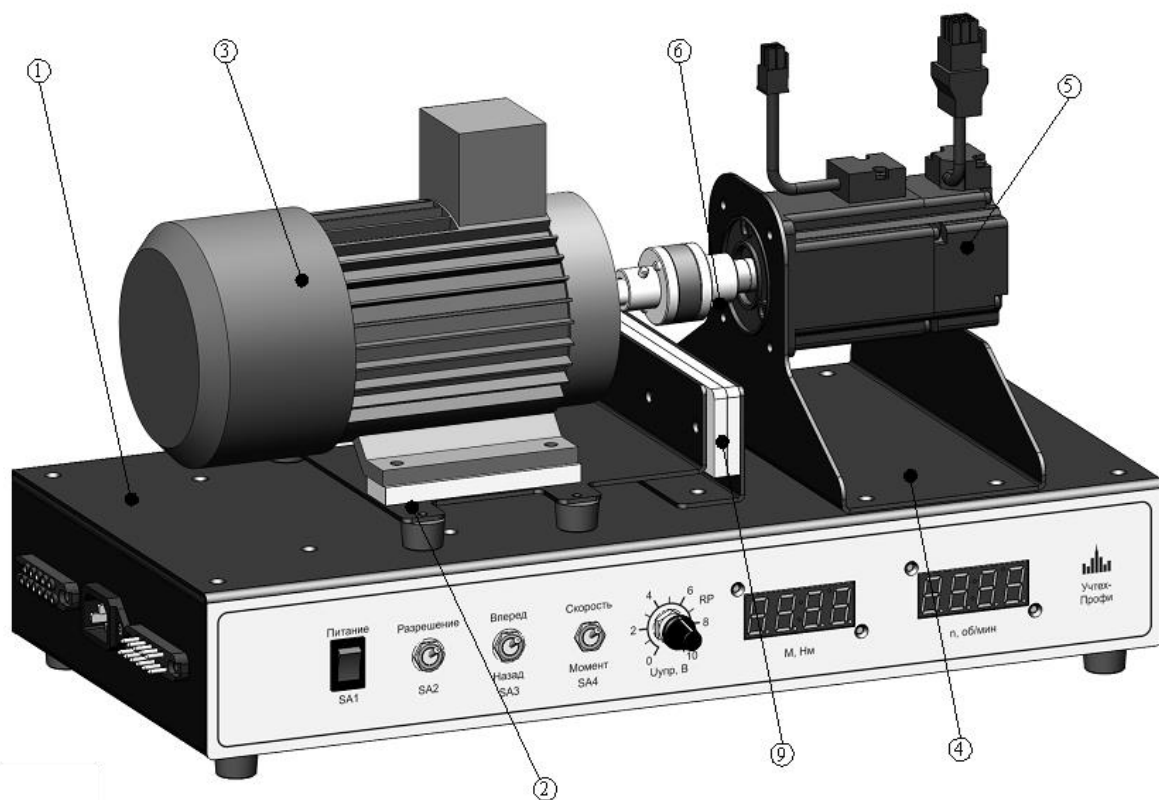


Рисунок 3.1 - Внешний вид нагрузочного устройства с исследуемым асинхронным двигателем

- 1 – Основание агрегата;
- 2 – Платформа исследуемого двигателя;
- 3 – Исследуемый двигатель;
- 4 – Фланец нагрузочного устройства;
- 5 – Серводвигатель;
- 6 – Полуфланта серводвигателя;
- 7 – Полуфланта исследуемого двигателя;
- 8 – Демпферная шайба;
- 9 – Пластиковые панели с магнитами.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.065.01ПЗ

Лист

20

Основание агрегата (см. рисунок 3.1) выполнено из листовой стали толщиной 2 мм и состоит из двух П-образных элементов, соединяющихся между собой с помощью бонок М4 и покоится на четырёх прорезиненных ножках.

На боковой панели основания агрегата расположены разъемы, через которые осуществляется соединение блока управления с внешними устройствами.

На основании агрегата находится подвижная платформа с исследуемым асинхронным двигателем, который крепится к ней с помощью четырёх соединительных болтов на лапах электродвигателя.

Платформа исследуемого двигателя представляет собой лист стали сложной формы и толщиной 2 мм. Она имеет четыре прорезиненные ножки, участвующие в гашении вибраций, которые могут возникнуть при работе системы.

Фланец нагрузочного устройства предназначен для присоединения серводвигателя к основанию и представляет из себя лист стали сложной формы и толщиной 2 мм, который прикрепляется к основанию электромашинного агрегата при помощи четырёх бонок М4.

Серводвигатель присоединяется к фланцу нагрузочного устройства четырьмя болтами, а его задняя часть покоится на кромке листа. Такая конструкция обусловлена необходимостью обеспечить соосность валов нагрузочного устройства и исследуемого двигателя и жёстко закрепить нагрузочную машину для исключения деформации металла, вибраций и иных неблагоприятных явлений в процессе работы и хранения электромашинного агрегата.

На валу исследуемого электродвигателя установлена полумуфта, обеспечивающая сцепление с валом серводвигателя через аналогичную полумуфтой, установленной на нём. Между полумуфтами расположена демпферная шайба для гашения возникающих при работе вибраций.

										Лист
										21
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2020.065.01ПЗ					

Применение муфты данного типа для обеспечения соединения валов в данном проекте обусловлено надежностью соединения, качественными характеристиками и хорошим подавлением вибраций, возникающих при работе с нагрузочной машиной.

Более того использование такой конструкции позволит производить установку и снятие исследуемых электродвигателей в краткие сроки и без необходимости в специализированном инструменте.

Для осуществления сцепления между основанием электромашинного агрегата и подвижной платформой исследуемого двигателя, к ним крепятся пластиковые панели с неодимовыми магнитами, которые притягиваются друг к другу, тем самым создавая усилие, препятствующее движению подвижной платформы.

3.3. Лицевая панель нагрузочного устройства

Лицевая панель нагрузочного устройства служит для осуществления контроля и управления его работой посредством тумблеров, выключателей и индикаторов.

На лицевой панели (см. рисунок 3.2) белого цвета располагаются элементы управления и индикации: три тумблера, одна ручка потенциометра, два семисегментных индикатора и выключатель питания с соответствующими надписями.

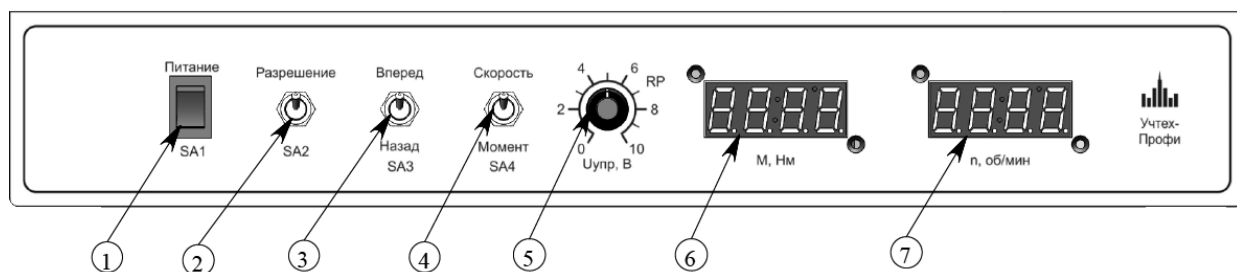


Рисунок 3.2 - Внешний вид лицевой панели нагрузочного устройства

- 1 – Выключатель питания
- 2 – Тумблер «Разрешение»
- 3 – Тумблер выбора направления вращения
- 4 – Тумблер выбора режима управления
- 5 – Потенциометр задания скорости и момента
- 6 – Семисегментный индикатор момента нагрузки на валу двигателя
- 7 – Семисегментный индикатор скорости вращения двигателя

Выключатель питания служит для замыкания и размыкания цепи электропитания нагрузочного устройства

Тумблер «Разрешение» разрешает работу серводвигателя.

Тумблер выбора направления вращения позволяет запускать серводвигатель в прямом и реверсивном направлении вращения.

Тумблер выбора режима управления позволяет запускать сервосистему в режимах поддержания момента или скорости.

Потенциометр задания скорости и момента позволяет с помощью аналогового сигнала задавать величину скорости или момента, в зависимости от выбранного режима работы.

Семисегментные индикаторы осуществляют индикацию скорости и момента на валу нагрузочного устройства.

Кроме того на лицевой панели нагрузочного устройства присутствует штамп организации ООО НПП «Учтех-Профи». Все остальные части основания, кроме лицевой панели, окрашены в чёрный цвет.

4. ВЫБОР ОСНОВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА

4.1. Нагрузочная машина

Так как среди исследуемых электродвигателей наибольшую мощность величиной 180 Вт имеет асинхронный двигатель, нагрузочное устройство не может иметь меньшую мощность .

Согласно существующим рекомендациям по выбору, для выполнения поставленных задач было принято решение использовать сервосистему производства фирмы “Delta electronics” на базе серводвигателя ЕСМА-20602RS мощностью 200 Вт и блока управления ASD-B2-0221-B. Характеристики системы приведены ниже в таблицах 4.1 и 4.2 соответственно. [4]

Таблица 4.1 - Технические характеристики электродвигателя ЕСМА-20602RS

Наименование, ед. изм.	Величина
Тип	ЕСМА-20602RS
Мощность, кВт	0,2
Напряжение питания, В	220
Максимальная частота вращения, об/мин	5000
Номинальная частота вращения, об/мин	3000
Номинальный ток, А	1,55
Максимальный ток, А	4,65
Номинальный крутящий момент, Н.м	0,64
Максимальный крутящий момент, Н.м	1,92
Тип энкодера	17 бит
Размер фланца, мм	60
Тип вала	со шпонкой и резьбой
Наличие тормоза и сальников	без тормоза, с сальником

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

ЮУрГУ-13.03.02.2020.065.01ПЗ

Лист

24

Продолжение таблицы 4.1

Наименование, ед. изм.	Величина
Вибростойкость	2,5 G
Степень вибрации	15
Класс энергоэффективности	IE2
Рабочая температура, С	0...40
Масса	1,2

Таблица 4.2 - Основные технические характеристики блока управления ASD-B2-0221-B

Наименование		Величина
Тип		ASD-B2-0221-B
Номинальная мощность		0,2 кВт
Напряжение питания		трёхфазное или однофазное 220 В
Система охлаждения		Естественная воздушная
Метод управления		SVPWM (ШИМ пространственных векторов)
Номинальный выходной ток		1,55 А
Режимы настройки		автоматический / ручной
Тормозной резистор		нет
Коммуникационный интерфейс		RS-232 / RS-485
Условия хранения и эксплуатации	Условия монтажа	Внутри помещения (вне прямого солнечного света), вне агрессивных сред (без коррозионных жидкостей и газов, пыли, ЛВС и т.д.)
	Высота установки	до 1000 м над уровнем моря
	Атмосферное давление	86 кПа - 106 кПа

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

ЮУрГУ-13.03.02.2020.065.01ПЗ

Лист

25

Продолжение таблицы 4.2

Наименование		Величина
Условия хранения и эксплуатации	Рабочая температура	0 °С...55 °С (при более высокой температуре требуется внешнее принуд. охлаждение)
	Температура хранения	-20 °С...65°С
	Влажность	0...90% (без конденсата)
Степень защиты		IP20
Система электропитания		TN система (с заземленной нейтралью)
Сертификация		IEC/EN 61800-5-1, UL 508C
Аналоговый входной сигнал	Диапазон	0~±10 VDC
	Вх. сопротивление	10 кОм
Источник управления		Внешний аналоговый сигнал / Внутренние параметры

Сервосистема на основе серводвигателя ЕСМА-20602RS и сервопреобразователя ASD-B2-0221-B (см. рисунок 4.1) является современным и надежным решением, хорошо зарекомендовавшим себя на рынке и подходящим по всем параметрам для использования в качестве нагрузочного устройства разрабатываемого электромашинного агрегата.

Серводвигатель СМА-20602RS имеет встроенный энкодер на 160 000 имп/об (17 бит), что способствует точному измерению скорости и гарантирует стабильную работу электродвигателя в зоне малых оборотов. Это является важным достоинством при исследовании двигателей в рамках изучения электротехнических дисциплин, позволяя получить качественные результаты лабораторных испытаний.



Рисунок 4.1 - Внешний вид сервосистемы

4.2. Тормозные резисторы

В выбранном блоке управления серводвигателем отсутствуют встроенные тормозные резисторы, поэтому следует осуществить их выбор.

Следуя рекомендациям производителя применяемой сервосистемы выберем тормозной резистор BR400W060, характеристики которого приведены в таблице 4.3

Таблица 4.3 - Технические характеристики тормозного резистора
BR400W040

Наименование, ед. изм.	Величина
Тип	BR400W040
Мощность, кВт	0,4
Сопротивление, Ом	40
Расстояние установки тормозного резистора от преобразователя частоты	не менее 10 см
Диэлектрическая прочность, В/см	1500
Сопротивление изоляции, МОм	100
Класс подключаемого преобразователя частоты, В	230
Материал корпуса	оксидированный алюминий
Рабочая температура:	-55°C ~ +250°C, при температуре > 200°C необходимо использование принудительного охлаждения
Масса, кг	0,93

4.3. Элементы управления и индикации

В качестве элементов управления выступают двухпозиционные тумблеры МТ1, характеристики которых приводятся ниже в таблице 4.4. [5]

Таблица 4.4 - Технические характеристики тумблера МТ1

Наименование, ед. изм.	Величина
Тип	МТ1
Масса, гр	13
Усилие переключения, Н	от 1,96 до 11,8
Сопротивление электрического контакта, Ом	не более 0,05

Продолжение таблицы 4.4

Наименование, ед. изм.	Величина
Сопротивление изоляции, МОм	не менее 1000
Диапазон рабочих температур, С	от -60 до +85
Диапазон предельных температур, С	от -60 до +100
Алгоритм работы	on-on

Габаритные и присоединительные размеры тумбера МТ1 приведены ниже на рисунке 4.2

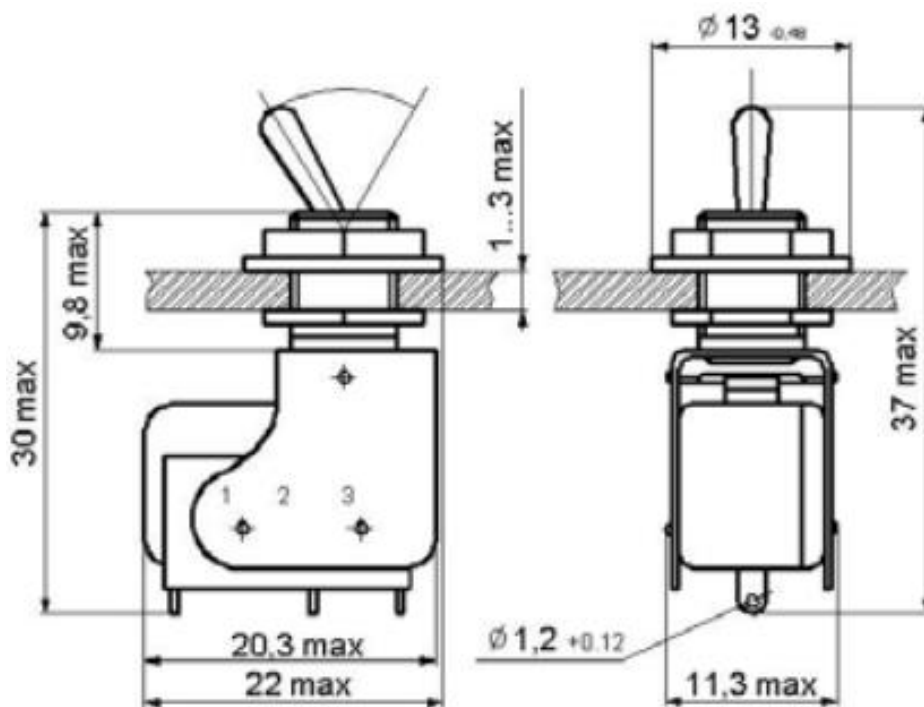


Рисунок 4.2 - Габаритные и присоединительные размеры тумблера МТ1

Для осуществления индикации величин скорости и момента выбраны семисегментные индикаторы фирмы Kingbright CC25-11EWA, технические характеристики которых приведены в таблице 4.5.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

ЮУрГУ-13.03.02.2020.065.01ПЗ

Лист

29

Таблица 4.5 - Технические характеристики

Наименование, ед. изм.	Величина
Тип	СС25-11EWA
Цвет свечения	красный
Длина волны, нм	625
Минимальная сила света Iv мин., мКд	1.9
Максимальная сила света Iv макс., мКд	6.4
При токе Iпр., мА	10
Количество сегментов	7
Дополнительный символ	точка
Схема включения	общ.катод
Высота знака,мм	6.2
Максимальное прямое напряжение,В	2.5
Максимальное обратное напряжение,В	5
Максимальный прямой ток ,мА	30
Максимальный импульсный прямой ток ,мА	160
Рабочая температура,С	-40...85
Вес, г	6

4.4. Управляющее устройство индикации

Для управления двумя семисегментными индикаторами необходимо выбрать микроконтроллеры, имеющие аналого-цифровой преобразователь и достаточное количество программируемых выходов. Для этого составим функциональную схему системы индикации.

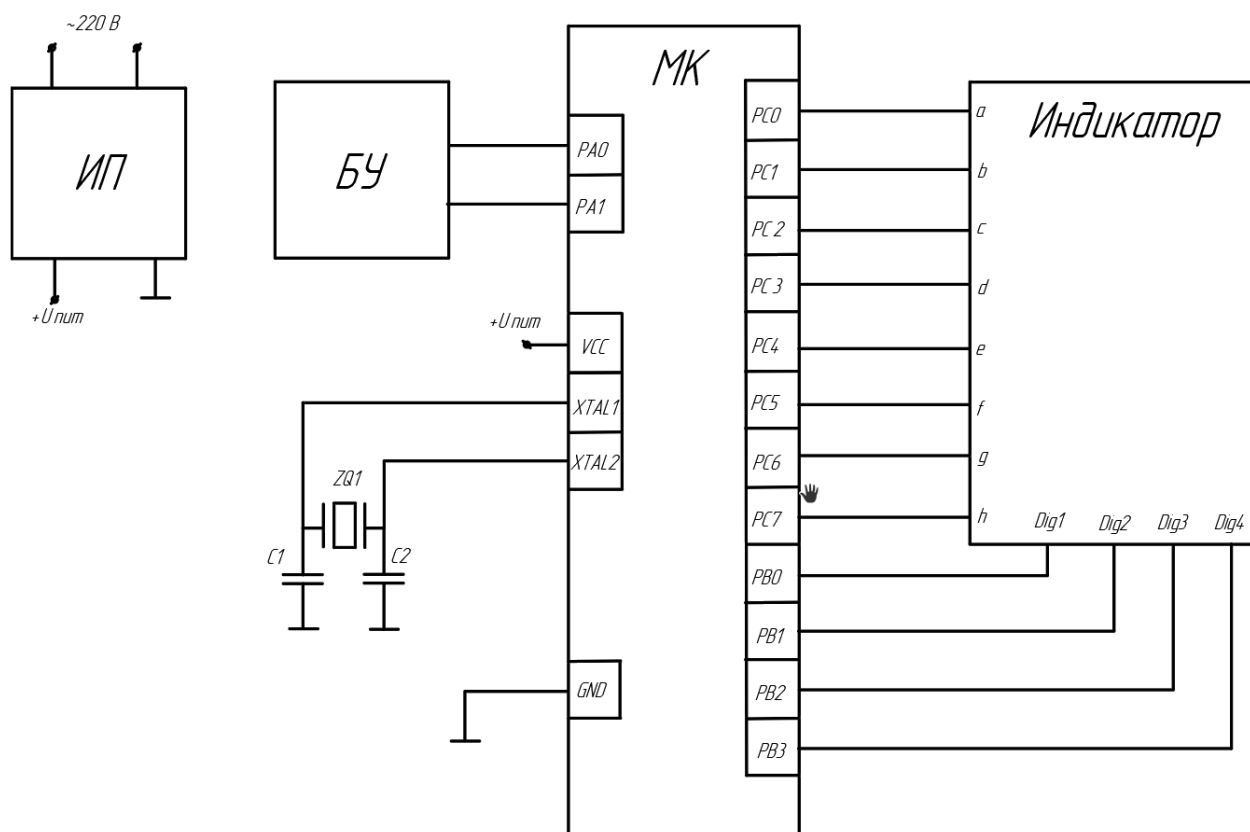


Рисунок 4.3 - Функциональная схема системы индикации.

ИП – источник питания управляющего устройства индикации;

БУ – блок управления серводвигателем;

МК – микроконтроллер;

Индикатор – семисегментный индикатор;

ZQ1 – кварцевый резонатор;

C1, C2 – конденсаторы кварцевого резонатора.

Всем заданным требованиям соответствует микроконтроллер ATmega8535 производства фирмы Atmel Corporation, технические характеристики которого представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 - Технические характеристики ATmega8535

Наименование параметра	Значение
Тип	ATmega8535
Память программ (Flash ROM), кбайт	8
ОЗУ (Static RAM), байт	512
Энергонезависимая память данных (EEPROM), байт	512
Тактовая частота, МГц	0...16
Напряжение питания, В	4,5...5,5
Количество входов/выходов	40
Количество программируемых входов	32
Кол-во внешних источников прерываний	24
8-ми разрядный таймер	2
16-ти разрядный таймер	1
ШИМ, каналов	6
Аналоговый компаратор	1
10-ти разрядный АЦП, каналов	8
Циклов перезаписи	10 000
Последовательный интерфейс UART	1
Последовательный интерфейс SPI	1
Последовательный интерфейс I2C	1

ATmega8535 является 8- битным микроконтроллером, построенным на расширенной AVR RISC архитектуре.

Используя команды исполняемые за один машинный такт, контроллер достигает производительности в 1 MIPS на рабочей частоте 1 МГц, что позволяет разработчику эффективно оптимизировать потребление энергии за счёт выбора оптимальной производительности.

На рисунке 4.4 приведены выводы микроконтроллера

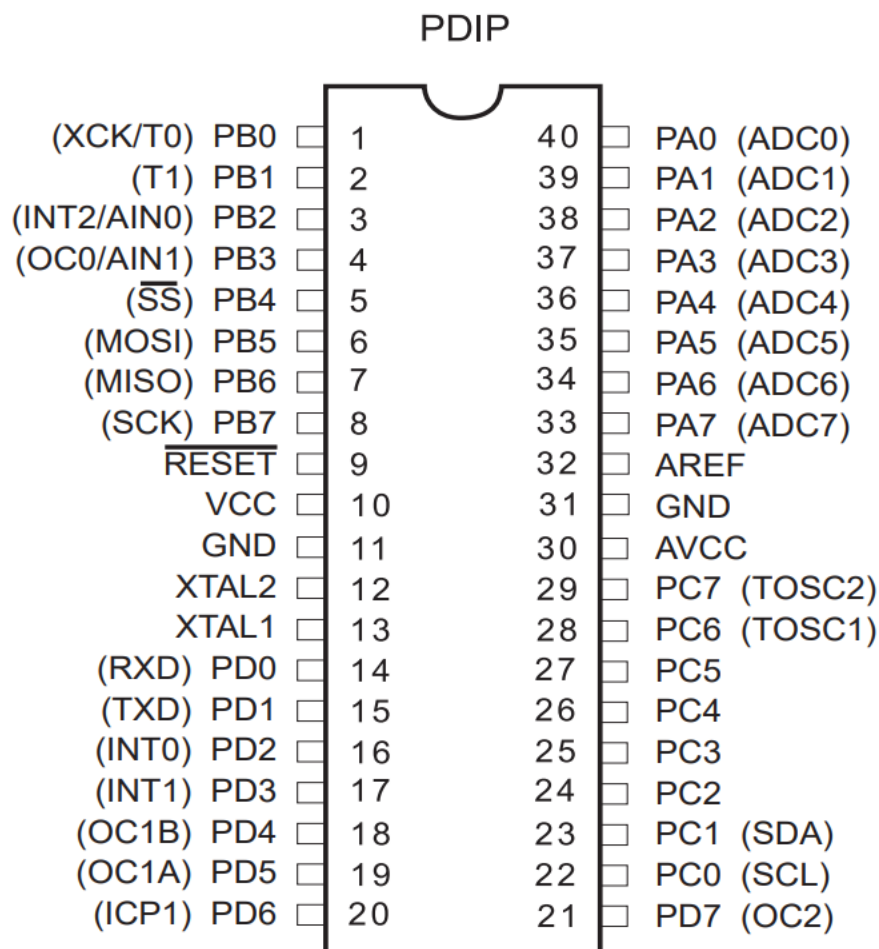


Рисунок 4.4 - Выводы микроконтроллера ATМega8535

Назначение выводов:

- RESET – сброс микроконтроллера;
- VCC – напряжение питания;
- GND – общий провод;
- XTAL1, XTAL2 – подключение кварцевого резонатора;
- AVCC – аналоговое питание для АЦП;
- AREF – внешний источник опорного напряжения для АЦП;

- PA0...PA7 – Выводы порта A;
- PB0...PB7 – Выводы порта B;
- PC0...PC6 – Выводы порта C;
- PD0...PD7 – Выводы порта D.

Альтернативные функции выводов:

- XCK – внешний тактовый вход интерфейса USART;
- T0, T1 – входы таймеров T0, T1;
- OC0, OC1A, OC1B, OC2 – выходы таймеров T0, T1, T2;
- ICP – вход захвата таймера T1;
- INT0, INT1, INT2 – входы внешних прерываний;
- AIN0, AIN1 – входы аналогового компаратора;
- SS – сетевой режим по интерфейсу SPI;
- MOSI – выход интерфейса SPI;
- MISO – вход интерфейса SPI;
- SCK – тактовый вход интерфейса SPI;
- RXD, TXD – вход и выход USART;
- SDA, SDL – линии последовательной передачи данных и тактовых импульсов по шине I2C;
- TOSC2, TOSC1 – выводы подключение часового резонатора 32768 Гц;
- ADC0...ADC5 – каналы АЦП.

После выбора микроконтроллера необходимо выбрать так же источник тактового сигнала - кварцевый резонатор. Резонатор выбирается исходя из допустимого диапазона рабочих частот микроконтроллера. Выбираем кварцевый резонатор РПК01-НС-49U. Основные характеристики выбранного резонатора приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 - Основные характеристики кварцевого резонатора

Наименование	РПК01-НС-49U
Рабочая частота, МГц	8
Точность, %	$\pm 50 \cdot 10^{-6}$

Для надежности запуска в работу микроконтроллера необходимо правильно выбрать конденсаторы кварцевого резонатора.

Для данного кварцевого резонатора используются конденсаторы GRM3165C1H150J, основные технические характеристики которых представлены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 - Основные характеристики конденсатора

Наименование	GRM3165C1H150J
Рабочее напряжение, В	50
Емкость, пФ	15
Точность, %	± 5

4.5. Источник вторичного электропитания

Для питания органов управления и индикации, а также подачи напряжения на цепь аналогового задания скорости и момента необходимо выбрать источник вторичного электропитания.

В целях уменьшения массы и габаритов нагрузочного устройства было принято решение использовать источник питания имеющий несколько выводов с разной величиной выходного напряжения.

В данном проекте в качестве источника вторичного электропитания был выбран источник фирмы Mean Well модели РТ-45В, который имеет выводы +5, +12, -12 В. Его характеристики приведены ниже в таблице 4.9.

Таблица 4.9 - Технические характеристики источника питания РТ-45В

Наименование, ед. изм.	Величина
Тип	РТ-45В
Выходное напряжение, В	+5, +12, -12
Выходной ток, А	0.4~5, 0.2~2.5, 0~0.5
Мощность, Вт	45
Количество выходов, шт	3
Исполнение	открытое
Размеры, мм	127x76x28
Вес, г	210
Виды защит	перегрузка, к.з., перенапряжение

Внешний вид источника питания приведён на рисунке 4.5.

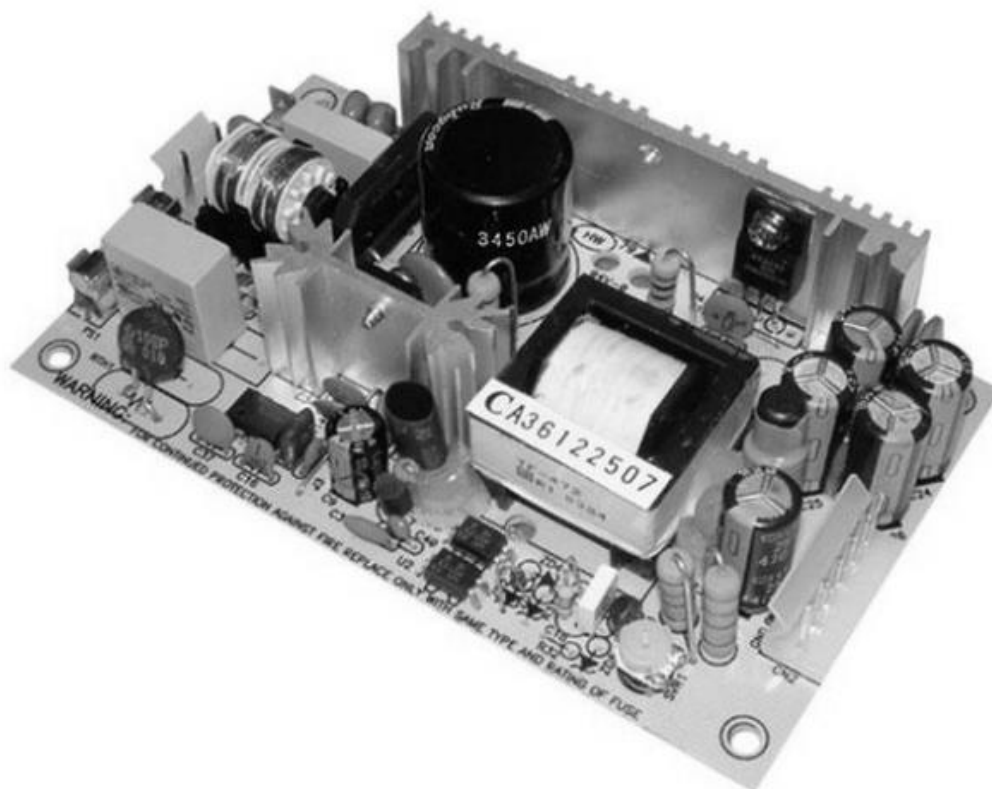


Рисунок 4.5 - Внешний вид источника питания РТ-45В

5. РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СХЕМЫ

В данной главе при разработке принципиальной электрической схемы необходимо выбрать элементы, которые в неё входят и далее сделать чертёж. [

5.1. Выбор транзисторов для управления катодами индикаторов

Для управления катодами семисегментных индикаторов выберем биполярный транзистор типа «n-p-n».

Основное назначение транзисторов – усиление тока до величины, необходимой для катодов индикатора. [3]

Коммутируемое напряжение выбираемого транзистора должно быть больше с коэффициентом запаса:

$$U_{кэ}^{MAX} = K_з \cdot U_{ком} = 3 \cdot 5 = 15 \text{ В};$$

Расчитаем номинальный ток транзистора. Максимальный ток, протекающий через каждый сегмент индикатора равен 30 мА, соответственно учитывая, что одновременно будет работать лишь один сегмент и для надежной работы выбираемого транзистора максимальный ток на коллекторе должен быть в два раза больше, необходим транзистор с мауимальным током более 60 мА.

На основе полученных условий выбираем транзисторы КТ315. Технические характеристики которого приведены в таблице 5.1

Таблица 5.1 - Технические характеристики тразистора КТ315

Параметр	Значение
Тип проводимости	n-p-n
Максимальный ток, I_{max}	100 мА
Максимальное напряжение коллектор-эмиттер, $U_{кэ}$	20 В
Коэффициент усиления по току, h_{fe}	20

Таким образом, максимальный ток базы равен:

$$I_{\text{б}} = \frac{I_{\text{к}}}{h_{fe}} = \frac{100}{20} = 5 \text{ мА};$$

Найдём номиналы резисторов, определяющих ток, проходящий через сегменты индикатора:

$$R = \frac{U_{\text{п}} - U_{VD}}{I_{VD}} = \frac{5 - 2.5}{10 \cdot 10^{-3}} = 250 \text{ Ом};$$

где $U_{\text{п}}$ – напряжение электропитания индикатора, В;

U_{VD} – прямое падение напряжения светодиодов индикатора, В;

I_{VD} – номинальный ток светодиодов индикатора, А.

$$P = (10 \cdot 10^{-3})^2 * 240 = 0.024 \text{ Вт};$$

Выбираем резистор CF-100 (С1-4) основные характеристики которого представлены в таблице 5.2

Таблица 5.2 - Технические характеристики резистора CF-100 (С1-4), 240 Ом

Тип	Величина сопротивления, Ом	Точность, %	Мощность, Вт
CF-100	240	5	0.5

Выбираются резисторы базы биполярного транзистора:

$$R = \frac{U_{\text{п}} - U_{\text{бэ}}}{I_{\text{б}}} = \frac{5 - 2.5}{5 \cdot 10^{-3}} = 500 \text{ Ом};$$

Согласно рассчитанному сопротивлению выберем номинал для резистора CF-100 (С1-4) из ряда E12: $R_{\text{б}}=470 \text{ Ом}$

Зная сопротивление найдем мощность:

$$P = (5 \cdot 10^{-3})^2 * 500 = 0.013 \text{ Вт};$$

Таблица 5.3 - Технические характеристики резистора CF-100, 470 Ом

Тип	Величина сопротивления, Ом	Точность, %	Мощность, Вт
CF-100	470	5	0.125

5.2. Выбор резисторов на входе АЦП микроконтроллера

По схожему признаку, как и резисторы для сегментов индикатора и резисторы базы биполярного транзистора, выбираются также и следующие сопротивления.

Резисторы типа CF-100, 470 Ом (см. таблицу 5.3) следует установить на вход АЦП микроконтроллера, для снятия необходимого уровня напряжения с аналоговых выходов блока управления.

Также необходимо выбрать резисторы на выход разъёма CN5 блока управления и шунт.

На аналоговые выходы блока управления выберем резисторы MO-200 с сопротивлением 15 кОм, технические характеристики которых представлены в таблице 5.4

Таблица 5.4 - Технические характеристики резистора MO-200, 1500 Ом

Тип	Величина сопротивления, Ом	Точность, %	Мощность, Вт
MO-200	1500	5	2

Для шунтирования сигналов выберем резистор KNP-100 с сопротивлением 1,2 Ом, характеристики которого представлены в таблице 5.5

Таблица 5.5 - Технические характеристики резистора KNP-100, 1.2 Ом

Тип	Величина сопротивления, Ом	Точность, %	Мощность, Вт
KNP-100	1,2	5	1

5.3. Выбор конденсаторов

На выход источника питания для его стабильной работы и снижения уровня помех необходимо установить керамический и электролитический конденсаторы.

Для фильтрации низкочастотных помех устанавливаем электролитический конденсатор ЕСАР(К50-35).

Таблица 5.6 – Характеристики конденсатора ЕСАР(К50-35), 47 мкф

Тип	Ёмкость, мкФ	Рабочее напряжение, В	Точность, %
К50-35	47	16	20

Для фильтрации высокочастотных помех устанавливаем керамический конденсатор К10-17Б.

Таблица 5.7 – Характеристики конденсатора К10-17Б

Тип	Ёмкость, мкФ	Рабочее напряжение, В	Точность, %
К10-17Б	0,22	50	10

6. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММЫ УПРАВЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА СИСТЕМЫ ИНДИКАЦИИ И НАСТРОЙКА БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ

6.1. Настройка блока управления серводвигателем

Для выполнения необходимых функций при работе нагрузочного устройства, необходимо осуществить предварительную настройку сервопреобразователя.

В таблице 6.1 указаны параметры блока управления серводвигателем и их значения.

Таблица 6.1 - Параметры настройки сервопривода

Параметр	Назначение	Значение	Примечание
P0-03	Аналоговый выход	01	1 канал – скорость, 2 канал – момент
P1-04	Масштабирование аналогового выхода 1	100	100%
P1-05	Масштабирование аналогового выхода 2	100	100%
P1-34	Время разгона	1	1 мс
P1-35	Время торможения	1	1 мс
P1-52	Сопrotивление тормозного резистора	294	294 Ом
P1-53	Мощность тормозного резистора	240	240 Вт
P2-10	Дискретный вход 1	101	Разрешение работы привода
P2-11	Дискретный вход 2	106	Реверс привода
P2-12	Дискретный вход 3	119	Смена режима работы момент/скорость

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

ЮУрГУ-13.03.02.2020.065.01ПЗ

Лист

41

Продолжение таблицы 6.1

Параметр	Назначение	Значение	Примечание
P2-13	Дискретный вход 4	014	Задание скорости 1
P2-14	Дискретный вход 5	015	Задание скорости 2
P2-15	Дискретный вход 6	016	Задание момента 1
P2-16	Дискретный вход 7	017	Задание момента 2
P2-17	Дискретный вход 8	0	Не используется

6.2. Выбор и настройка периферийных устройств

Определим бит PA0 порта A для ввода сигналов с сервопреобразователя.

Управление анодами семисегментных индикаторов будем осуществлять портом D, т.е. битами PD0-PD7.

Катодами семисегментных индикаторов будем управлять с помощью битов PB0 и PB1 порта B.

Чтобы разработать программу управляющего устройства системы индикации необходимо настроить регистр управления мультиплексором АЦП ADMUX и регистр управления АЦП ADCSRA.

Регистр управления мультиплексором АЦП ADMUX является специальным коммутатором, коммутирующим входы аналого-цифрового преобразователя микроконтроллера ATmega8535, поскольку преобразователь может одновременно работать только с одним входом.

Биты регистра ADMUX приведены в таблице 6.2

Таблица 6.2 - Регистр управления мультиплексором АЦП ADMUX

Бит	7	6	5	4	3	2	1	0
Название	REFS1	REFS0	ADLAR	MUX4	MUX3	MUX2	MUX1	MUX0

С помощью битов REFS1 и REFS0 определяется источник опорного напряжения АЦП. В данном случае это напряжение питания, подаваемое на вывод AVCC, а значит эти биты принимают значения 0 и 1 соответственно.

Бит ADLAR отвечает за тип выравнивания результата преобразования АЦП. Выберем «правое» выравнивание результата, тем самым бит ADLAR принимает значение нуля.

Посредством битов MUX4...MUX0 определяется, какой из входов АЦП подключен к преобразователю и в каком режиме они работают. Используем в данной работе дифференциальные входы ADC0 - ADC1, соответствующие нулевому и первому битам порта A, а значит биты MUX3, MUX2, MUX1, MUX0 принимают нулевые значения, а в бит MUX4 ставим единицу.

Исходя из предпринятого выбора значения битов регистра управления мультиплексором АЦП ADMUX представлены в таблице 6.3

Таблица 6.3 - Значения битов регистра ADMUX

Бит	7	6	5	4	3	2	1	0
Значение	0	1	0	1	0	0	0	0

Регистр управления АЦП ADCSRA непосредственно управляет работой аналого-цифрового преобразователя микроконтроллера ATmega8535.

Биты регистра ADCSRA приведены в таблице 6.4

Таблица 6.4 - Регистр управления АЦП ADCSRA

Бит	7	6	5	4	3	2	1	0
Название	ADEN	ADSC	ADATE	ADIF	ADIE	ADPS2	ADPS1	ADPS0

Бит ADEN разрешает использование аналого-цифрового преобразователя, поэтому необходимо записать в него единицу, иначе при записи нуля АЦП работать не будет.

Бит ADSC разрешает преобразование АЦП и в него необходимо записывать единицу для каждого преобразования при одиночном режиме работы аналого-цифрового преобразователя.

С помощью бита ADATE разрешается автоматический запуск АЦП по событию, которое выбирается комбинацией битов регистра SFIOR микроконтроллера. В данной работе будет происходить однократное преобразование поэтому в бит ADATE записываем нуль.

Бит ADIF является флагом готовности результата преобразования аналого-цифрового преобразователя и устанавливается автоматически по окончании процесса преобразования.

Бит ADIE является маской прерывания готовности результата преобразования АЦП и чтобы при появлении флага готовности результата преобразования АЦП было сгенерировано прерывание в этот бит следует поместить единицу.

Посредством битов ADPS2...ADPS0 устанавливается делитель тактовой частоты процессора для тактирования АЦП. Чтобы в данной работе установить предделитель величиной 128, нужно в биты ADPS2...ADPS0 установить единицы.

Исходя из предпринятого выбора значения битов регистра управления АЦП ADCSRA представлены в таблице 6.5

Таблица 6.5 - Значения битов регистра ADCSRA

Бит	7	6	5	4	3	2	1	0
Значение	1	1	0	0	1	1	1	1

В регистре специальных функций контроллера SFIOR битами ADTS2...ADTS0 задаётся источник автозапуска АЦП.

Для применения непрерывного преобразования АЦП биты ADTS2...ADTS0 этого регистра следует установить как нули.

Биты регистра SFIOR приведены в таблице 6.6

Таблица 6.6 - Регистр специальных функций контроллера SFIOR

Бит	7	6	5	4	3	2	1	0
Название	ADTS2	ADTS1	ADTS0	-	-	-	-	-

Значения битов регистра SFIOR приведены в таблице 6.7

Таблица 6.7 - Значения битов регистра SFIOR

Бит	7	6	5	4	3	2	1	0
Название	0	0	0	-	-	-	-	-

6.3. Листинг программы в среде программирования Assembler с комментариями

; Преобразование аналогового сигнала с сервопреобразователя с помощью
; АЦП микроконтроллера АТМega8535 и вывод на индикацию значений
; скорости вращения и момента нагрузки серводвигателя.
; Порт А на вход (РА0, РА1) – входы АЦП
; Порт D на выход (PD0...PD3) – катоды индикаторов
; Порт С на выход (PC0...PC7) – сегменты индикаторов

Значения регистров:

ADMUX = 01010000

ADCSRA = 11001111

.include "m8535def.inc"

.cseg

.def CATOD=r20 ;катод

.org 0

```

rjmp reset
.org $0E
rjmp int_ADC ;обработчик готовности АЦП
reset:
ldi r16,2 ;инициализация стека
ldi r17,$5F
out sph,r16
out spl,r17
clr r16 ;инициализация портов
ser r17
out DDRA,r16 ;ввод
out DDRC,r17 ;вывод -сегменты
out DDRD,r17 ;вывод - катоды
;инициализация таймера АЦП
Ldi r16,$50
out ADMUX,r16 ;каналы 0-1, правое выравнивание
ldi r18,$CF
out ADCSRA,r18 ;11001111 - однократный запуск АЦП с КД=128 (f~5кГц)
sei
;инициализация индикаторов и ОЗУ
ldi CATOD,1 ;подключение младшего индикатора
clr YH
ldi YL,1 ; адрес ОЗУ - ячейка 0001
main:
rjmp main
;-----обработчик прерывания АЦП-----
int_ADC:
ldi r18,5
out ADCSRA,r18 ;11001111 - однократный запуск АЦП с КД=128

```

```

cpi CATOD,1           ;на ввод данных и расчет только при CATOD=1
brne indicator
in r16,ADCL           ;ввод младшего байта данных АЦП
in r17,ADCH           ;ввод старшего байта данных АЦП
mul r16,r18
mov r20,r0
mov r21,r1
mul r17,r18
add r21 r0
rcall raschet         ;расчет десятичных цифр
indicate:
ldi ZL,Y+             ;загрузка из ОЗУ (r1,r2,r3,r4)в указатель Z
                       ;цифр десятичных разрядов заданного числа
lpm
out PORTC,r0          ;зажечь один индикатор
out POTD,CATOD
lsl CATOD              ;смена катода
cpi CATOD,$10         ;проверка катода, если 1,2,4,8,
brne vihod            ;то закончить прерывани
ldi CATOD,1           ;в противном случае катод=1
ldi YL,1;ОЗУ на r1
vihod:
reti
;-----расчёт десятичных цифр-----
raschet:
;входы: регистры r17:r16 (10...12 двоичных разрядов)
;выходы: регистры r4:r3:r2:r1 (4 десятичных разряда)
;r24 - счетчик десятичных цифр (0...3)
;r6:r5 - весовые коэффициенты десятичных разрядов (1000,100,10)

```

```

;r7 - счетчик значения цифры (0...9)

.equ NUMBER=4      ;количество десятичных цифр
.def ves_lo=r5     ;весовой коэффициент младший байт (E8,64,0A)
.def ves_hi=r6     ;весовой коэффициент старший байт (03,00,00)
.def count=r24    ;счетчик десятичных цифр (0...3)
.def cifra=r7     ;счетчик значения цифры (0...9)

clr count         ;обнулить счетчик десятичных цифр

ldi ZH,high(2*k_ves) ;установить указатель Z на начало
ldi ZL,low(2*k_ves) ;памяти весовых коэффициентов
ldi YL,NUMBER+1   ;количество десятичных цифр + 1
razrjd:          ;цикл расчета одной цифры

lpm ves_lo,Z+     ;считывание весового коэффициента младший байт
lpm ves_hi,Z+     ;считывание весового коэффициента старший байт
rcall digit      ;расчет цифры заданного разряда
st -Y,cifra      ;записать цифру в ОЗУ(R4...R1)
inc count        ;изменить разряд
cpi count,NUMBER ;4 - количество десятичных цифр
brne razrjd
mov r1,r16       ;запись единиц
reti

;-----расчет одной десятичной цифры-----
digit:
clr cifra
cycle:
cpc r16,ves_lo   ;сравнить младший байт и весовой коэффициент
cpc r17,ves_hi   ;сравнить старший байт и весовой коэффициент
brlo end        ;если число меньше веса, то выйти из подпрограммы
sub r16,ves_lo   ;в противном случае вычесть младшие
sbc r17,ves_hi   ;и старшие байты

```

```

inc cifra          ;увеличить значение цифры
rjmp cycle        ;выполнить цикл еще раз
end:
ret

;-----коды десятичных цифр-----
.org $100
kodi::0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
.db $3F, $06, $5B, $4F, $66, $6D, $7D, $07, $7F, $6F

;-----весовые коэффициенты десятичных цифр-----
.org $110
k_ves::1000, 100, 10
.db $03E8, $0064, $000A

```

7. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОМАШИННОГО АГРЕГАТА

На основе результатов разработки был собран функционирующий электромашинный агрегат с нагрузочным устройством в виде сервопривода и исследуемой машиной в виде системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель.

При проведении испытаний был получен ряд характеристик, причём нагрузочное устройство в полной мере осуществляло свою роль создания нагрузки на валу исследуемого электродвигателя без каких-либо ошибок. На основании этого можно сделать вывод, что выполненный электромашинный агрегат вполне работоспособен и не имеет явных изъянов в процессе исполнения своей функции.

На рисунке 6.1 показаны механические характеристики исследуемой системы, полученные в результате проведения испытаний с участием нагрузочного данного устройства при различных величинах питающего напряжения.

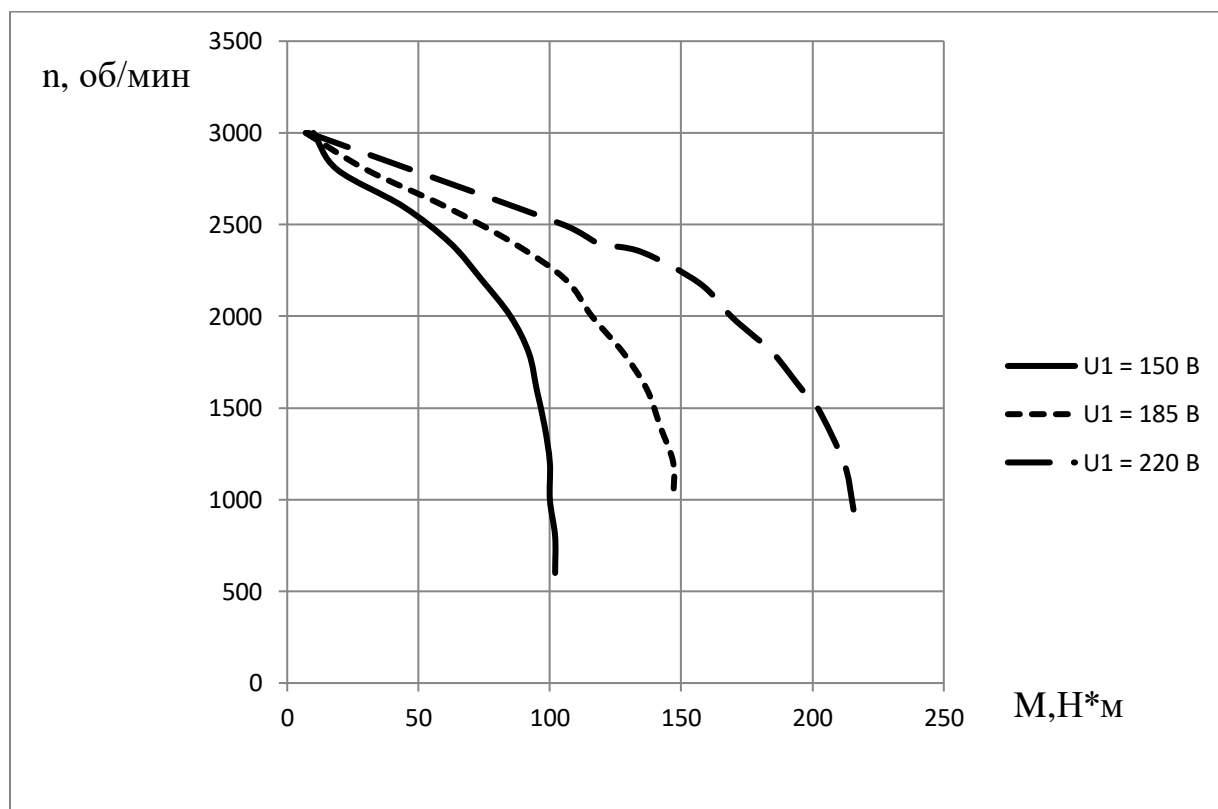


Рисунок 7.1 - Механические характеристики системы ПЧ АД

На рисунке 6.2 показаны электромеханические характеристики и той же системы, полученные в результате проведения испытаний с участием нагрузочного данного устройства при различных величинах питающего напряжения.

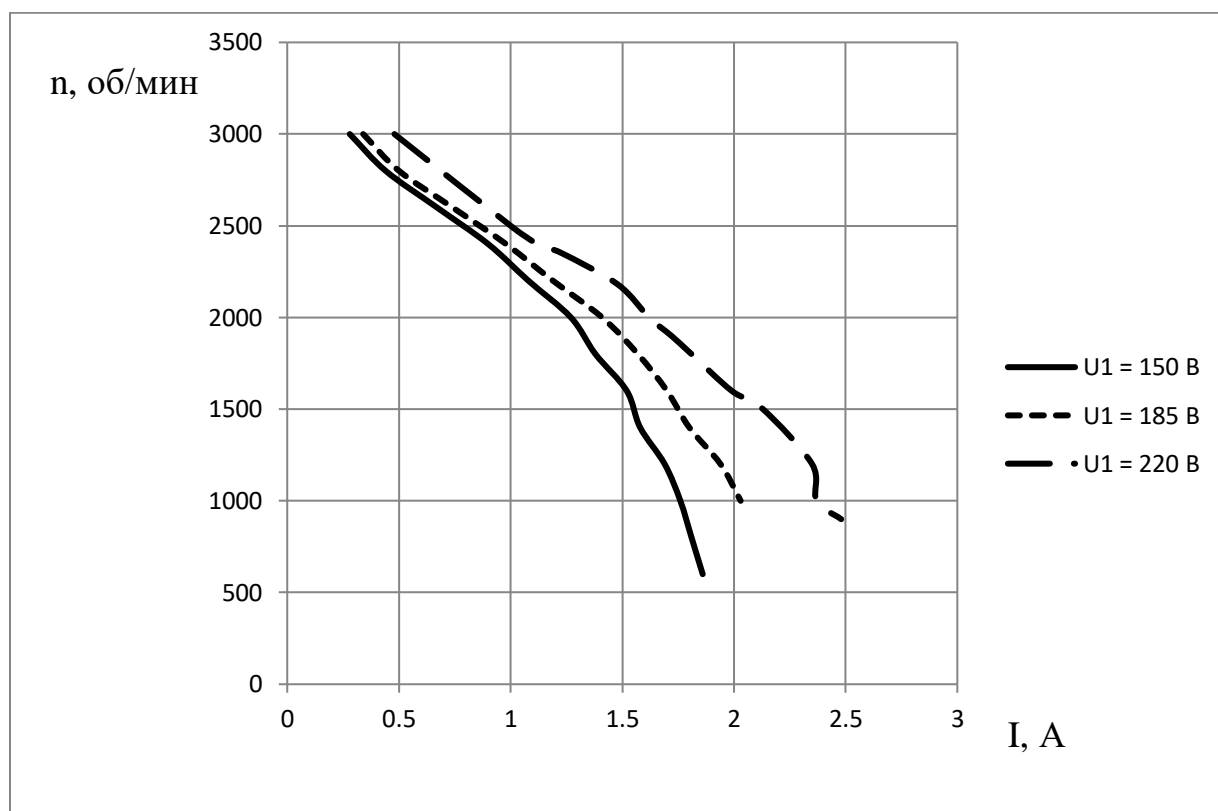


Рисунок 7.2 - Электромеханические характеристики системы ПЧ АД

Также посредством осциллографа были сняты динамические характеристики системы и было частично изучено как она ведёт себя при внезапном набросе нагрузки на вал исследуемого двигателя.

Показания снимаются с асинхронного двигателя, а нагрузка осуществлялась с серводвигателя, поэтому значения на графиках имеют отрицательную величину.

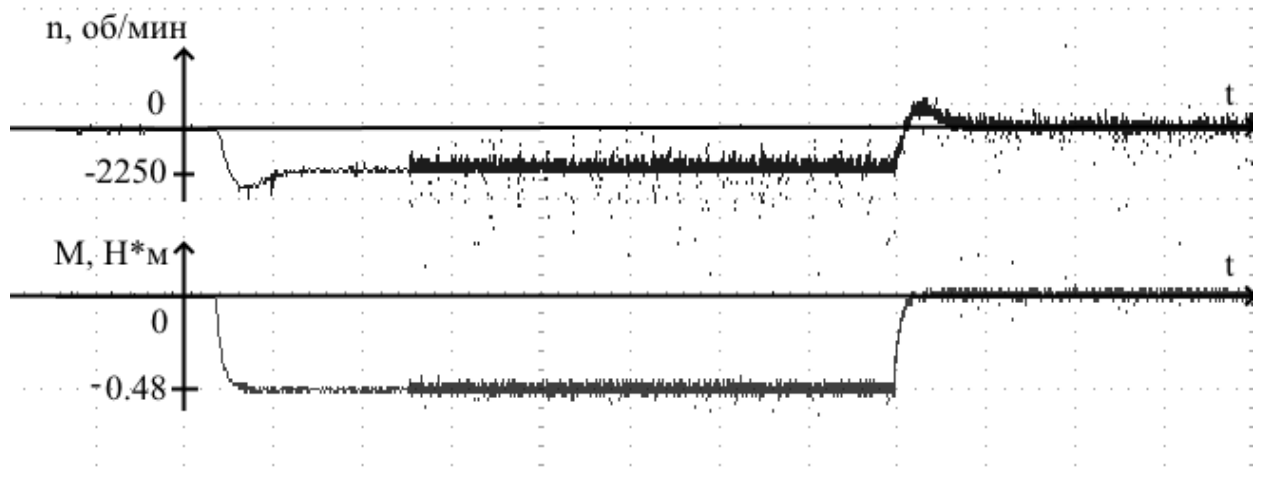


Рисунок 7.3 - Характеристики системы при набросе 75% номинала нагрузки

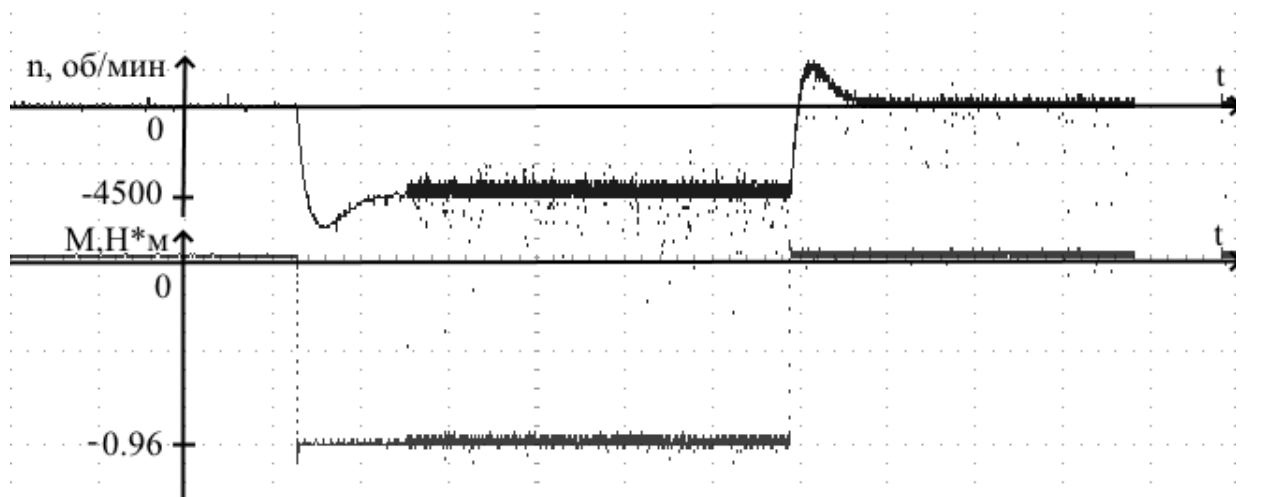


Рисунок 7.4 - Характеристики системы при набросе 150% номинала нагрузки

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При выполнении выпускной квалификационной работы мной был осуществлён выбор элементов электромашинного агрегата, его конструирование и настройка параметров системы с написанием программы для индикации показателей нагрузочного устройства. В заключение были проведены испытания исследуемого электродвигателя, на основании которых можно сделать вывод, что разработанный электромашинный агрегат работоспособен, так как полученные данные сопоставимы с теорией и достоверными опытами других исследователей.

Во время проведения испытаний электромашинный агрегат не показал признаков поломок, повреждений или иных неблагоприятных явлений, что свидетельствует о достаточной надежности данного агрегата, если соблюдать меры безопасности при его эксплуатации, хранении и перемещении.

В ходе разработки был сделан упор на режимы поддержания скорости и момента, что являются наиболее важными для выполнения нагрузочным устройством поставленных задач. Однако совсем не было уделено времени для работы с режимом управления положением угла ротора серводвигателя, так как в данной работе этот режим имеет второстепенное значение он не был включён в стандартные настройки стенда, но при необходимости может быть настроен и применён.

Так же из-за ограниченности во времени выпускной квалификационной работы мной лично не были проведены испытания системы двигатель постоянного тока – тиристорный преобразователь, но если исходить из опыта работы данного нагрузочного устройства с системой ПЧ АД, можно предполагать, что и эти испытания будут успешны.

										Лист
										53
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	ЮУрГУ-13.03.02.2020.065.01ПЗ					

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Башарин, А.В. Управление электроприводами: учебное пособие для вузов/ А.В. Башарин, В.А. Новиков, Г.Г. Соколовский. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 392 с.
2. ГОСТ 2.001-2013. Единая система конструкторской документации. Общие положения. – М.: Стандартинформ, 2018. – 13 с.
3. Иванов И. И., Электротехника и основы электроники: учебник / Г.И. Соловьёв, В.Я. Фролов. – СПб: Издательство «Лань», 2016. – 736 с.
4. Каталог продукции Delta Electronic – <https://www.delta-electronics.info> (дата обращения: 7.04.2020).
5. Каталог электронных приборов и компонентов. – <https://www.chipdip.ru> (дата обращения: 7.04.2020).
6. Митин, Г.П. Условные обозначения в отечественных и зарубежных электрических схемах. – М.: Изумруд, 2003. – 224 с.
7. Усынин, Ю.С. Системы управления электроприводов: учебное пособие/ Ю.С. Усынин. – 2-е изд., испр. и доп. – Челябинск: Изд-во ЮурГУ, 2004. – 326 с.

					<i>ЮУрГУ-13.03.02.2020.065.01ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		54

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1- Технические характеристики блока управления ASD-B2-0221-

В

Наименование		Величина
Тип		ASD-B2-0221-B
Номинальная мощность		0,2 кВт
Напряжение питания		трёхфазное или однофазное 220 В
Система охлаждения		Естественная воздушная
Метод управления		SVPWM (ШИМ пространственных векторов)
Номинальный выходной ток		1,55 А
Режимы настройки		автоматический / ручной
Тормозной резистор		нет
Коммуникационный интерфейс		RS-232 / RS-485
Условия хранения и эксплуатации	Условия монтажа	Внутри помещения (вне прямого солнечного света), вне агрессивных сред (без коррозионных жидкостей и газов, пыли, ЛВС и т.д.)
	Высота установки	до 1000 м над уровнем моря
	Атмосферное давление	86 кПа - 106 кПа

Продолжение таблицы 4.2

Наименование		Величина
Условия хранения и эксплуатации	Рабочая температура	0 °С...55 °С (при более высокой температуре требуется внешнее принуд. охлаждение)
	Температура хранения	-20 °С...65°С
	Влажность	0...90% (без конденсата)
Степень защиты		IP20
Система электропитания		TN система (с заземленной нейтралью)
Сертификация		IEC/EN 61800-5-1, UL 508C
Режим управления положением		
Максимальная частота входных импульсов		Line driver: Max. 500Kpps(low speed) / Max.4Mpps(high speed) Open collector: Max. 200Kpps
Способы счёта импульсов		Импульсы + направление, фаза А + фаза В, Импульсы прямого + обратного вращения
Источник управления		Внешний импульсный сигнал
Плавность регулирования		Низкочастотный сглаживающий фильтры
Электронный редуктор		N/M - множитель/делитель, N:1~67108863, M:1:2147483647 (1/50<N/M<2560)
Ограничение момента		Установка параметрами
Упреждающая компенсация		Установка параметрами

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

ЮУрГУ-13.03.02.2020.065.01ПЗ

Лист

56

Продолжение таблицы 2.2

Наименование		Величина
Режим управления скоростью		
Аналоговый входной сигнал	Диапазон	0~±10 VDC
	Вх. сопротивление	10 кОм
	Пост. времени	2.2 мкс
Диапазон регулирования скорости		1:5000
Источник управления		Внешний аналоговый сигнал / Внутренние параметры
Плавность регулирования		Низкочастотный и S-образный сглаживающие фильтры
Ограничение момента		Установка параметрами
Полоса пропускания		Макс. 550Гц
Точность регулирования		Менее 0.01% при изменении нагрузки от 0 до 100% (на ном. скорости)
		Менее 0.01% при изменении мощности в диапазоне ±10% (на ном. скорости)
		Менее 0.01% при изменении внешней температуры от 0 до 50 °C (на ном. скорости)
Режим управления моментом		
Аналоговый входной сигнал	Диапазон	0~±10 VDC
	Вх. сопротивление	10 кОм
	Пост. времени	2.2 мкс

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

ЮУрГУ-13.03.02.2020.065.01ПЗ

Лист

57

ЮУрГУ - 13.03.02.2020.065.01 Э3

Перв. примен.

Справ. №

Подп. и дата

Инд. № докум.

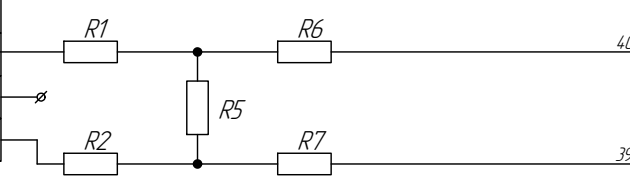
Взам. инд. №

Подп. и дата

Инд. № подл.

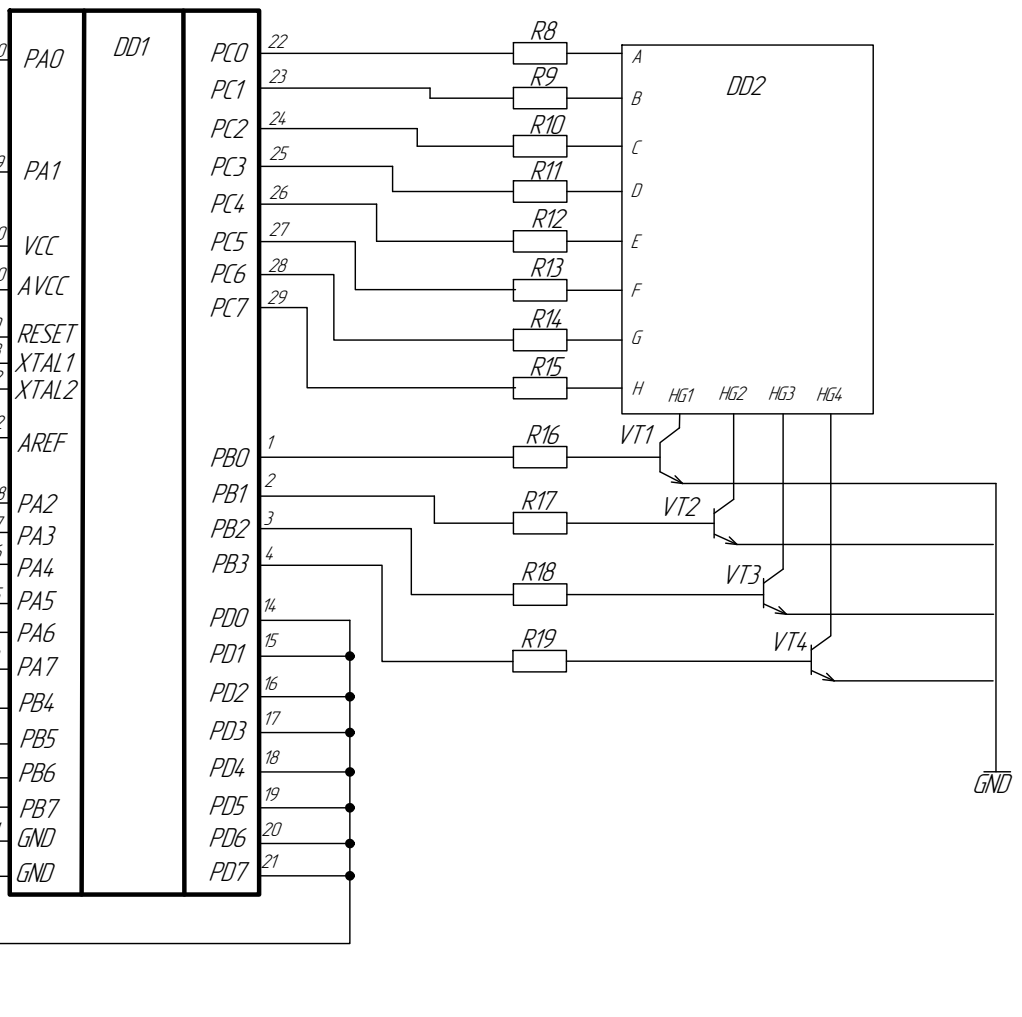
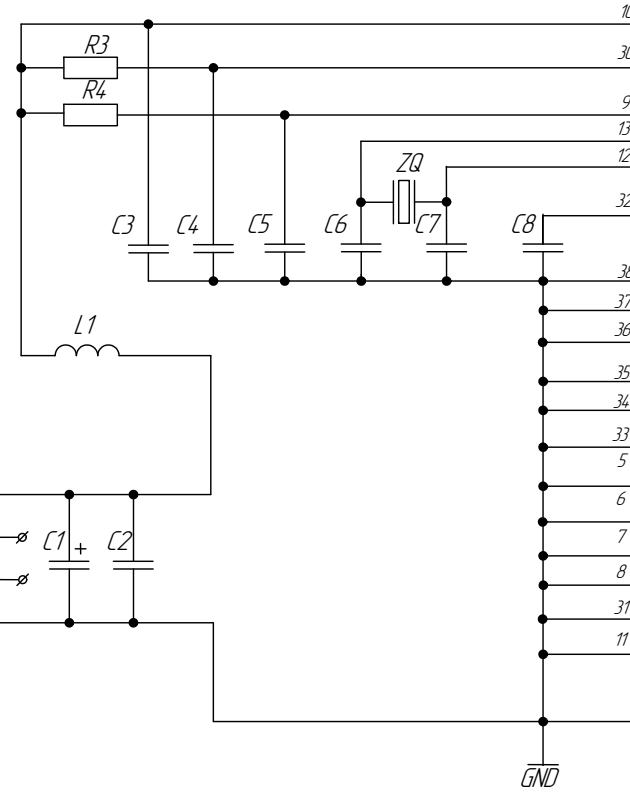
XP1

Цепь	Конт.
Аналоговый выход 1	1
Аналоговый выход 2	2
Земля	3



XP2

Цепь	Конт.
Упит. +5В	1
Упит. +12В	2
Упит. -12В	3
Земля	4



Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Манатов Р.Р.			
Проб.	Хусаинов Р.З.			
Т.контр.				
И.контр.				
Утв.				

ЮУрГУ - 13.03.02.2020.065.01 Э3

Система индикации
Схема электрическая принципиальная

Лит.	Масса	Масштаб
Лист 1	Листов 1	

ЮУрГУ
Кафедра АЭП
Формат А3

Копировал

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Микросхемы		
			DD1	АТМega8535	1	
			DD2	СС25-11EWA	1	
				Резисторы		
			R1...R4	МО-200 15 кОм	4	
			R3	КНР-100 1,2 Ом	1	
			R6, R7, R16...R19	CF-100 470 Ом	6	
			R8...R15	CF-100 240 Ом	8	
				Дроссели		
			L1	КИГ 0.4- 68 мкГн	1	
				Конденсаторы		
			C1	К10-17Б Н90 0.22мкФ	1	
			C2	ЕСАР(К50-35), 47мкф	1	
			C3...C8	ЕСАР(К50-35),0.22мкф	5	
				Транзисторы		
			VT1...VT4	КТ315	4	
				Кварц. резонаторы		
			ZQ	РПК01-НС-49U	1	
				Разъёмы		
			XP1	Разъём CN5 ASDA-B2	1	
			XP2	Разъем ИП РТ-45В	1	

ЮУрГУ - 13.03.02.2020.065.01ПЭ

Изм. Лист №докум. Подп. Дата

Разраб. Манатов Р.Р.

Пров. Хусаинов Р.З.

Н. контр.

Утв.

Система индикации
Перечень элементов

Лит. Лист Листов

1 1

ЮУрГУ
Кафедра АЭП