Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Высшая школа электроники и компьютерных наук
Кафедра «Автоматика и управление»

РАБОТА ПРОВЕРЕНА
Рецензент, инж.-к. 2к.
_____/И.В. Блинов /
«_____» _____ 2019 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой, д.т.н., проф.
_____/ Л.С. Казаринов /
«_____» _____ 2019 г.

Устройство управления вращающимся транспортером с регулированием скорости

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ
ЮУрГУ – 15.04.04 ПЗ ВКР

Консультант, доцент, к.т.н.,
_____/ А.В. Ямщиков/
«_____» _____ 2019 г.

Руководитель проекта, нач. отд. ОСАУ
_____/ С.А. Новиков/
«_____» _____ 2019 г.

Автор проекта
студент группы КЭ-227
_____/ С.В. Пышкин/
«_____» _____ 2019 г.

Нормоконтролер, доцент, к.т.н.
_____/ Т.А.Барбасова/
«_____» _____ 2019 г.

Челябинск

2019

АННОТАЦИЯ

Пышкин С.В, Устройство управления вращающимся транспортером с регулированием скорости. – Челябинск: ЮУрГУ, КЭ-227, 2019, 99 с., 51 ил., 12 табл., библиогр. список – 81 наим., 2 прил.

На базе АО «НПО «Электромашина» была исследована система подачи заготовок, представляющая собой ленточный конвейер на базе тягового электропривода с бесконтактным трехфазным двигателем с возбуждением от постоянных магнитов.

В диссертационной работе проведено экспериментальное исследование возможности работы электропривода, рассчитанного на повторно–кратковременный режим, в длительном режиме.

Было разработано устройство управления, обеспечивающее регулирование скорости вращения вала двигателя с помощью ШИМ–сигналов.

Для проведения исследования были проанализированы предельные характеристики двигателя; рассчитан коэффициент пересчета по температуре; найдена зависимость коэффициента заполнения выходного сигнала тока потребления от крутящего момента для прогнозирования отказа двигателя.

На основе полученных данных проведен эксперимент, имитирующий работу двигателя в длительном режиме, на основе которого был сделан вывод о пригодности использования ЭДБ800 в этом режиме работы.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 7

1 ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ 9

1.1 Назначение и область применения ленточных конвейеров 9

1.2 Конвейерное оборудование и тенденции его развития 12

1.3 Устройство ленточного конвейера 15

2 ВЕНТИЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ 17

2.1 Обзор современных электроприводов с вентильными двигателями и их применение 17

2.1.1 Бесконтактный двигатель постоянного тока 18

2.1.2 Бесконтактный двигатель переменного тока 19

2.2 Особенности работы вентильного двигателя в тяговом электроприводе 21

3 ОБЗОР ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА НА БАЗЕ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С БЕСКОНТАКТНЫМ ТРЕХФАЗНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ... 27

3.1 Описание системы 27

3.1.1 Назначение системы 27

3.1.2 Технические характеристики 27

3.1.3 Состав системы 27

3.1.2.1 Блок управления 28

3.1.2.2 Электродвигатель ЭДБ800 30

3.1.2.3 Пульт управления 33

3.1.2.4 Датчики 35

3.2 Режимы работы системы 35

3.2.1 «ЗАГРУЗКА» 36

3.2.2 «РАЗГРУЗКА» 36

3.2.3 «ПООПЕРАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ» 37

3.2.4 «КОНТРОЛЬ» 37

4 РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ ВРАЩАЮЩИМСЯ КОНВЕЙЕРОМ 39

4.1 Выбор микроконтроллера 39

4.2 Выбор электропитания микросхем 40

4.3 Выбор источника тактовых сигналов 43

4.4 Выбор шинных формирователей 44

4.5 Выбор выходных регистров 47

4.6 Выбор приемопередатчика интерфейса RS232 51

4.7 Выбор резисторов 53

4.8 Выбор конденсаторов 54

4.9 Объединение выбранных элементов в единую схему 57

5 РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕСЧЕТА ПО ТЕМПЕРАТУРЕ 66

6 РАСЧЕТ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАПОЛНЕНИЯ СИГНАЛА ТОКА ПОТРЕБЛЕНИЯ ОТ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА 73

6.1 Расчет зависимости коэффициента заполнения от крутящего момента при ω_1 =2000 74

6.2 Расчет зависимости коэффициента заполнения от крутящего момента при ω_2 =4000 78

7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОМ РЕЖИМЕ 84

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 91

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 93

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А. Характеристики микроконтроллеров серии 1986ве9х ..... **ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.**

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Схемы и чертежи..... **ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.**

ВВЕДЕНИЕ

Конвейеры, которые на практике часто называют транспортерами, относят к механизмам непрерывного транспорта. В современном мире они являются неотъемлемой частью многих технологических процессов. С их помощью регулируют темп производства, обеспечивают его ритмичность и непрерывность. Транспортеры часто объединяют с технологическими машинами и установками в поточно–транспортные системы (ПТС) и поточно–транспортные линии (ПТЛ) для повышения производительности труда и увеличения выпуска продукции. Из-за тесной связи конвейеров с технологическими процессами важно обеспечить их надежную работу и удобство в эксплуатации, потому что в случае возникновения нештатных ситуаций предприятие рискует понести значительные экономические потери из-за остановки производства.

Всё многообразие конвейеров можно разделить на 2 большие группы: с тяговым органом (ленточные, скребковые, ковшовые, цепные и тд.) и без тягового органа (роликовые, инерционные, винтовые и др.).

Наиболее распространенным типом транспортеров являются ленточные конвейеры – они составляют около 90% всего парка транспортирующих машин.

В рамках выпускной квалификационной работы (ВКР) рассматривается ленточный конвейер (транспортер) на базе тягового электропривода с бесконтактным трехфазным двигателем с повторно-кратковременным режимом работы, применяемый в системе подачи заготовок.

Целью ВКР является исследование сигналов тока потребления и внутренней температуры двигателя и возможностей его использования в продолжительном режиме.

Задачи, решаемые в процессе:

1. Обзор современных ленточных конвейеров и тенденций развития конвейерного оборудования;
2. Изучение теории вентильных двигателей;
3. Разработка устройства управления для управления двигателем;

4. Расчет зависимости коэффициента заполнения от температуры двигателя при различных температурах окружающей среды и вычисление коэффициента пересчета по температуре;
5. Расчет зависимости коэффициента заполнения от крутящего момента для проверки исправности редуктора и прогнозирования отказов;
6. Расчет зависимости температуры двигателя от времени работы для определения возможности его использования в длительном режиме работы.

Элементом научной новизны является программно–аппаратная реализация управления двигателем вращающегося транспортера.

Теоретическая значимость работы состоит в анализе сигналов обратной связи по току потребления и внутренней температуре двигателя; получении зависимости коэффициента заполнения от внутренней температуры двигателя для вычисления коэффициента пересчета по температуре и зависимости коэффициента заполнения выходного сигнала обратной связи по току потребления от крутящего момента для прогнозирования отказов двигателя.

Практическая значимость работы состоит в подтверждении или опровержении возможности работы системы в продолжительном режиме на основе полученных зависимостей и построение цепей управления с обратной связью по току потребления и температуре двигателя.

1 ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ЛЕНТОЧНЫХ КОНВЕЙЕРОВ

1.1 Назначение и область применения ленточных конвейеров

Основное назначение ленточного конвейера – перемещение в горизонтальном и наклонном направлении грузов без остановок на загрузку и выгрузку. Благодаря высокой производительности (до 30 000 т/ч), большой длине (до 3…4 км в одном конвейере), простоте конструкции и эксплуатации, высокой надежности ленточные конвейеры применяются во многих отраслях промышленности:

1. В производстве нерудных строительных материалов – для транспортировки известняка от карьеров до цементных заводов, гравия и щебня – от карьеров до гравийно-щебеночных и обогатительных фабрик, песка – от карьеров до грузовых причалов и т. д. [1];
2. На металлургических предприятиях – для доставки руды, концентрата и известняка от вагоноопрокидывателей на складе сырых материалов и со складов на аглофабрику; агломерата – от аглофабрики в бункера доменного и сталелитейного цехов; угля – от вагоноопрокидывателей на склад угля и углепереработку; сыпучих материалов для сталеплавильных цехов – со склада в бункера и известняка на известково-обжигательные установки; окалины – к погрузочным устройствам для отправки на внешнюю сеть и т. д. [2];
3. На машиностроительных предприятиях – для транспортирования узлов и деталей машин, заготовок и т. д. [3];
4. На тепловых электростанциях – для транспортировки топлива от приемных устройств и вагоноопрокидывателей на склады и со складов в бункера мельниц или котельных агрегатов [4];
5. В гидроэнергостроительстве – для транспортировки щебня, гравия, песка, глины, суглинка и крупнокусковых материалов от карьеров до мест строительства насыпных земляных и каменно-набросных плотин и дамб;

6. В химической промышленности – для транспортировки сыпучих материалов от складов до агрегатов в начале технологического процесса и в самом технологическом процессе, вывоза готовой продукции на склад, а также отходов производства в отвалы [5];
7. На открытых горных разработках – для транспортировки полезных ископаемых от добывающих механизмов до промежуточных складов или мест переработки горной массы, а также вскрышных пород в отвалы [6] .

На рисунке 1 приведена схема транспортной технологической структуры производства цемента, состоящая из пяти технологических звеньев и включающая добычу и доставку сырья, его обогащение и складирование, технологическое производство и отгрузку продукции[7].

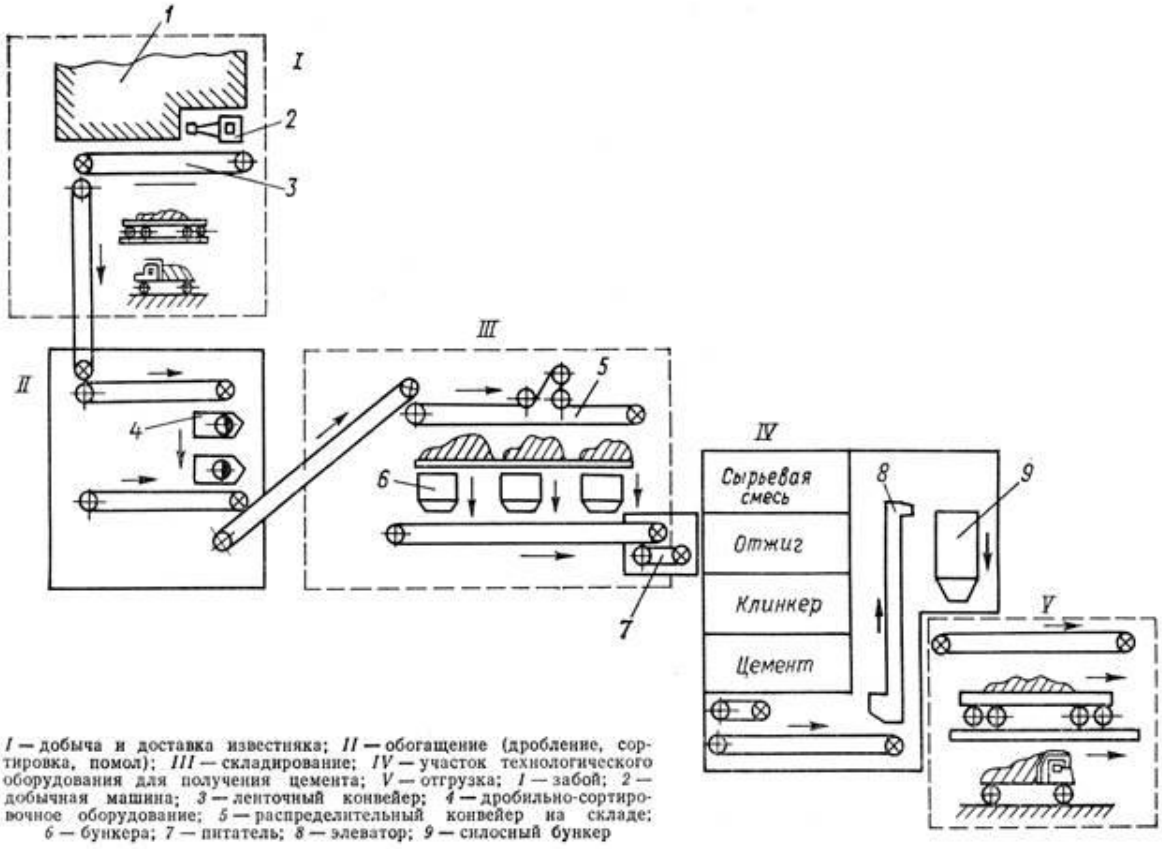


Рисунок 1 – Технологическая структура производства цемента

Цифрами на рисунке 1 обозначены следующие технологические процессы и оборудование:

I – добыча и доставка известняка;

II – обогащение (дробление, сортировка, помол);

III – складирование;

IV – участок технологического оборудования для получения цемента;

V – отгрузка;

1 – забой;

2 – добычная машина;

3 – ленточный конвейер;

4 – дробильно–сортировочное оборудование;

5 – распределительный конвейер на складе;

6 – бункера;

7 – питатель;

8 – элеватор;

9 – силосный бункер.

В зависимости от условий окружающей среды конвейеры могут работать в разных режимах, а число устанавливаемых на отдельных предприятиях машин зависит от особенностей технологической структуры и производительных мощностей и может достигать нескольких сотен единиц.

Как правило, транспортеры устанавливаются в цехах и складах, на открытом воздухе, площадках с навесами или козырьками, но в большинстве случаев – в галереях (отапливаемых или неотапливаемых). Температура окружающего воздуха при установке конвейеров на открытых площадках колеблется от – 50 до + 45 °С.

Достоинствами ленточных конвейеров являются:

1. Высокая производительность;
2. Конвейеры можно использовать при больших углах наклона трассы (вплоть до 20^0). При этом уменьшается затраты на капитальные работы по

подготовке трассы, что делает их весьма выгодными при большом грузопотоке [8];

3. Использование конвейеров приводит к росту производительности труда, а высокая степень автоматизация позволяет сократить количество затрачиваемых людских ресурсов
4. Согласно статистике, конвейерный транспорт более безопасен, чем автомобильный или железнодорожный.

К недостаткам ленточных конвейеров можно отнести следующее:

1. Конвейерная лента подвержена сильному износу, на долю которой приходится значительная часть стоимости всего конвейера;
2. Чувствительность к перемещаемому грузу – при перемещении липких грузов возникает проблема отчистки ленты.

1.2 Конвейерное оборудование и тенденции его развития

В настоящее время накоплен очень большой опыт по организации конвейерного производства.

На Курской магнитной аномалии работает мощная конвейерная линия протяженностью около 14 км, включающая 11 перегрузочных пунктов и предназначенная для транспортирования руды из карьера на обогатительную фабрику.

В штате Аризона (США) для доставки от места добычи к пункту погрузки в железнодорожные вагоны используют конвейерную линию длиной 10,5 км и производительностью 1260 т/ч. Она состоит из трех ставов с двумя приводами мощностью 660 кВт. Первый став поднимает груз на высоту 229 м, второй с приводом мощностью 358 кВт стоит горизонтально, третий спускает уголь и в конце поднимает его на высоту 2,5 м [9].

В Марокко для доставки фосфатной руды на обогатительную фабрику эксплуатируют конвейерную линию протяженностью около 15 км, состоящую из четырех конвейеров. Лента конвейера резинотросовая шириной 1200 мм [10].

Фирмой «Крупп» (Германия) изготовлена линия из 11 ленточных конвейеров общей протяженностью 100 км. Среднегодовая производительность линии 10 млн. т, ширина резинотросовой ленты 1000 мм, скорость движения 4,5 м/с [11].

Разработана конвейерная линия Германия – Нидерланды протяженностью 206 км, которая транспортирует руду Рурского промышленного района. Производительность системы 7200 т/ч, скорость ленты 5 м/с, ширина ленты 1400 мм.

Наибольшая в мировой практике производительность ленточных конвейеров достигнута на угольных разрезах Германии, где эксплуатируются конвейеры с лентой шириной 3000 мм, с производительностью, превышающей 30 000 $м^3$/ч разрыхленной массы.

Изучение опыта эксплуатации российского конвейерного транспорта показало, что наибольшее число ленточных конвейеров эксплуатируется на предприятиях промышленности строительных и нерудных материалов, а также при погрузочно–разгрузочных работах более половины всех эксплуатируемых ленточных конвейеров – горизонтальные и слабонаклонные (до 10°). Только 3% из них имеют угол наклона, превышающий угол трения груза о ленту [12]. В широких пределах изменяются параметры ленты (ширина 150…1800 мм, скорость движения 0,1…3,5 м/с). У 92 % конвейеров из их общего числа скорость движения ленты составляет до 2 м/с, наиболее распространенная скорость 1,1…1,6 м/с (41 %). Узкими лентами (шириной до 800 мм) оснащены 83 %, а широкими (1000 мм и более) 17 % конвейеров.

В процессе развития производства появляется необходимость увеличения объемов грузопереработки, что достигается несколькими способами.

Первый – увеличение ширины ленты, что в свою очередь приводит к увеличению конструктивных элементов, заменой некоторых деталей и ростом капиталовложений.

Второй – оптимизация профиля ленты. Оптимальный профиль ленты можно получить при трехроликовой опоре увеличением угла наклона боковых роликов в

пределах 35…50° и уменьшением длины среднего ролика в пределах (0,22…0,32) β, где β – ширина ленты. Изменением профиля ленты можно повысить производительность конвейера на 5…10 % по сравнению с нормализованными величинами. В новых конструкциях ленточных конвейеров изменение профиля уже предусмотрено, и поэтому нельзя рассчитывать на возможность дальнейшего повышения производительности. Сокращенная длина среднего ролика роликоопор положительно отражается на загрузке подшипников, однако требует различных типоразмеров роликов.

Третий – увеличение скорости движения ленты. Теоретическими и практическими исследованиями была доказана экономическая эффективность данного решения. Применение высоких скоростей (более 5 м/с) увеличивает производительность конвейеров при сохранении геометрических размеров и уровня капитальных затрат, снижает удельные давления от груза, а следовательно, и статические напряжения в элементах конструкции конвейера и, наконец, натяжение ленты.

Общими характерными тенденциями развития современных конструкций ленточных конвейеров являются: стандартизация узлов и элементов конструкций на основе создания базовых блоков; блочный принцип компоновки приводных станций; значительное повышение скорости движения ленты (4…5 м/с для подземных и 8…10 м/с для открытых работ); возможность получения нескольких скоростей движения в одном приводе; использование унифицированного привода для лент различной ширины; при мнении специальных электродвигателей с повышенным скольжением и повышенным пусковым моментом, двигателей с фазным ротором для регулирования пуска мощных конвейеров; создание приводов с автоматическим регулированием скорости ленты в зависимости от фактической производительности; создание регулируемых приводов, обеспечивающих наряду с плавным регулированием скорости ленты ограничение динамических усилий; повышение производительности путем выбора наиболее рациональной формы грузонесущего элемента конвейеров; переход к полной автоматизации управления

конвейерами для повышения надежности и упрощения их обслуживания в тяжелых условиях эксплуатации; снижение массы и уменьшение габаритных размеров конвейеров за счет принципиально новых, облегченных конструкций узлов и элементов; улучшение условий труда обслуживающего персонала и производственных рабочих, исключение потерь транспортируемого груза, изоляция от окружающей среды пылевидных, горячих, химически агрессивных грузов и т. д.

1.3 Устройство ленточного конвейера

Основными частями ленточного конвейера являются рама, приводной и натяжной барабаны, ролики, транспортерная лента.

На раме закреплены ролики, по которым скользит транспортерная лента и перемещает груз в пространстве. Натяжение ленты обеспечивается двумя барабанами – натяжным, который служит для регулирования натяжения ленты, и приводным, вал которого соединен с электродвигателем через редуктор. С помощью передачи вращательного движения от электродвигателя или мотор–редуктора к приводному барабану происходит движение ленты транспортера. На рисунке 2 приведено общее устройство ленточного конвейера [13].

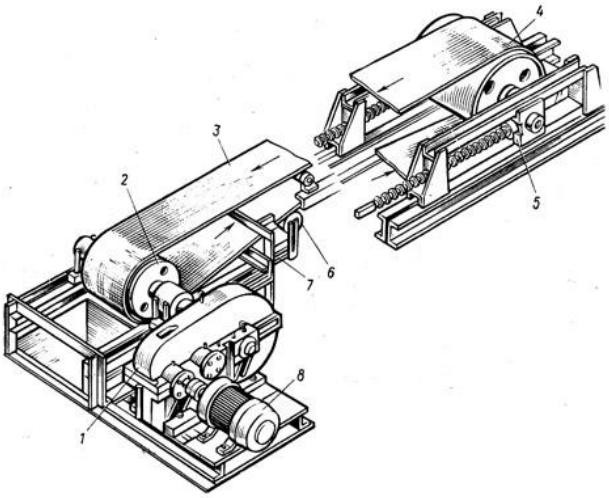


Рисунок 2 – Общее устройство ленточного конвейера

На рисунке 2 цифрами изображены:

1 – редуктор;

2 – привод;

3 – лента;

4 – натяжной барабан;

5 – натяжное устройство;

6 – роликовые опоры;

7 – рама конвейера;

8 – двигатель.

В конвейерных линиях могут использоваться разные виды двигателей, например: асинхронные двигатели (АД) с короткозамкнутым ротором, АД с фазным ротором, синхронный двигатель [14, 19].

В рамках ВКР управление конвейером осуществляется с помощью вентильного двигателя.

2 ВЕНТИЛЬНЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ

2.1 Обзор современных электроприводов с вентильными двигателями и их применение

Вентильный электродвигатель (ВД) — синхронный бесколлекторный двигатель постоянного тока, используемый совместно с системой электронного управления, обеспечивающей синхронизацию вращения электромагнитного поля с вращением ротора [15].

В статье Бычкова М.Г. [16] подробно рассматриваются современные вентильные электроприводы. Под вентильным электроприводом в общем случае понимается любой электропривод, в котором регулирование режима работы электродвигателя производится с помощью управляемых вентильных (полупроводниковых) преобразователей электрической энергии: выпрямителя, импульсного регулятора постоянного тока, преобразователя частоты. Классификация ВЭП по типу питания и типу электрической машины приведена на рисунке 3.

В более узком смысле вентильный электропривод (ВЭП) — это электропривод с вентильным двигателем (ВД). В отличие от традиционных двигателей ВД представляет собой электромеханическую систему, в которой объединены синхронная электрическая машина, как правило, с возбуждением от постоянных магнитов (СДПМ), электронный коммутатор (инвертор), посредством которого осуществляется питание обмоток якоря машины, и система автоматического управления инвертором, оснащенная необходимыми измерительными устройствами (датчиками) [17].

В зависимости от конструктивных особенностей СДПМ различают два основных вида вентильных двигателей:

1) бесконтактные (бесщеточные) двигатели постоянного тока (БДПТ), в англоязычной литературе называемые «BLDCM — brushless DC motor», в которых конструкция синхронной машины магнитоэлектрического возбуждения, т.е.

геометрическое расположение витков обмотки якоря на статоре и постоянных магнитов на роторе, обусловливает фазные ЭДС вращения трапецеидальной формы;

2) бесконтактные двигатели переменного тока — «BLACM — permanentmagnet brushless AC motor», фазные ЭДС вращения которых имеют синусоидальный характер. Именно такие системы в отечественной литературе чаще всего называют вентильными двигателями [19].

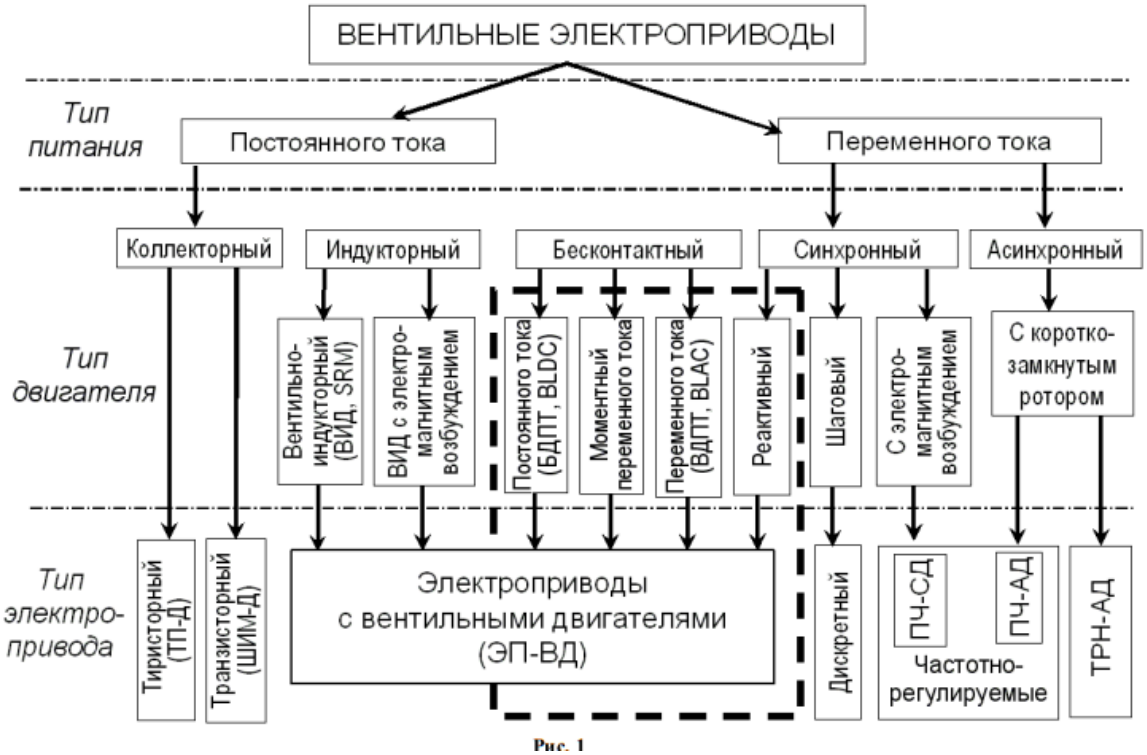


Рисунок 3 – Классификация вентильных двигателей

2.1.1 Бесконтактный двигатель постоянного тока

По принципу действия БДПТ представляет собой обращенную машину постоянного тока с магнитоэлектрическим индуктором на роторе и обмоткой якоря на статоре, функции щеточно–коллекторного узла в которой выполняет полупроводниковый коммутатор, питающий обмотку якоря и переключающийся в функции положения ротора. Наиболее часто используются БДПТ с трехфазной сосредоточенной обмоткой на статоре (например, с числом пазов на полюс и фазу

q = 1 на рисунке 3,а или q = 0,5 на рисунке 9,б). Статор трехфазного БДПТ идентичен статору асинхронного двигателя и его обмотка, как правило, соединена в звезду [17, 28].

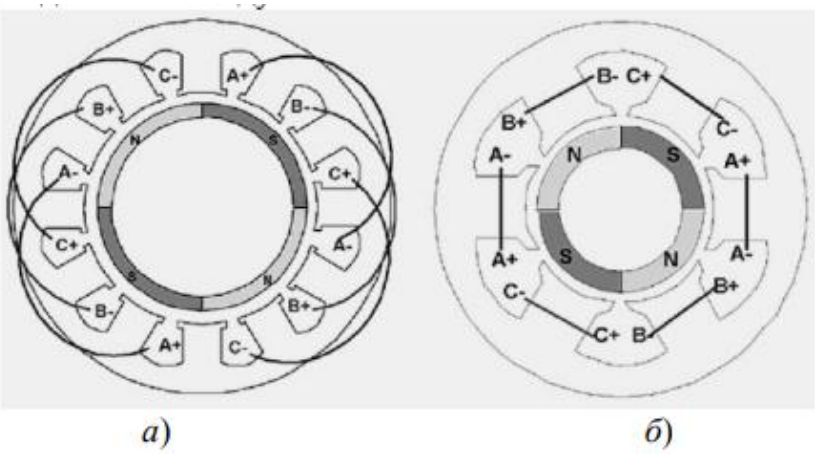


Рисунок 4 – БД постоянного тока

Для питания обмотки якоря БДПТ принципиально может применяться любой управляемый полупроводниковый преобразователь, реализующий жесткий алгоритм 120–градусной коммутации токов или напряжений трехфазной нагрузки. Регулировать момент и скорость БДПТ можно следующими способами:

1. Изменением фазного напряжения двигателя за счет применения управляемого выпрямителя на входе системы;
2. Изменением фазного напряжения двигателя за счет применения широтно–импульсной модуляции силовых ключей инвертора;
3. Смещением угла коммутации фаз относительно положения ротора, что эквивалентно сдвигу щеток в коллекторном двигателе постоянного тока относительно геометрической нейтрали [20, 31].

2.1.2 Бесконтактный двигатель переменного тока

Получение синусоидального характера фазных ЭДС вращения в бесконтактных двигателях с синусоидальным питанием возможно как за счет синусоидального распределения МДС возбуждения по поверхности ротора (например, за счет

профиля постоянных магнитов — рисунок 5,а), так и за счет квазисинусоидального распределения МДС фаз при несинусоидальным возбуждении (рисунок 5,б) [30].

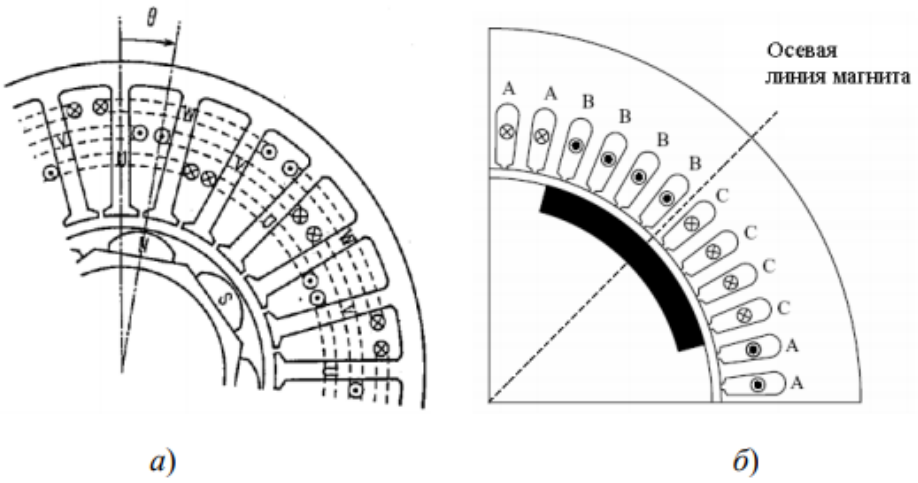


Рисунок 5 – БД переменного тока

За последние десять лет вентильные электродвигатели заняли прочное положение в производственных программах ведущих зарубежных электромашиностроительных компаний («Сименс», «Бош Рексрот», «Дженерал Электрик», «Ансальдо», «Фанук» и др.) [32]. В большинстве каталогов готовой продукции этих компаний вентильные двигатели с редкоземельными постоянными магнитами представлены на первом месте.

Проектированием и изготовлением ВД в нашей стране занимаются: ОАО «ЧЭАЗ»; ОАО «КБ ПА», г. Ковров; лаборатория спецмашин (ЛСМ) ЗАО «СЗЭМО», г. Санкт–Петербург (дисковые СДПМ); Федеральное государственное унитарное предприятие Центральный научно–исследовательский институт (ЦНИИ) «Электроприбор», г. Санкт–Петербург; Всероссийский научно–исследовательский проектно–конструкторский и технологический институт малых электрических машин (ФГУП «ВНИИМЭМ»), г. Санкт–Петербург; Всероссийский научно–исследовательский институт электромеханики (НПП ВНИИЭМ),г. Москва; ОАО «Машиноаппарат», г. Москва; конструкторское бюро мехатроники, г. Златоуст Челябинской области, а также многие другие предприятия и организации.

В 1996 году компанией «РИТЭК» был изготовлен и испытан первый в мире действующий макет погружного вентильного электродвигателя в корпусе диаметром 92 мм. В конце 2001 года началось серийное производство вентильных приводов. Работы велись как с центробежными, так и с винтовыми насосами. С 2005 года начали поставляться установки погружных винтовых электронасосов типа RN–1, укомплектованные насосами NSPCP и низкооборотными вентильными электродвигателями [26].

Двигатели вентильные высокоскоростные малой мощности ДБУ с ротором–магнитом из ферритов бария используются в следующих применениях: бытовые и промышленные молочные сепараторы, быстроходные центрифуги, высокооборотные вентиляторы и насосы, медицинские перистальтические насосы, следящие системы, переносной и стационарный электроинструмент, станочное электрооборудование, электрооборудование транспортных средств[29].

Применения серии двигателей ДБУ указаны в таблице 1.

Таблица 1 – Применение двигателей серии ДБУ

Тип	Применение
ДБУ 70	Аппарат искусственной вентиляции легких
ДБУ 100	Привод медицинской кровати
ДБУ 260–120–60	Инвалидное кресло–коляска
ДБУ 120–500	Электропривод автоматической стиральной ма–шины «Вятка–Мария»
ДБУ 120–250	Электропривод стиральной машины «Орь–автомат»
ДБУ 40	Привод вентилятора и других приборов

2.2 Особенности работы вентильного двигателя в тяговом электроприводе

Особенности работы ВД в тяговых электроприводах были изучены в статье Е.В. Кузьмицкого, В.В. Лохнина, И.А. Бербиренкова [24].

Было выявлено три фактора, вызывающие неустойчивые режимы работы вентильного электропривода на низких частотах вращения, одним из которых является шаговый режим работы: наличие зубчатого слоя на статоре, колебания ротора, например, при сбросе или наборе нагрузки и специфика работы вентильного преобразователя [35].

Исследования магнитного поля в активной зоне двигателя с зубчатым статором проводились методом гармонического анализа. При этом обнаружено, что параметры двигателя будут иметь пульсации, вызванные поперечным качанием магнитного поля при вращении ротора. Наибольшие пульсации получим в том случае, если ширина полюсов будет содержать целое число зубчатых делений статора. Для ослабления этих пульсаций целесообразно скашивать пазы статора на одно зубчатое деление по оси полюса или же скашивать край полюса при прямых зубцах статора [36].

Если зубчатое деление не укладывается целое число раз в полюсной дуге, то при вращении ротора магнитное сопротивление воздушного зазора периодически меняется и это вызывает колебания магнитного потока. При чётном числе пазов изменение магнитной проводимости под одним полюсом частично компенсируется соответствующим изменением магнитной проводимости под другим полюсом и абсолютная величина пульсации уменьшается. Скос пазов на статоре или полюсных наконечников на роторе на одно зубчатое деление уничтожает периодические изменения магнитного сопротивления воздушного зазора. При малой величине рабочего зазора пульсации увеличиваются и, соответственно, при его увеличении – уменьшаются. Полностью указанные пульсации отсутствуют при выполнении гладкого статора.

При качениях или колебаниях двигателя его ротор вращается неравномерно, и частота его вращения колеблется с некоторой частотой около среднего значения.

Колебания угла нагрузки, в свою очередь, неразрывно связаны с колебанием величин мощности и тока статора.

Такие колебания возникают при любых внезапных или резких нарушениях, или изменениях режима работы (наброс или сброс нагрузки, резкое изменение напряжения питания и т.д.) [40].

Уравнения моментов при колебании имеют вид, приведенный в формуле 2:

где M_u – инерционный момент;

M_y – успокоительный момент;

M_c – синхронизирующий момент.

Бортовой вентильный преобразователь (БВП) в тяговом приводе выполняется на транзисторах и поэтому длительность коммутационного процесса мала. В этом случае работа привода сопровождается циклическим перебором секций обмотки статора, подключенных на произвольном интервале к источнику питания. Причём, число и характер соединений элементов статорной обмотки от интервала к интервалу не изменяется, изменяется только номера секций, участвующих на последующих интервалах в процессе преобразования энергии [41].

Если анализировать работу вентильного двигателя с позиции вращающегося магнитного поля, то при несинусоидальном токе двигателя это поле будет создаваться первыми гармоническими ряда Фурье токов фаз статора.

Замечено, что при уменьшении скважности импульсов тока, питающих обмотку статора, первая гармоническая тока будет перемещаться на угол α = var, относительно положения первой гармонической тока при скважности равной единице (рисунок 6) [42].

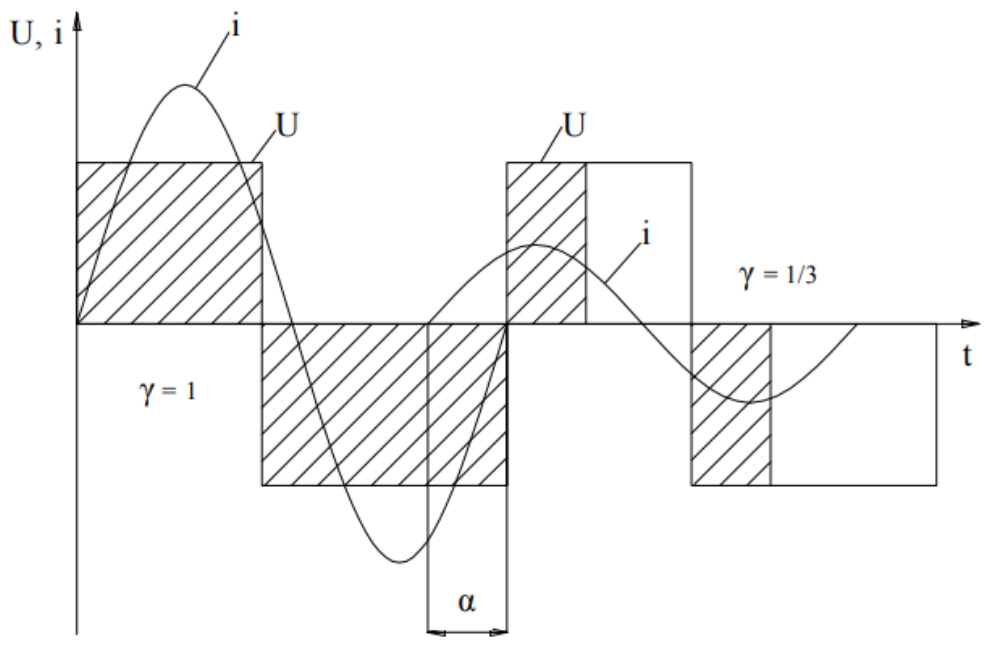


Рисунок 6 – Широтно–импульсное регулирование частоты вращения ВД (α – угол смещения первой гармонической тока)

Таким образом, при уменьшении скважности импульсов возрастает величина угла α и резко падает мощность двигателя с последующей потерей устойчивого вращения[41].

Если же рассматривать работу вентильного двигателя от источника импульсов тока переменной скважности, то при уменьшении скважности импульсов наступает режим прерывистых токов и работа вентильного двигателя может быть рассмотрена с позиции работы шагового двигателя.

На рисунке 7 показана диаграмма работы вентильного двигателя с непрерывным и прерывистым токами фаз.

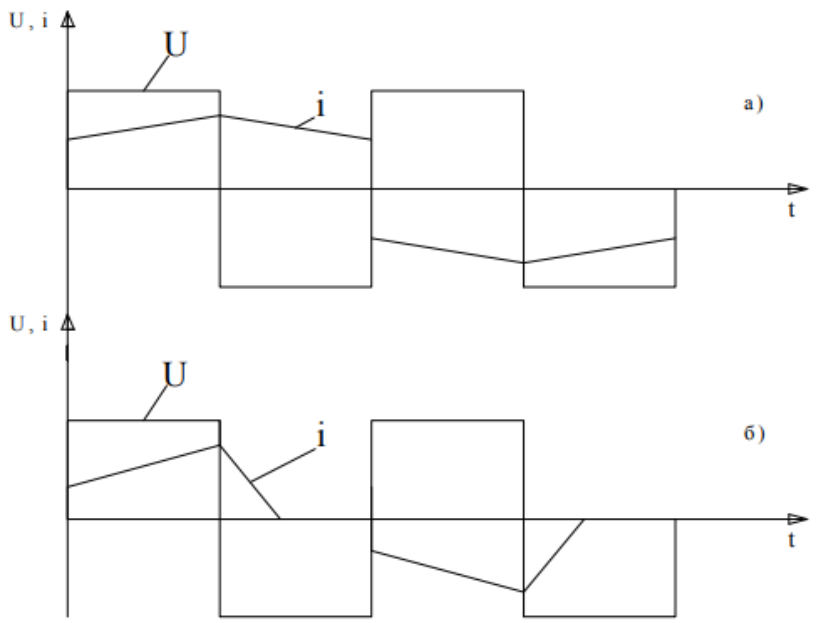


Рисунок 7 –Диаграммы токов и напряжений вентильного двигателя: а – работа с непрерывным током; б – работа с прерывистым током

Известно, что вентильный двигатель является по управлению аналогом двигателя постоянного тока и при питании его от источника постоянного тока с амплитудным регулированием напряжения имеет практически неограниченный диапазон регулирования частоты вращения с устойчивой работой во всём диапазоне регулирования. Структура такого вентильного двигателя приведена на рисунке 8, где ИП – источник питания постоянного напряжения; Р – транзисторный регулятор ШИМ; БВП – бортовой вентильный преобразователь; СД – синхронный двигатель; ДПР – датчик положения ротора; ТГ – тахогенератор; СУ – система управления БВП [36].

Недостатком такого вентильного двигателя является наличие транзисторного регулятора Р, рассчитываемого не полную мощность двигателя.

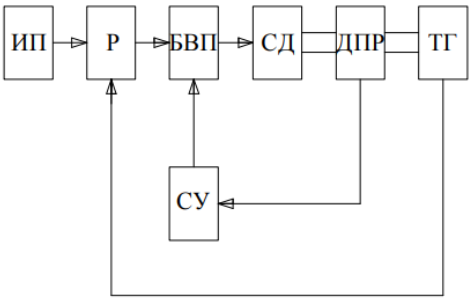


Рисунок 8 – Структура вентильного двигателя с регулятором амплитуды питающего напряжения

Выводы:

1. Неустойчивые режимы работы вентильного привода смогут быть вызваны неправильным соотношением зубцов статора и полюсов ротора двигателя, качаниями его ротора и работой бортового вентильного преобразователя [28].
2. В вентильном двигателе наличие обратных связей по датчику положения ротора и таходатчику ограничивают колебания ротора малыми амплитудами и такие колебания эффективно гасятся варьированием инерционного и демпфирующего моментов [29].
3. Традиционная структура вентильного двигателя с регулированием его частоты вращения ШИМ на чистоте питания не обеспечивает необходимый диапазон регулирования частоты вращения, характерный для тяговых двигателей [30].
4. Амплитудное регулирование напряжения источника питания постоянного тока с введением высокочастотной ШИМ (частота такого регулирования – десятки кГц) переносом в силовые ключи БВП обеспечивает эффективное регулирование частоты вращения привода практически в неограниченном диапазоне.

В рамках ВКР рассматривается ленточный конвейер на основе тягового электропривода с бесконтактным трехфазным двигателем с возбуждением от постоянных магнитов.

3 ОБЗОР ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА НА БАЗЕ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С БЕСКОНТАКТНЫМ ТРЕХФАЗНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

3.1 Описание системы

3.1.1 Назначение системы

Система предназначена для автоматического управления исполнительными механизмами конвейер, операций по загрузке/разгрузке вращающегося транспортера (ВТ), формирования управляющих и информационных сигналов в смежные системы.

3.1.2 Технические характеристики

1. Напряжение питания – от 22 до 29 В постоянного тока;
2. Режим работы – повторно-кратковременный;
2. Время готовности к работе после включения – не более 5 с;
3. Потребляемая мощность – не более 500 Вт (аппаратуры – не более 60 Вт);
4. Средняя наработка на отказ – не менее 1000 ч;
5. Средний ресурс – не менее 2000 ч;
6. Средний срок сохраняемости в составе объекта – не менее 10 лет.

3.1.3 Состав системы

В состав системы входят:

1. Блок управления
2. Электродвигатель
3. Пульт управления

Подключение изделий системы в составе объекта осуществляется объектовыми соединительными кабелями, а именно:

1. Пульт управления подключается к блоку управления через соединитель X1 блока;

2. Датчик положения конвейера подключается к блоку управления через соединитель X5 блока;
3. Питание осуществляется через соединитель X3 блока управления. В пульт управления напряжение передается транзитом из блока управления через соединитель X1 пульта управления;
4. Датчики положения исполнительных механизмов системы подключаются к блоку управления через соединитель X4.

Исходное положение конвейера представлено на рисунке 9.

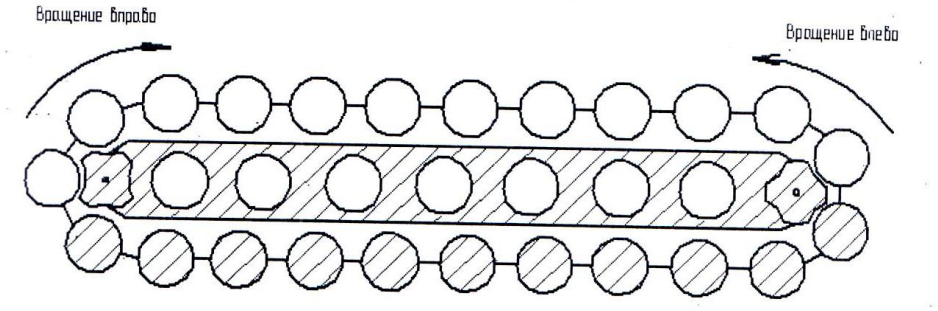


Рисунок 9 – Исходное положение конвейера

3.1.2.1 Блок управления

Блок управления предназначен для решения следующих задач:

1. Прием и преобразование входных дискретных сигналов с датчиков положения механизмов системы, пульта управления;
2. Формирование логических сигналов управления исполнительными элементами механизмов системы в соответствии с алгоритмом выбранного режима;
3. Прием диагностической информации о состоянии исполнительных элементов механизмов системы;
4. Обработка сигналов с датчика положения ВТ;
5. Формирование и передача в пульт управления сигналов, предназначенных для отображения на табло «РЕЖИМ» пульта;

6. Преобразование напряжения сети в напряжение +5В, ±11В, +3,3В, +15В для питания логической части блока.

Конструктивно корпус блока выполнен из алюминиевого сплава и имеет прямоугольную форму.

Структурная схема блока приведена в приложении Б.

Состав функциональных узлов блока:

1. Устройство управления 1 (УУ1);

2. Устройство управления 2 (УУ2);

4. Узел входных формирователей (УВФ);

5. Узел выходных сигналов (УВС);

6. Узел аналого-цифрового преобразователя (УФК);

7. Узел сигнальных ключей (УК);

8. Узел интерфейса RS485-1;

10. Силовой ключ и схема контроля;

11. Вторичный источник питания (ВИП).

1. Устройство управления 1 (УУ1) выполняет следующие задачи:

1.1 ввод сигналов с органов установки режима пульта управления и формирования под программным управлением основного и технологического меню пульта;

1.2 формирование информации и передачу ее по интерфейсу RS485-1 в пульт управления для отображения на табло «РЕЖИМ» пульта;

1.3 хранение информации в ПЗУ с электрическим перепрограммированием.

2. УУ2 выполняет следующие задачи:

2.1 формирование и выдачу сигнала «ПУ ВКЛ» при работе от пульта управления;

2.2 формирование и выдачу сигналов управления поворотом вращающейся платформы;

2.3 прием информации о положении исполнительных механизмов системы;

2.4 обмен информацией с УУ1;

2.5 создание и хранение в энергонезависимой памяти электронной копии ВТ;

2.6 оптимальный выбор направления вращения ВТ;

2.7 подсчет количества заданного типа макетов в ВТ.

3 Узел входных формирователей (УВФ) предназначен для сбора дискретных сигналов различного уровня, поступающих с датчиков положения механизмов последующего преобразования этих сигналов в 8-разрядные байты ТТЛ – уровня и последовательной передачи их на системную шину по управляющим сигналам УУ2.

4 Узел выходных сигналов (УВС) предназначен для дешифрации и преобразования информации, поступающей по шине данных магистрали в дискретные управляющие сигналы, поступающие в узел коммутации блока управления.

5 Узел сигнальных ключей (УК) предназначен для преобразования низковольтных выходных сигналов УВС в сигналы уровня сети и передачу их в другие системы объекта.

6 Аналого-цифровой преобразователь (УФК) предназначен для преобразования угла поворота ВТ относительно линии выдачи (загрузки) в двоичный десяти разрядный код, восемь старших разрядов которого передаются на шину данных микроконтроллера для дальнейшей обработки.

3.1.2.2 Электродвигатель ЭДБ800

Электродвигатель ЭДБ800 используется в качестве исполнительного двигателя привода ВТ.

Электродвигатель представляет собой бесконтактную трехфазную электрическую машину с возбуждением от постоянных магнитов, объединенную с электронным коммутатором.

Структурная схема вентильного двигателя приведена в приложении Б.

На схеме обозначены:

1. УУ – устройство управления;
2. КФ – коммутатор фаз;
3. ДХ – датчики Холла;
4. ВЭД – вентильный двигатель;
5. ВИП – вторичный источник питания.

Основные технические характеристики:

1. Напряжение питания – (22-29) В постоянного тока;
2. Режим работы – повторно-кратковременный;
3. Схема соединения фаз – звезда;
4. Число фаз –три;
5. Максимальный вращающий момент 4 Н•м;
6. Номинальная мощность 800 Вт;
7. Номинальная частота вращения 6000 об/мин.

Внешний вид двигателя представлен на рисунке 10.

Рисунок 10 – Двигатель ЭДБ800

В электродвигателе объединены синхронная трехфазная электрическая машина с возбуждением от постоянных магнитов и коммутатор питания обмоток статора с автоматическим управлением.

Коммутация электродвигателя производится так, что поток возбуждения ротора поддерживается постоянным относительно потока якоря. В результате взаимодействия потока якоря и возбуждения создаётся вращающий момент M, который стремится развернуть ротор так, чтобы потоки якоря и возбуждения совпали, но при повороте ротора под действием датчика положения ротора происходит переключение обмоток и поток якоря поворачивается на следующий шаг.

В этом случае и результирующий вектор тока будет сдвинут и неподвижен относительно потока ротора, что и создаёт момент на валу двигателя.

Датчик положения ротора реализует обратную связь по положению ротора. Его работа основана на эффекте Холла. Установленные датчики Холла (3 шт.) практически безынерционные и позволяют избавиться от запаздывания в канале обратной связи по положению ротора. За один оборот выходного вала электродвигателя формируется 24 импульсных сигналов с датчиков.

Сигналы датчиков преобразуются управляющим устройством в комбинацию управляющих напряжений, которые управляют силовыми ключами, так, что в каждый такт (фазу) работы двигателя включены два ключа и к сети подключены последовательно две из трёх обмоток якоря. Обмотки якоря U, V, W расположены на статоре со сдвигом на 120° и их начала и концы соединены так, что при переключении ключей создаётся вращающееся магнитное поле.

Схема управления коммутирует обмотки статора так, чтобы вектор магнитного поля статора был ортоганален вектору магнитного поля ротора. Трехфазный мост обеспечивает коммутацию обмоток якоря с защитой по току. Входными сигналами являются сигналы задания скорости (ШИМ), направление вращения и сигнал разрешения включения электродвигателя. Выходными сигналами коммутатора является сигнал действительной скорости (ШИМ), сигнал температуры и сигнал

готовности схемы управления к работе. При изменении коэффициента заполнения, управляющего ШИМ сигнала схема управления ЭДБ800 самостоятельно обеспечивает рекуперативное торможение либо увеличение частоты вращения в соответствии с вновь заданным значением управляющего сигнала, то есть обеспечивается автоподстройка частоты вращения вала электродвигателя.

3.1.2.3 Пульт управления

Пульт управления предназначен для решения следующих задач:

1. Включения системы;

2. Выбора и задания режимов работы;

3. Выбора типа заготовок в режимах «ЗАГРУЗКА», «РАЗГРУЗКА»;

4. Задания управляющего сигнала на запуск цикла или операции;

5. Ввода поправок по массе и начальной скорости;

6. Стирания информации об авариях из энергонезависимой памяти блока;

7.Отображения информации, необходимой операторам объекта для выполнения заданного режима или диагностики состояния системы;

Конструктивно пульт представляет собой корпус, имеющий форму прямоугольного параллелепипеда, закрываемого крышкой.

Структурная схема приведена в приложении Б.

Состав пульта управления:

узел управляющего микроконтроллера (УУМ);

узел выходных регистров (УВР);

узел транзисторных ключей (УТК);

узел последовательного интерфейса RS485;

Узел задания команд и световой сигнализации (УЗК и СС);

узел монитора напряжения питания (УМН);

узел отображения информации (УОИ);

узел вторичного источника питания (ВИП).

Узел управляющего микроконтроллера предназначен для приема и дешифрации информации, поступающей из блока управления по последовательному интерфейсу RS485, и формирования сигналов управления узлом отображения индикации и подсветом кнопок пульта.

Узел последовательного интерфейса RS485 служит для получения сигналов, отображаемых на табло «РЕЖИМ» узла отображения информации, поступающих из блока управления.

Узел выходных регистров (УВР) предназначен для приема и временного хранения информации, поступающей по шине данных магистрали из УУМ по сигналам управления, поступающим в УУМ.

Узел задания команд и световой сигнализации (УЗК и СС) представляет собой пять кнопок со встроенной подсветкой. Управление подсветкой кнопок производится по командам, поступающим с УВР. Сигналы непосредственно с кнопок пульта поступают на соединитель X1.

Узел отображения информации (УОИ) построен на матричных индикаторах типа 3ЛС340А1, установленных в две строки по 8 штук в каждой, красного цвета свечения.

На табло «РЕЖИМ» отображается основное и технологическое меню пульта, сообщения, позволяющие оператору провести действия, необходимые для работы АЗ в выбранных режимах, аварийные и информационные сообщения. При включении пульта имеют приоритет аварийные сообщения, хранящиеся в ЭНЗУ блока управления.

Узел транзисторных ключей (УТК) представляет собой усилители коммутатора строк УОИ. На вход УТК поступают сигналы, формируемые УУМ. Сигналы с выхода УТК поступают на УОИ.

На лицевой панели пульта размещены:

1. Табло «РЕЖИМ» содержащего шестнадцать матричных индикаторов, расположенных по восемь штук в ряд;

2. Кнопки «УСТАНОВКА РЕЖИМА» («ВВОД», «▲», «▼», «ОТМЕНА») имеющие коммутирующий элемент, два единичных индикатора зеленого цвета, предназначенных для подсветки трафарета с надписью, а также два токоограничивающих резистора и два защитных диода.

3.1.2.4 Датчики

Датчик положения конвейера обеспечивает выдачу сигнала, несущего информацию об угле поворота ВТ.

Датчик положения конвейера представляет собой синусно-косинусный вращающийся трансформатор, размещенный в корпусе цилиндрической формы.

На статорные обмотки синусно-косинусного вращающегося трансформатора (СКВТ), встроенного в состав датчика, подается два одинаковых по величине напряжения синусоидальной формы, сдвинутые по фазе на 90 градусов. При вращении выходного вала датчика фаза выходного синусоидального напряжения изменяется относительно фазы входного напряжения. Разность фаз входного и выходного напряжений пропорциональна углу поворота вала.

Датчик Д30-2С используется в качестве датчика застопоренного положения ВТ.

Срабатывание контактов переключателя происходит в результате воздействия на шток датчика толкателя приводного механизма объекта.

3.2 Режимы работы системы

Система обеспечивает работу в следующих режимах:

1. «ЗАГРУЗКА»;
2. «РАЗГРУЗКА»;
3. «ПООПЕРАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ»;
4. «КОНТРОЛЬ».

3.2.1 «ЗАГРУЗКА»

В режиме «ЗАГРУЗКА» система обеспечивает проведение полуавтоматической загрузки ВТ при управлении процессом с помощью органов управления пульта управления.

Выбор и ввод режима «ЗАГРУЗКА» осуществляется оператором из основного меню пульта с помощью кнопок «УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМОМ» («▲», «▼», «ВВОД» «ОТМЕНА»).

После ввода режима оператором последовательно осуществляется выбор и ввод типа и характеристик заготовки.

Режим, тип, вводимые параметры последовательно отображаются на табло «РЕЖИМ».

С помощью изменения режима подсветки надписей органов управления и режима отображения информации на табло «РЕЖИМ» (постоянное свечение или мигает) осуществляется информационная поддержка действий оператора.

3.2.2 «РАЗГРУЗКА»

В режиме «РАЗГРУЗКА» система обеспечивает проведение полуавтоматической разгрузки макетов из ВТ.

Выбор и ввод режима «РАЗГРУЗКА» осуществляется оператором из основного меню пульта с помощью кнопок «УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМОМ» («▲», «▼», «ВВОД», «ОТМЕНА»).

После ввода режима оператор последовательно осуществляет выбор и ввод разгружаемого типа макета с помощью кнопок «УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМОМ».

Режим, тип последовательно отображаются на табло «РЕЖИМ». Одновременно с индикацией типа БП высвечивается остаток данного типа в ячейках ВТ.

С помощью изменения режима подсветки надписей органов управления и режима подачи информации на табло «РЕЖИМ» (постоянное свечение или мигает) осуществляется информационная поддержка действий оператора.

3.2.3 «ПООПЕРАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ»

Режим «ПООПЕРАЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ» объединяет отдельные операции и подрежимы из основного меню пульта управления:

1. «ОТКРЫТЬ/ЗАКРЫТЬ КЛИН»;
2. «ОСЕЧКА»;
3. «ПРИВЕДЕНИЕ В ИСХОДНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ».

Система выполняет отдельные операции, выбранные из основного меню пульта управления с помощью кнопок («▲», «▼», «ВВОД», «ОТМЕНА»).

В подрежиме « ПОДНЯТЬ ДОСЫЛАТЕЛЬ»/ «ОПУСТИТЬ ДОСЫЛАТЕЛЬ» система управляет механизмом подачи заготовок.

В подрежиме «ОСЕЧКА» система выполняет операции по замене осечной заготовки.

В подрежиме «ПРИВЕДЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ АЗ В ИСХОДНОЕ ПОЛОЖЕНИЕ» система управляет приведением механизмов в исходное положение.

После успешного завершения режима в энергонезависимую память блока записывается сигнал «ЗАГОТОВКА».

3.2.4 «КОНТРОЛЬ»

Система выполняет операции из состава технологического меню пульта управления:

1. «ВЫСТАВКА ДПК»;
2. «КОНТРОЛЬ МЕХАНИЗМОВ»;
3. «ШАГ ВТ».

Вход в технологическое меню осуществляется поступлением сигнала с кнопок «▲», «▼» в течение 5 с. Выход в основное меню пульта осуществляется по сигналу с кнопки «ОТМЕНА». При входе в технологическое меню на табло «РЕЖИМ» высвечивается кадр «ВЫСТАВКА ДПК».

В подрежиме «ВЫСТАВКА ДПК» после нажатия кнопки «ВВОД» на табло пульта высвечивается кадр «ЗОНА ДПК» с отображением положения зоны стопорения «0» или «1».

В подрежиме «КОНТРОЛЬ МЕХАНИЗМОВ» система обеспечивает выбор пунктов меню технического состояния исполнительных механизмов системы осуществляет контроль состояния датчиков выбранного механизма .

В подрежиме «ШАГ ВТ» система управляет поворотом ВТ на один шаг по часовой стрелке.

Целью ВКР является разработка устройства управления двигателем вращающегося транспортера, исследование сигналов тока потребления и внутренней температуры двигателя и возможностей его использования в продолжительном режиме.

4 РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ ВРАЩАЮЩИМСЯ КОНВЕЙЕРОМ

Важнейший этап разработки устройства управления – это разработка его схемы электрической принципиальной, которая отражает взаимные связи между электрическими устройствами и средствами автоматизации с учетом их принципа действия и последовательности работы [49].

Разработка узла печатного должна осуществляться с использованием элементной базы отечественного производства.

4.1 Выбор микроконтроллера

Центральным элементов в разрабатываемом узле печатном является микроконтроллер. В настоящее время широкое распространение получили контроллеры с архитектурой ARM (Advanced RISC Machine). Достоинством этой архитектуры является высокая производительность при низком энергопотреблении [58].

Микроконтроллеры серии 1986ВЕ9х являются микроконтроллерами, построенными на базе высокопроизводительного процессорного RISC ядра ARM Cortex–M3 [54]. Производством этих микроконтроллеров занимается ППК «Миландр» (г. Зелиноград).

В зависимости от корпуса, в котором выпускается микросхема, изменяются функциональные возможности микроконтроллера, но при этом объем памяти программ и ОЗУ остается одинаковым.

Основные характеристики микроконтроллеров представлены в приложении Б.

Корпус процессора изображен на рисунке 11.

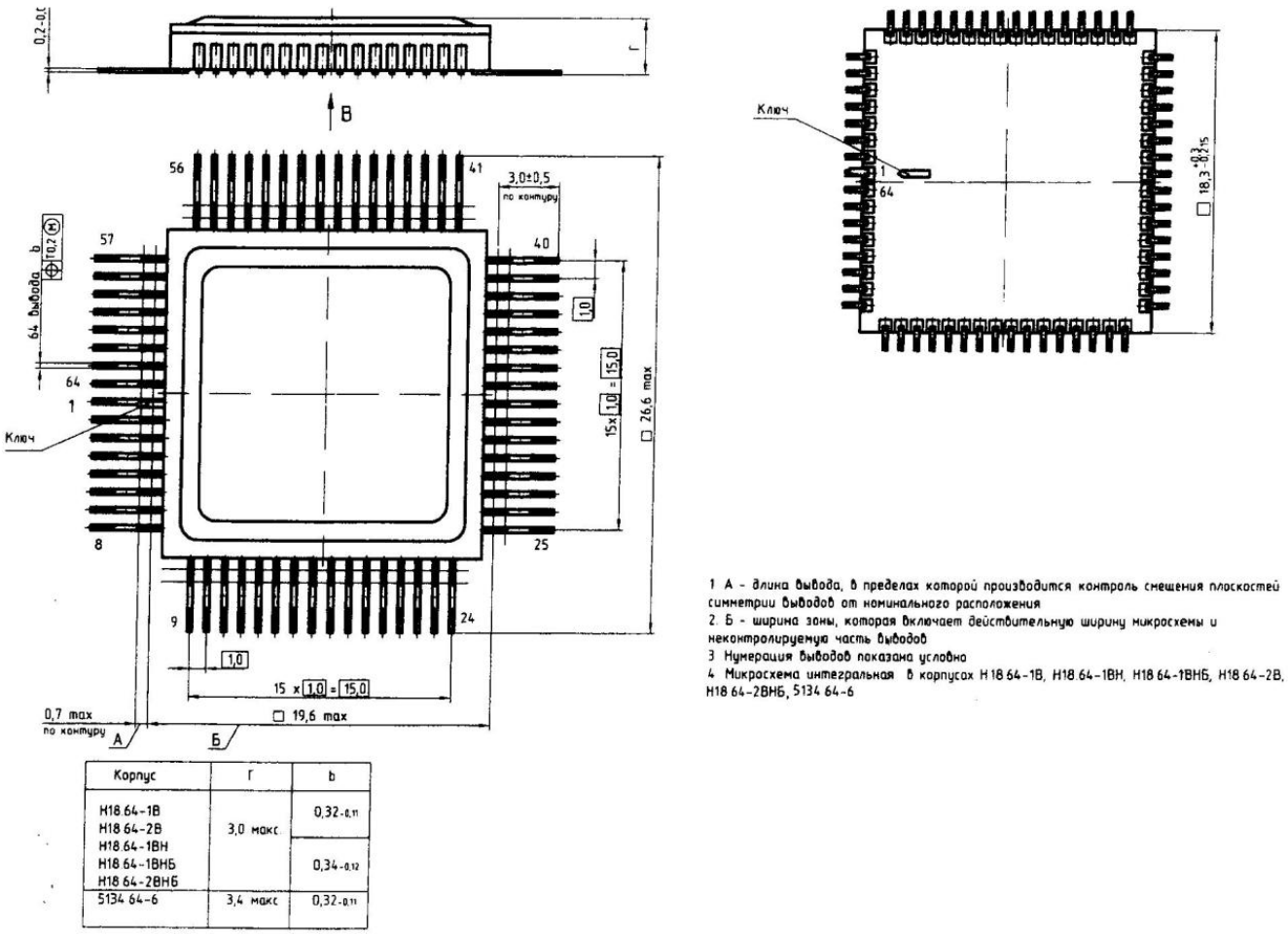


Рисунок 11 – Корпус микропроцессора 1986ВЕ9х

Как видно из таблицы 5, микроконтроллер 1986ВЕ94Т по своим характеристикам превосходит 1986ВЕ92У и 1986ВЕ93У, за счет наличия большего количества выводов и 32 разрядной шине.

4.2 Выбор электропитания микросхем

Для питания любой активной схемы необходимо иметь один или несколько источников стабильного напряжения постоянного тока. Простые нерегулируемые источники питания, выполненные по схеме «трансформатор –неуправляемый выпрямитель – сглаживающий фильтр», во многих случаях оказываются непригодными, так как их выходное напряжение зависит от тока нагрузки и напряжения в сети. Однако с помощью отрицательной обратной связи, легко

построить источник стабильного питания, используя для компенсации влияния нагрузки и нестабильности сети регулирующий сигнал, полученный в результате сравнения выходного напряжения источника с некоторым постоянным эталонным напряжением. Такие стабилизированные источники питания относятся к классу компенсационных. Они достаточно универсальны и могут быть изготовлены в виде интегральных микросхем стабилизаторов напряжения [63].

Существенно улучшить энергетические и массогабаритные показатели источников питания возможно путем использования микросхем непрерывных стабилизаторов напряжения с низким напряжением между входом и выходом. Для низковольтной аппаратуры специального применения предназначены разработанные ОАО НПП «ЭлТом» микросхемы 1303ЕН, существенно превосходящие по своим техническим характеристикам типичные микросхемы предыдущего поколения, что следует из сравнительной таблицы 2 [64].

Таблица 2 – Сравнительная таблица микросхем 142ЕН и 1303ЕН

Тип микросхем	Параметр						
142ЕН	7,5	15	5±0,1	2,5	3	0,05	1
1303ЕН	5	16	5±0,15	0,6	5	0,05	0,5

В серии 1303ЕН достаточно четко выражена особенность всех стабилизаторов с малым падением напряжения, заключающаяся в зависимости тока, которую необходимо учитывать при определении выделяющейся в микросхеме мощности. Для предотвращения самовозбуждения микросхем рекомендуется использовать сочетание керамических и танталовых конденсаторов (рисунок 12) [64].

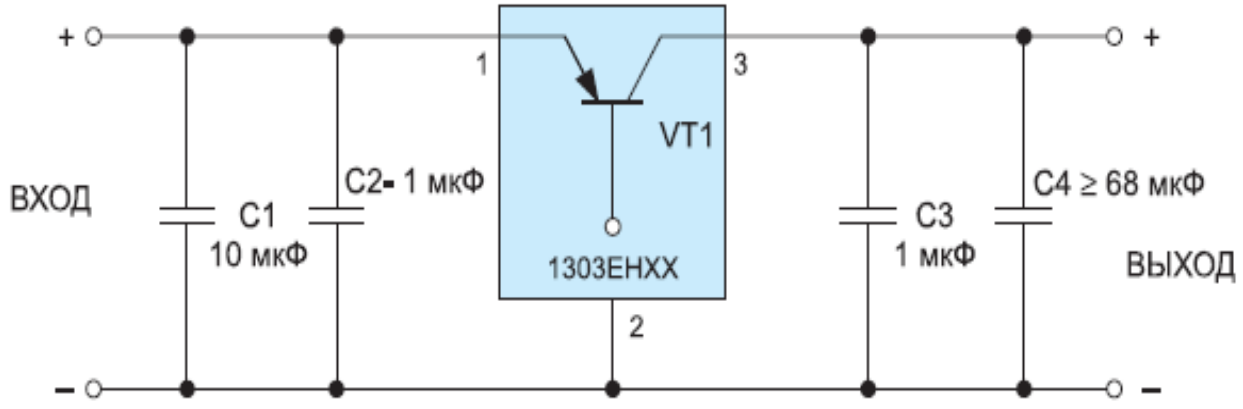


Рисунок 12 – Типовая схема включения микросхем 1303ЕН

Микросхемы серии 1303ЕН выпускаются в металлокерамических корпусах. Устойчивость микросхем к аварийным режимам работы обеспечивается встроенными защитами от превышения выходного тока и перегрева кристалла свыше 150°С, переплюсовки напряжения между входом и выходом, а также блокировкой выхода при увеличении входного напряжения выше 17 В.

В зависимости от выходного напряжения различают следующие стабилизаторы напряжения серии 1303ЕН: 1303ЕН1,8; 1303ЕН2,5; 1303ЕН3,3; 1303ЕН5.

На блок силовой системы подается напряжение +5 В постоянного тока, для питания микроконтроллера и некоторых микросхем в электрической схеме необходимо преобразовать в более низкое (3,3 В), поэтому выбираем стабилизатор напряжения 1303ЕН3,3. Параметры микросхемы 1303ЕН3,3 представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Параметры микросхемы 1303ЕН3,3

Наименование параметра, единица измерения	Буквенное обозначение	Норма		Режим измерения
		не менее	не более	
Выходное напряжение, В		3,20	3,40	
Ток потребления, мА			85	
Минимальное падение напряжения между входом и выходом, В			0,6	
Коэффициент нестабильности по напряжению, %/В			0,05	
Коэффициент нестабильности по току, %/А			0,5	
Температурный коэффициент выходного напряжения, %/°С			±0,01	

4.3 Выбор источника тактовых сигналов

Для работы микроконтроллера 1986ВЕ91Т необходимы тактовые импульсы частотой 8 МГц. Источником тактового сигнала может быть [57]:

Внутрений RC генератор HSI, который вырабатывает тактовую частоту 8 МГц. В случае использования RC генератора никаких дополнительных элементов не нужно. Однако, встроенный RC генератор имеет небольшую точность работы (до 10% погрешности) и, кроме того, нестабилен при повышенной или пониженной температуре. Так как выполняемые в микроконтроллере блока управления приложения критичны по времени, то такой генератор не годиться;

Внешний источник тактового сигнала. В такой ситуации нужно применять другой микроконтроллер (для синхронизации работы) или внешнюю схему,

дающую нужный сигнал. Такой подход обходится не дешево, а также возрастает сложность электрической схемы всего узла;

Внешний генератор HSE, предназначенный для выработки тактовой частоты 8 МГц с помощью внешнего резонатора. Такие генераторы намного стабильнее и точнее, поэтому для работы микроконтроллера будем тактировать сигналы от внешнего генератора.

В качестве внешнего резонатора выберем кварцевый резонатор РК456МДУ, разработанный предприятием НПП «Деко-Кварц» г. Москва. РК456МДУ – микроминиатюрный кварцевый резонатор промышленного применения в надежном корпусном исполнении для монтажа на поверхность, устойчив к климатическим воздействиям в условиях России. Отличается очень высокой механической прочностью, устойчив к воздействию сильных ударов, линейного ускорения и вибрации. Рекомендуется для применения в носимой и бортовой аппаратуре, в частности в танковой электронике [59]. Поставляется с приемкой «5» (военная приемка). Параметры резонатора РК456МДУ приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Параметры резонатора РК456МДУ

Наименование параметров	Значения параметров
Диапазон частот, кГц	1000…4000
Точность настройки, 10^{-6}	±5, ±10, ±15, ±30, ±50
Динамическое сопротивление, Ом	80
Нагрузочная емкость, пФ	8-100
Интервал рабочих температур (ИРТ), °С	-60…+85

4.4 Выбор шинных формирователей

Для организации совместной работы нескольких микросхем на общую шину магистраль применяются специальные микросхемы, называемые шинными формирователями. Они предназначены для усиления сигналов по мощности,

увеличения нагрузочной способности, отключения источника данных от шин, когда этот источник не участвует в обмене данными. Шинные формирователи включаются между источником / приемником данных шиной магистрали [70].

Для упрощения схемотехнических решений, разработаны микросхемы с входным пороговым напряжением КМОП-уровней (КР1554, КР1564 и некоторые другие). В настоящее время промышленность выпускает микросхемы серии КР1554, относящиеся по структуре к группе КМОП. Они практически по всем параметрам превосходят микросхемы ТТЛ и КМОП всех серий [18]. Напряжение питания микросхем серии КР1554 – от 2 до 6 В, параметры нормируют при значениях напряжения питания 3,3 В и 5 В. Все микросхемы этой серии отличаются очень высокой нагрузочной способностью – при высоком логическом уровне на выходе, напряжении питания 4,5 В и выходном напряжении 3,86 В выходной вытекающий ток не менее 24 мА; при напряжении питания 3 В и выходном напряжении 2,56 В выходной ток не менее 12 мА. Таковы же нормы и на втекающий выходной ток при низком логическом выходном уровне при выходном напряжении 0,32 В для тех же значений напряжения питания.

В таблице 5 представлены наименования микросхем серии КР1554 и их функциональное назначение.

Таблица 5 – Перечень микросхем серии КР1554

Наименование	Назначение
КР1554АП3	Два четырехразрядных формирователя с тремя постоянными на выходе с прямым и инверсным управлением
КР1554АП4	Два четырехразрядных формирователя тремя постоянными на выходе с прямым управлением
КР1554АП5	Два четырехразрядных формирователя тремя постоянными на выходе с инверсным управлением
КР1554АП6	Восьмиразрядный двунаправленный приемопередатчик с тремя состояниями на выводе
КР1554АП10	Восьмиразрядный приемопередатчик с инверсией информации и с тремя состояниями на выводе
КР1554АП20	Восьмиразрядный двунаправленный приемопередатчик с регистром и с тремя состояниями на выводе

В качестве шинного формирователя сигналов, поступающих с блока управления выбран восьмиканальный двунаправленный приемопередатчик с тремя состояниями на выходе КР1554АП6, производства ОАО «Интеграл» г. Минск. Для данной микросхемы необходимо напряжение питания не менее 4,5 В и не более 5,5 В. Назначения выводов шинного формирователя КР1554АП6 представлены в таблице 7.

Параметры микросхемы:

1. номинальное напряжение питания 5 В;
2. выходное напряжение низкого уровня 0,32 В;
3. выходное напряжение высокого уровня 4,86 В;
4. ток потребления 0,008 мА.

Таблица 6 – Назначение выводов микросхемы КР1554АП6

Обозначение	Назначение
	Вход разрешения выхода
	Вход сигнала выбора направления передачи данных
	Вход/выход порта данных А
	Вход/выход порта данных В
	Общий вывод
	Вывод питания от источника напряжения

4.5 Выбор выходных регистров

Для передачи сигналов управления двигателям и электромагнитам механизмов автомата заряжания используются восьмиразрядные, управляемые по фронту, регистры с параллельным вводом-выводом данных. В серии КР1554 выделяют два таких регистра – КР1554ИР23 и КР1554ИР35.

Микросхема КР1554ИР35 отличается наличием входа сброса в состояние логического нуля для установления регистров в исходное состояние при сбросе контроллера.

Микросхема КР1554ИР35 представляет собой восьмиразрядный регистр с импульсным управлением. Регистр построен на D-триггерах и имеет восемь входов данных D0.0…D0.7, восемь выходов D0…D7 и вход сброса R в состояние логического нуля. Вход R асинхронный, работает независимо от сигнала на тактовом входе, активный уровень для него низкий. Назначения выводов микросхемы приведены в таблице 7 [72].

Таблица 7 – Назначения выводов микросхемы КР1554ИР35

№ вывода	Наименование	Назначение
1	R	Вход установки в состояние «логический 0»
2	D0	Выход данных
3	D0.0	Вход данных
4	D0.1	Вход данных
5	D1	Выход данных
6	D2	Выход данных
7	D0.2	Вход данных
8	D0.3	Вход данных
9	D3	Выход данных
10	0V	Общий вывод
11	C	Вход тактового импульса
12	D4	Выход данных
13	D0.4	Вход данных
14	D0.5	Вход данных
15	D5	Выход данных
16	D6	Выход данных
17	D0.6	Вход данных
18	D0.7	Вход данных
19	D7	Выход данных
20	Ucc	Напряжение питания

Условно графическое изображение регистра приведено на рисунке 13. Статистические характеристики микросхемы приведены в таблице 8.

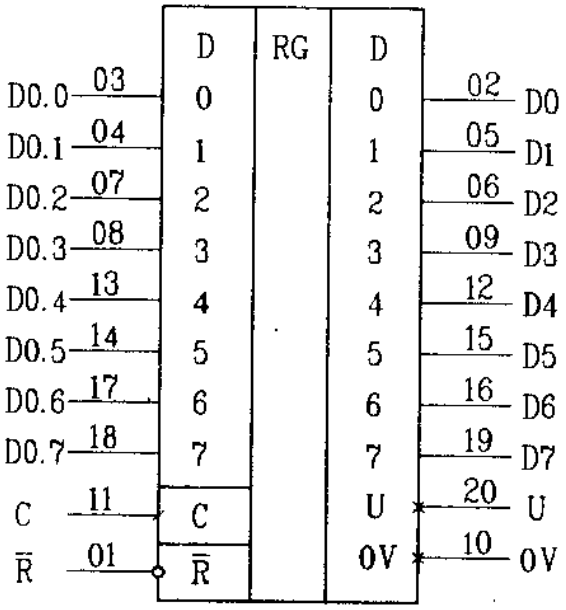


Рисунок 13 – Условно графическое изображение регистра КР1554ИР35

Таблица 8 – Статистические характеристики микросхемы КР1554ИР35

Параметр	Режим измерения						
				min	max	min	max
Входное напряжение высокого уровня			3,0 4,5 5,5	2,1 3,15 3,85		2,1 3,15 3,85	
Входное напряжение низкого уровня	$U_I = U_{CC}$ U_{IL}		3,0 4,5 5,5		0,9 1,35 1,65		
Входное напряжение низкого уровня	или		3,0 4,5 5,5	2,9 4,4 5,4		2,9 4,4 5,4	
			3,0 4,5 5,5	2,56 3,86 4,86		2,4 3,7 4,7	
Выходное напряжение низкого уровня			3,0 4,5 5,5		0,1 0,1 0,1		0,1 0,1 0,1
			3,0 4,5 5,5		0,32 0,32 0,32		0,4 0,4 0,4
Параметр	Режим измерения						
Входной ток	или GND		5,5		±0,1		±1,0
Ток потребления	или GND		5,5		8,0		80
Выходные токи			5,5			86	
;			5,5			-75	

4.6 Выбор приемопередатчика интерфейса RS232

Для обеспечения связи с компьютером и программирования микроконтроллера используется интерфейс RS232. Так как микроконтроллер впаян в плату, программирование его с помощью программатора исключено. Поэтому процесс «прошивки» осуществляется по последовательному интерфейсу RS232. В состав микроконтроллера 1986ВЕ91Т встроен контроллер последовательного обмена – универсальный асинхронный приемопередатчик UART (Universal Asynchronous Receiver and Transmitter). В асинхронном режиме работы модуль UART позволяет реализовать протокол обмена для интерфейса RS232 [66].

В качестве приемопередатчиков интерфейса RS232 используют микросхемы К5559ИН4У и 5559ИН10У, предназначенные для реализации связи между компьютером и периферийными устройствами. Микросхемы содержат пять передатчиков и три приемника (один активный во всех режимах), а так же внутренний импульсный преобразователь напряжения с внешними конденсаторами [67]. Особенностью микросхем является наличие режима «выключено», в котором все приемники остаются активными.

Микросхема 5559ИН4У отличается от К5559ИН10У тем, что она выпускается с военной приемкой. Так как блок силовой должен соответствовать требованиям аппаратуры военного назначения, для организации интерфейса по стандарту RS232 выбираем микросхему 5559ИН4У. Описание выводов микросхемы 5559ИН4У приведено в таблице 9.

Основные параметры микросхемы:

1. Напряжение питания от 3,0 В до 5,5 В;
2. Максимальная скорость передачи данных:
   - в режиме MegaBaund 1 Мбит/с;
   - в нормальном режиме до 250 кбит/с;
3. 3 канала приема;

4. 5 каналов передачи;

5. режим «выключено»;

6. рабочий диапазон температур .

Описание выводов микросхемы 559ИН4У представлены в таблице 3.9.

Таблица 9 – Описание выводов микросхемы 5559ИН4У

Вывод	Условное обозначение	Описание
1		Положительный вывод конденсатора для внутреннего импульсного преобразователя напряжения
2		Общий
3		Отрицательный вывод конденсатора для внутреннего импульсного преобразователя напряжения
4		–5,5 В вывод внутреннего импульсного преобразователя напряжения
5-9		Выход передатчика RS-232
10-14		Вход передатчика RS-232
15		Вход управления режимом передачи 250/100 Кбит/с. Активный уровень «1»
16		Вход выключения передатчиков RS-232. Активный уровень «0»
17		Вход разрешения работы выходов приемников. Активный уровень «0»
18		Вход приемника RS232
19		Не инвертирующий выход приемника. Активен во всех режимах
20-22		Выход приемника RS-232
23,24		Входы приемника RS-232
25		Отрицательный вывод конденсатора для внутреннего импульсного преобразователя напряжения
26		Напряжение питания
27		Положительный вывод конденсатора для внутреннего импульсного преобразователя напряжения
28		+5,5 В вывод внутреннего импульсного преобразователя напряжения

Схема организации передачи данных по интерфейсу RS232 представлена на рисунке 14.

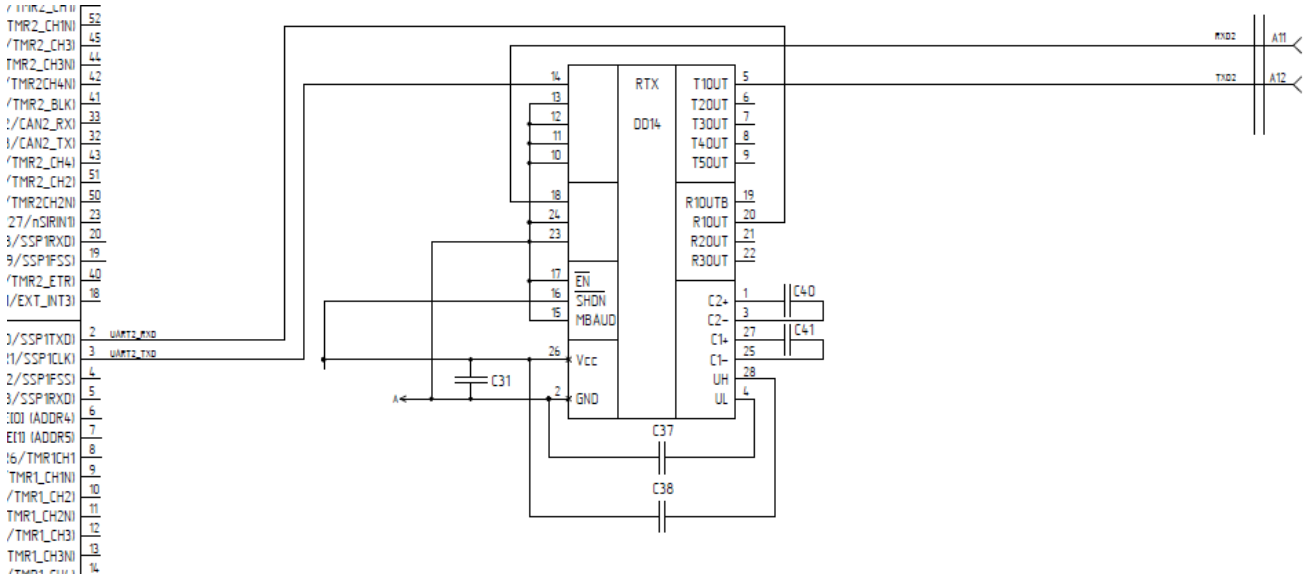


Рисунок 14 – Схема организации передачи данных по интерфейсу RS232

Основными линиями, по которым осуществляется обмен данными, являются две: TxD (Transmitter Data) – линия, по которой из микроконтроллера передаются данные компьютеру, и RxD (Receiver Data) – линия, по которой микроконтроллером принимаются данные из компьютера. С контроллером UART обмен данными происходит по линиям связи UART_TX (передача) и UART_RX (прием). Неиспользуемые входы микросхемы соединены с или .

4.7 Выбор резисторов

Все резисторы выбираются по требуемому номинальному значению и мощности. Иногда в особо точных схемах учитывается допустимое отклонение от номинальной величины сопротивления. Допустимое отклонение от номинальной величины сопротивления зависит от типа резистора: композиционный, проволочный, угольный [48]. Выбирая резисторы по мощности, определяется

мощность рассеяния на каждом резисторе отдельно по формулам, выведенным из закона Ома:

- ,
- ,
- .

Полученная величина увеличивается вдвое. Исходя из полученных значений, выбирают резисторы эталонных мощностей: 0,125, 0,25, 0,5 ,1, 2 ,5,10 Вт и т.д. [30].

На поверхность печатных плат и в гибридные интегральные схемы монтируют постоянные непроволочные резисторы общего применения (Р1-12), предназначенные для работы в электрических цепях постоянного и переменного токов.

Выбранные резисторы: Р1-12-0,125; Р1-12-0,25, Р1-12-0,5.

4.8 Выбор конденсаторов

При выборе конденсаторов для радиоэлектронных устройств, приходиться решать одну из противоположных по своему характеру задач. Прямая задача – по известному стандартному напряжению конденсатора найти максимально допустимые значения переменной и постоянной составляющих рабочего напряжения. Обратная задача заключается нахождения типа и стандартного напряжения конденсаторов по рабочему режиму [49].

Под номинальным напряжением понимается наибольшее напряжение между обкладками конденсатора, при котором он способен работать с заданной надёжностью в установленном диапазоне рабочих температур. Номинальное напряжение, оговоренное стандартами, называется стандартным напряжением – оно маркируется на конденсаторах, выпускаемых согласно действующих стандартов. Под рабочим напряжением подразумевается значения постоянного и переменного напряжения, которые действуют на конденсаторе при его работе [50].

Прямая задача нахождения рабочего напряжения по стандартному решается с помощью условий, оговоренных в действующих стандартах. Однако эти условия справедливы лишь для тех случаев, когда переменная составляющая (пульсация) напряжения на конденсаторе меняется по закону гармонического колебания.

Для решения обратной задачи – нахождения типа и стандартного напряжения конденсатора по рабочему режиму, необходимо вначале найти минимальное напряжение, а затем выбрать ближайшее к нему стандартное значение.

Величина рабочего напряжения конденсатора ограничивается тремя требованиями:

а) конденсатор не должен перегреваться;

б) перенапряжение на нём недопустимо;

в) он должен быть защищен от прохождения обратных токов, если это полярный оксидный конденсатор.

Для того чтобы конденсатор не перегревался, следует рассчитать выделяемую на нём реактивную мощность. Она не должна превышать номинальную мощность конденсатора.

Чтобы защитить конденсатор от перенапряжения, рабочее напряжение на нём не должно превышать номинальное. Это условие формулируется в стандартах как сумма постоянной составляющей и амплитуды переменной составляющей рабочего напряжения не должна быть больше стандартного напряжения.

Полярные оксидные конденсаторы, помимо перегрева и перенапряжения, должны быть защищены от прохождения разрушающих обратных токов. Чтобы оксидная плёнка была непроводящей, потенциал оксидированного метала (анода) должен всегда превышать потенциал второго электрода (катода). С этой целью в стандартах оговаривается, что амплитуда переменной составляющей напряжения не должна превышать постоянную составляющую [51].

Керамические конденсаторы представляют собой пластинки, диски или трубки из керамики с нанесёнными на них электродами из металла. Для защиты от внешних воздействий эти конденсаторы окрашивают эмалями или герметизируют,

покрывая эпоксидными компаундами либо заключают в специальный корпус. Керамические конденсаторы широко применяются в качестве контурных, блокировочных, разделительных и др.

Электролитические и оксидно-полупроводниковые конденсаторы в качестве диэлектрика содержат оксидный слой на металле, являющемся одной из обкладок (анодом). Вторая обкладка (катод) – электролит (в электролитических конденсаторах) или слой полупроводника (в оксидно-полупроводниковых), нанесенный непосредственно на оксидный слой. Аноды изготовляются из алюминиевой, танталовой, или ниобиевой фольги [52].

Электролитические и оксидно-полупроводниковые конденсаторы отличаются малыми размерами, большими токами утечки и большими потерями. При одинаковых номинальных напряжениях и номинальных емкостях объем танталовых конденсаторов меньше объема конденсаторов с алюминиевыми анодами. Танталовые конденсаторы могут работать при более высоких температурах, их емкость меньше изменяется при изменении температуры, токи утечки у них меньше. Оксидно-полупроводниковые конденсаторы могут работать при более низких температурах, чем электролитические.

Проводимость широко распространенных электролитических и оксидно-полупроводниковых конденсаторов сильно зависит от полярности приложенного напряжения, поэтому они используются лишь в цепях постоянного и пульсирующего токов. Изготовляются также неполярные электролитические конденсаторы, в которых обе обкладки содержат оксидный слой. Значение переменной составляющей пульсирующего напряжения не должно превышать допустимого для данного конденсатора. Сумма амплитуды переменной составляющей и постоянного напряжения не должна превышать номинального напряжения данного конденсатора [54].

Конденсаторы, подходящие для разрабатываемого печатного узла: К10-17В – керамические и К53-68 – танталовые конденсаторы.

4.9 Объединение выбранных элементов в единую схему

Электрическая схема построена по магистрально-модульному принципу организации, при котором отдельные блоки формируются в законченные функциональные узлы с конкретными функциями, которые объединены на плате в необходимые конфигурации.

Проектируемый печатный узел построен на цифровых микросхемах, которые характеризуются тем, что могут находиться только в двух состояниях (0 или 1). В качестве логических состояний цифровых микросхем условились воспринимать напряжение на их входе и выходе. При этом высокое напряжение считается единицей, а низкое – нулем. Если же напряжение на выходе микросхемы будет больше уровня логического нуля, но меньше уровня логической единицы, то такое состояние микросхемы называется неопределенным. Для устранения неопределенностей в процессе работы схемы выходные сигналы притягиваются через резисторы к напряжению высокого уровня.

Структурная схема проектируемого узла управления приведена на рисунке 15 и в приложении Б.

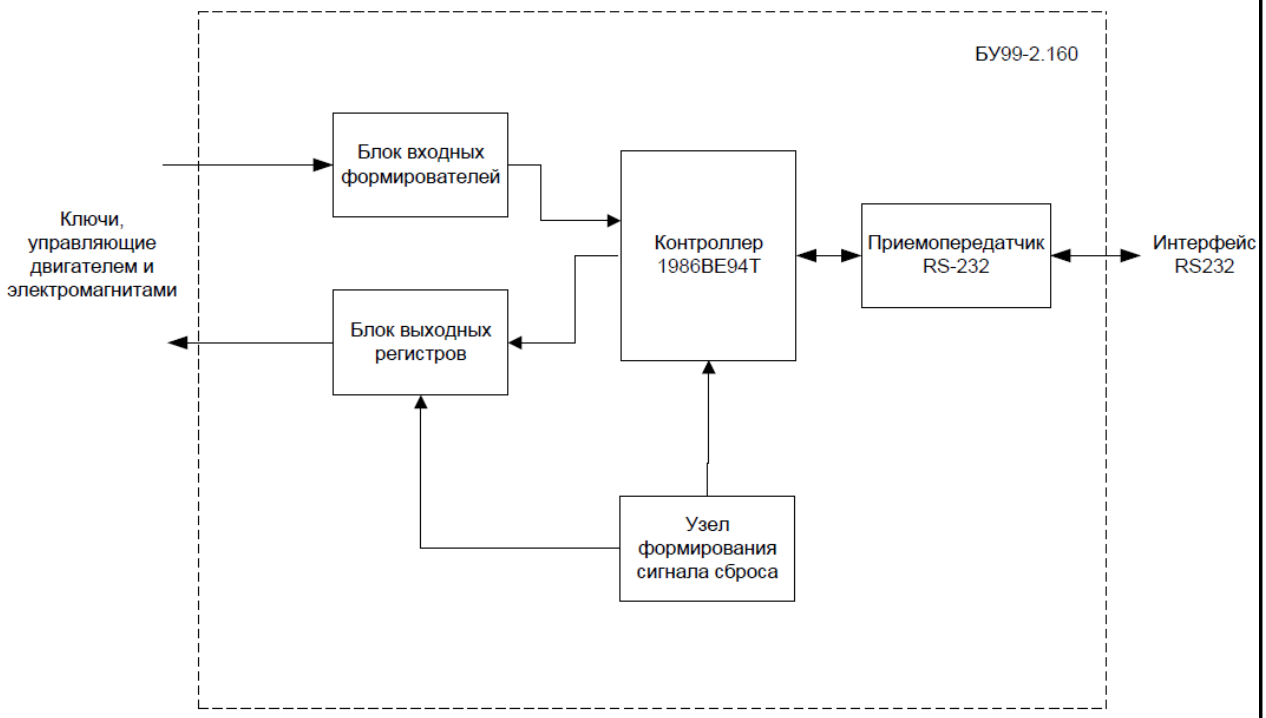


Рисунок 15 – Структурная схема разрабатываемого узла

Для питания любой активной схемы необходимо иметь один или несколько источников стабильного напряжения постоянного тока. На узел управления блока силового системы подается напряжение +5 В постоянного тока, для питания микроконтроллера и некоторых микросхем в электрической схеме необходимо преобразовать в более низкое (3,3 В). Для этого используем стабилизатор напряжения 1303ЕН3,3. Схема подключения стабилизатора к микроконтроллеру изображена на рисунке 16.

Основное питание микроконтроллера, включает питание пользовательских выводов, встроенного регулятора напряжения и генератора. Входное напряжение должно быть в пределах от 3,0 до 3,6 В. На выводы Ucc подается основное питание микросхемы, а на выводы GND – общие выводы цифровой части микросхемы.

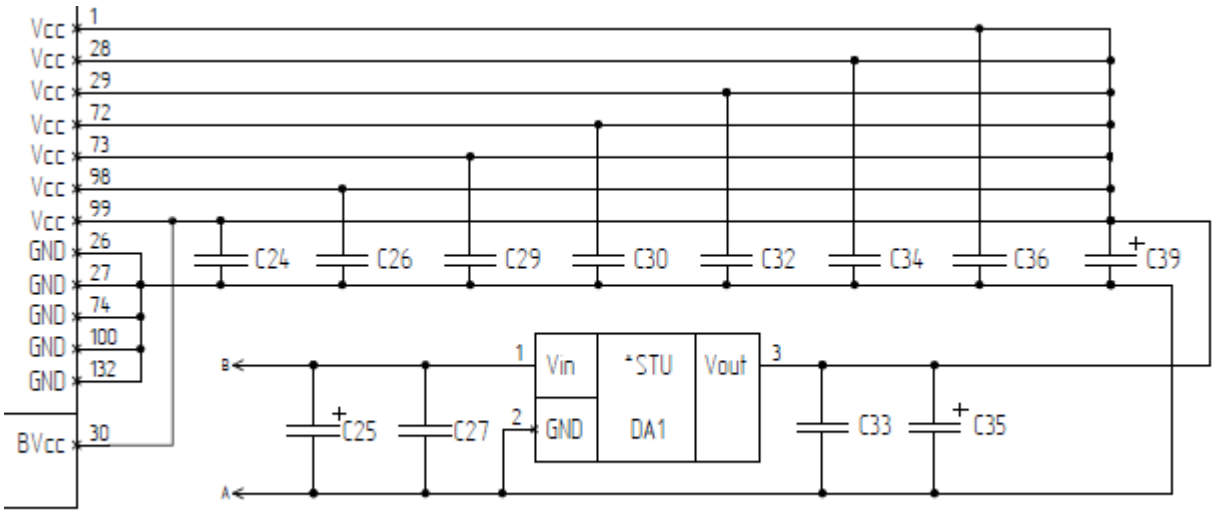


Рисунок 16 – Схема подключения стабилизатора к микроконтроллеру

Конденсаторы C24, C26, C29, C30, C32, C34, C26,C36 устанавливаются для защиты выводов микросхем от помех.

При включении напряжения питания микроконтроллер должен начать выполнять записанную в памяти программу работы. При нарастании или падении напряжения питания ниже определенного уровня микроконтроллер принудительно переводится в состояние сброса. При этом устанавливаются в исходное состояние внутренние магистрали микроконтроллера, сигналы управления и регистры специальных функций [72].

Для запуска и полного сброса на вывод микроконтроллера RESET# необходимо подавать управляющие сигналы. При подаче на вход RESET# низкого уровня (логический ноль), микроконтроллер будет сброшен и остановлен, а при подаче логической единицы микроконтроллер начинает работать (запускается).

Диодная матрица DVD3 (2Д707АС9) препятствует попаданию на вход RESET отрицательного напряжения при выключении питания

Для работы микроконтроллера 1986ВЕ94У необходимы тактовые импульсы частотой 8 МГц. В качестве источника тактового сигнала выбран кварцевый резонатор РК456МДУ.

Для приведения микроконтроллера в состояние сброса от внешней кнопки необходимо воздействие управляющего сигнала. Управляющее воздействие формируется переключающим устройством на биполярных транзисторах 2Т214А9 и 2Т215Б9.

Функциональный узел схемы сброса для микроконтроллера, построенный на микросхеме 5518АП1ТБМ, а так же схема подключения резонатора к микроконтроллеру представлен на рисунке 17.

Микросхема 5518АП1ТБМ – супервизор питания, конструктивно выполняется в металлокерамическом 8-выводном корпусе. Особенности микросхемы:

1. Диапазон напряжения питания от 1,2 до 5,5В;
2. Допустимое значение статического потенциала не менее 1000 В;
3. Диапазон рабочих температур среды от минус 60 до плюс 125 °С.

Супервизор питания выполняет следующие функции:

4. Формирование сигнала сброса по фиксированному уровню напряжения питания;
5. Формирование сигнала сброса от внешней кнопки;
6. Формирование сигнала состояния сторожевого таймера;
7. Прерывание по аварии первичного источника питания.

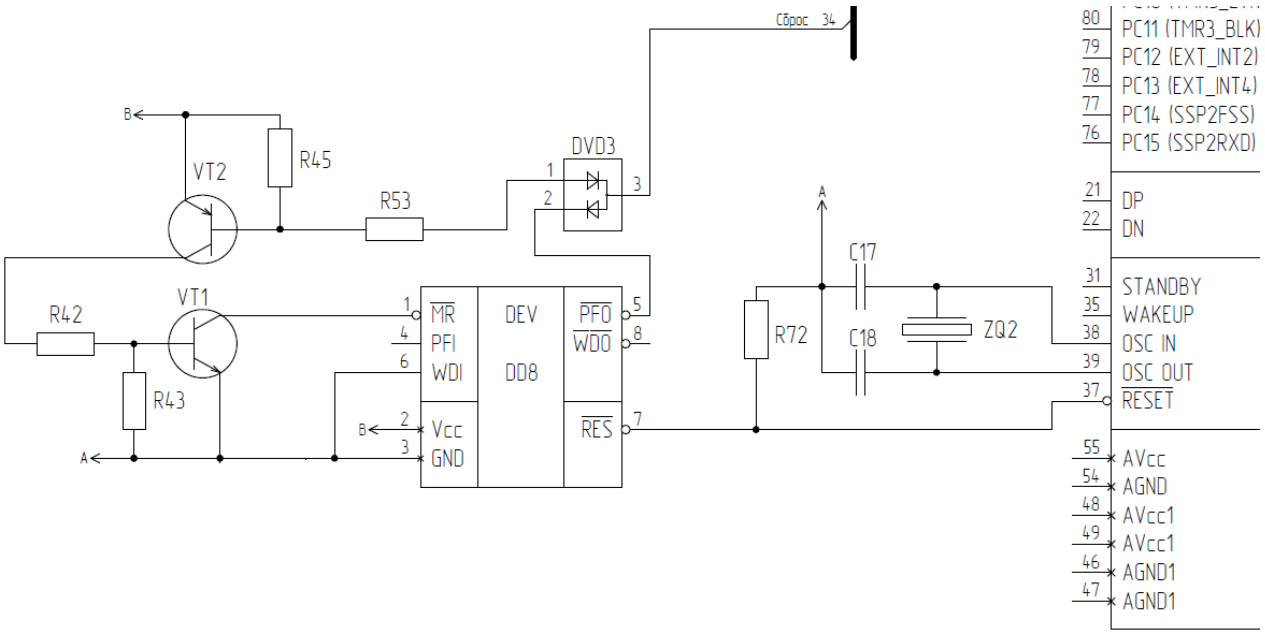


Рисунок 17 – Схема сброса и подключения резонатора

Для обеспечения связи с компьютером и программирования микроконтроллера используется интерфейс RS232. Так как микроконтроллер впаян в плату, программирование его с помощью программатора исключено. Поэтому процесс «прошивки» осуществляется по последовательному интерфейсу RS232. В состав микроконтроллера 1986BE91T встроен контроллер последовательного обмена – универсальный асинхронный приемопередатчик UART (Universal Asynchronous Receiverand Transmitter). В асинхронном режиме работы модуль UART позволяет реализовать протокол обмена для интерфейса RS232.

Интерфейс по стандарту RS232 организован на микросхеме приемопередатчика 5559ИН4У. Приемопередатчик интерфейса RS232 содержит пять передатчиков и три приемника (один активный во всех режимах), а так же внутренний импульсный преобразователь напряжения с внешними конденсаторами [68].

Для работы модуля UART в режиме программирования необходимо на выводы микроконтроллера Mode (PF4–PF6) подать последовательность битов 110. Процедура переключения режима осуществляется схемой, представленной на рисунке 18.

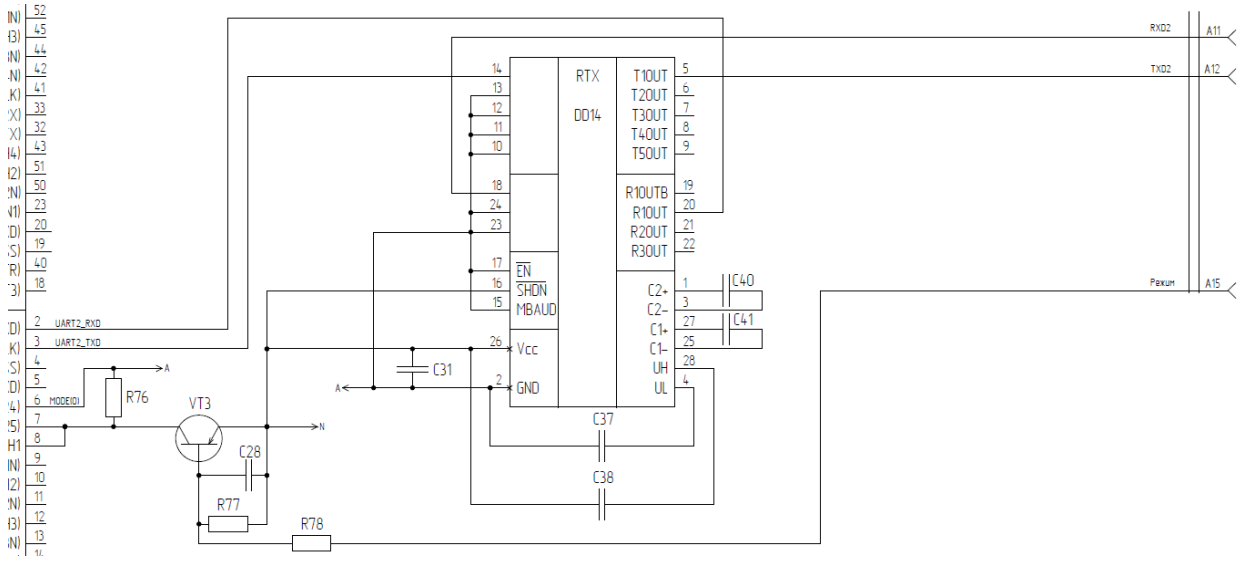


Рисунок 18 – Схема организации передачи данных по интерфейсу RS-232

Включение режима программирования осуществляется внешней кнопкой. Между линиями питания +3,3В и общей подключается конденсатор небольшой емкости и резистор . Кнопка включения не сработает, пока конденсатор не зарядится. Время, за которое зарядится конденсатор, рассчитывается по формуле:

Конденсатор зарядится за 1 мс и этой задержки вполне достаточно для того, чтобы исключить ложные срабатывания кнопки включения, т.е. устранить дребезг контактов. Для коммутации цепи включения режима применяется биполярный транзистор VT3 (2Т214Б9).

Для организации совместной работы нескольких микросхем на общую шину магистраль применяются специальные микросхемы, называемые шинными формирователями. Они предназначены для усиления сигналов по мощности, увеличения нагрузочной способности, отключения источника данных от шин,

когда этот источник не участвует в обмене данными. Шинные формирователи включаются между источником / приемником данных шиной магистрали.

Схема подключения шинного формирователя представлена на рисунке 19.

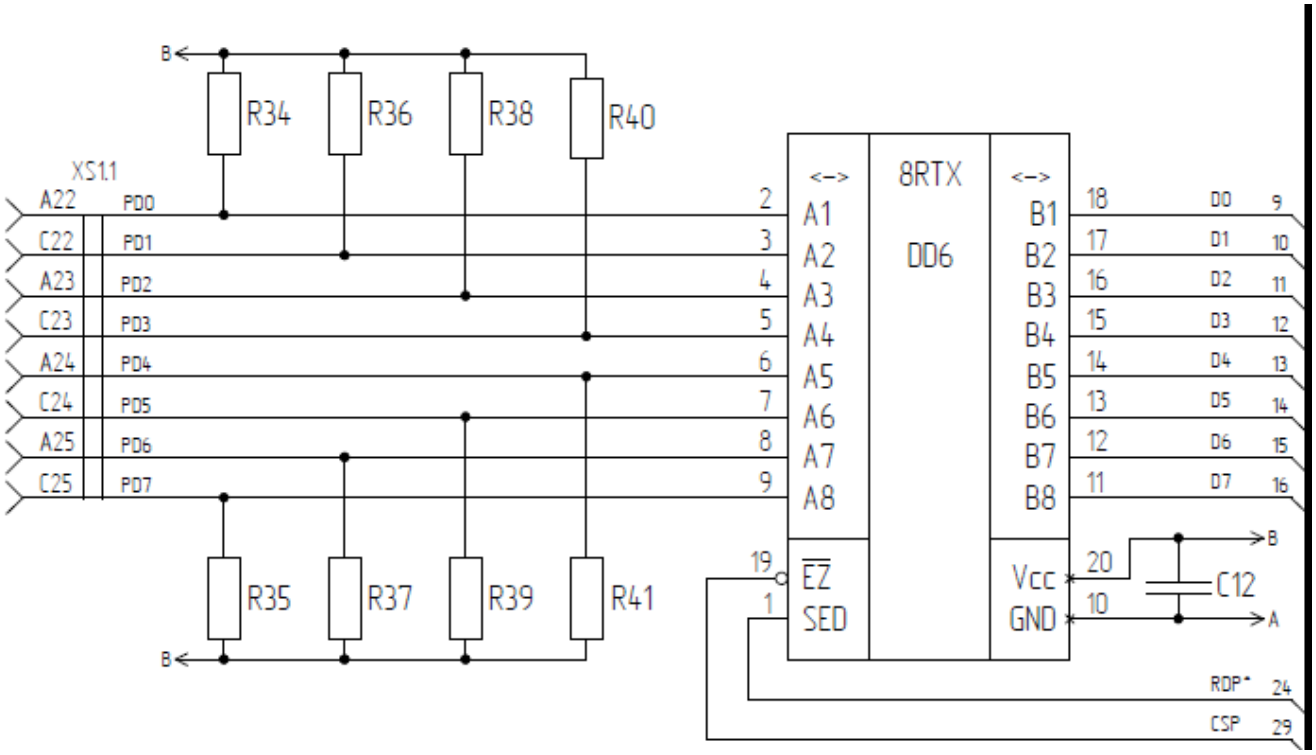


Рисунок 19 – Схема подключения шинного формирователя

Для передачи сигналов управления двигателям и электромагнитам механизмов автомата заряжания используются восьмиразрядные, управляемые по фронту, регистры с параллельным вводом-выводом данных КР1554ИР35.

Схема подключения регистров к микроконтроллеру приведена на рисунке 20.

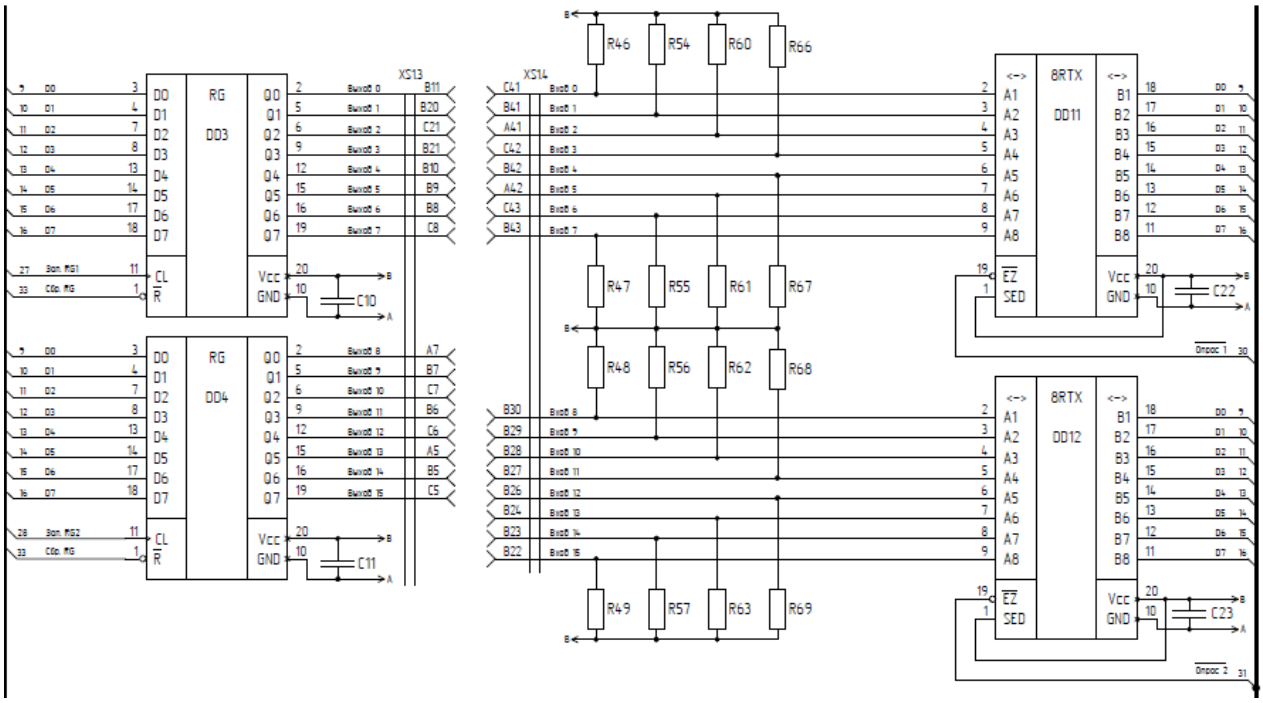


Рисунок 20 –Схема подключения входных и выходных регистров

Сигнал сброса для регистров должен формироваться с задержкой от основного сигнала сброса Reset, для этого используем микросхему 1554ТЛ (4 инвертора). RC цепочка устанавливает задержку по времени. Схема формирования сигнала сброса регистров приведена на рисунке 21.

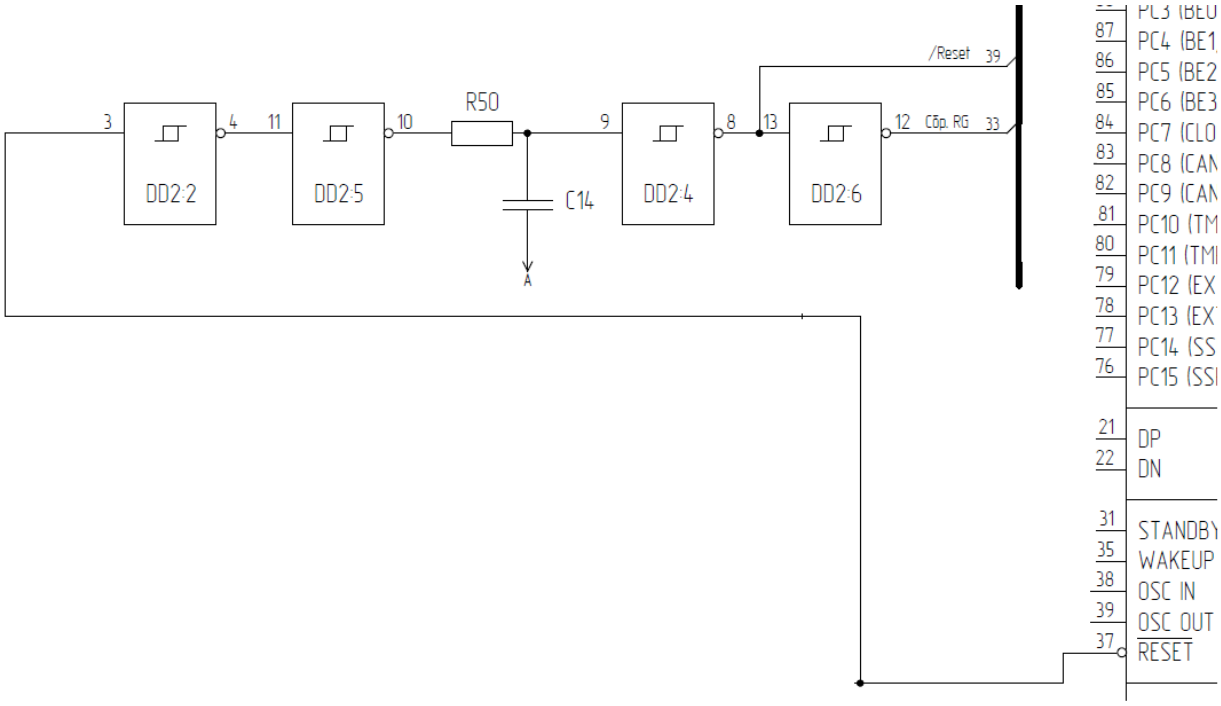


Рисунок 21 – Схема формирования сигнала сброса регистров

Конденсаторы С1-С8 предназначены для защиты микросхем КР1554ИР35 от помех. На плате конденсаторы необходимо разметить непосредственно вблизи выводов регистров. Схема подключения конденсаторов приведена на рисунке 22.

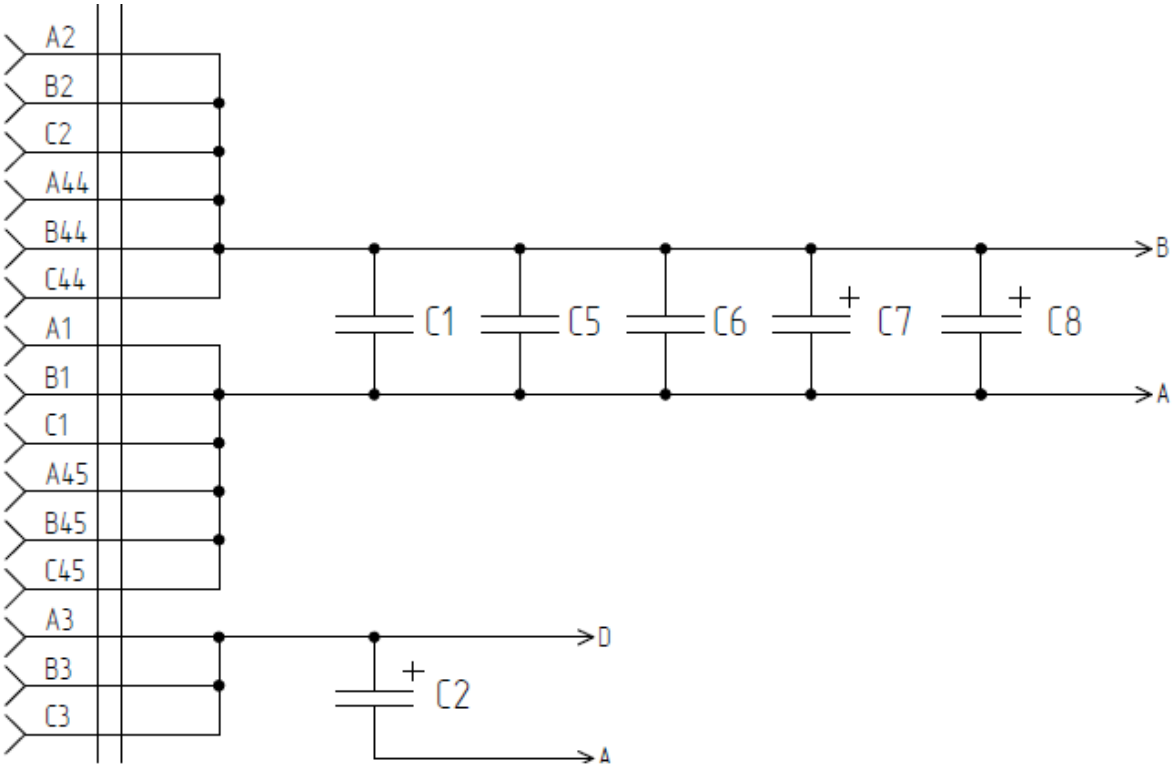


Рисунок 22 – Схема подключения конденсаторов

5 РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕСЧЕТА ПО ТЕМПЕРАТУРЕ

Для того, чтобы сделать вывод о возможности или невозможности использования вентильного двигателя в длительном режиме работы необходимо получить закон, по которому изменяется коэффициента заполнения от внутренней температуры двигателя.

Скважностью называют безразмерную величину, которая равна отношению периода следования импульсов (T) к длительности импульсов (τ) (см. рисунок 23). Коэффициент заполнения (англ. duty cycle) – это величина, обратная скважности [57].

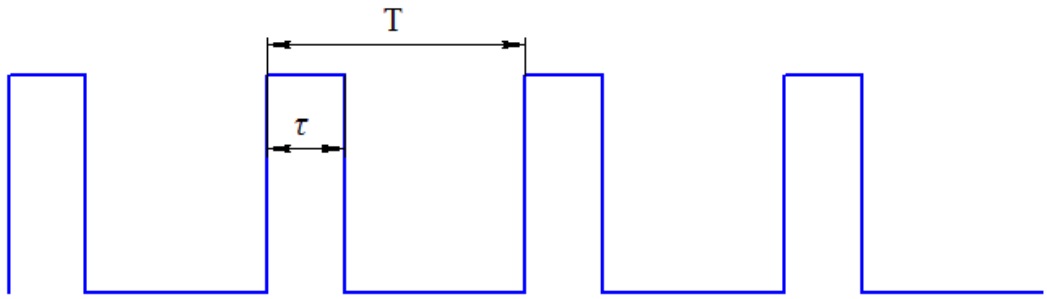


Рисунок 23 –Период следования импульсов и длительность импульсов

Таким образом, скважность и коэффициент заполнения находятся из уравнений 4 и 5:

где S – скважность;

D – коэффициент заполнения;

T – период следования импульсов;

τ – длительность импульсов.

Двигатель помещается в климатическую камеру на заданную температуру, и выдерживают 2 часа. Затем электродвигатель подключают к стенду и проводят один цикл работы. Структурная схема стенда приведена в приложении Б.

Коэффициент заполнения вычислялся при следующих температурах: -40^{0}С, -20^{0}С, 0^{0}С, НКУ, +50^{0}С ,+70^{0}С. Полученные ШИМ сигналы представлены на рисунках 24 – 29. Сигнал внутренней температуры снимается с помощью осциллографа с сорок третьего гнезда розетки XS1.6.

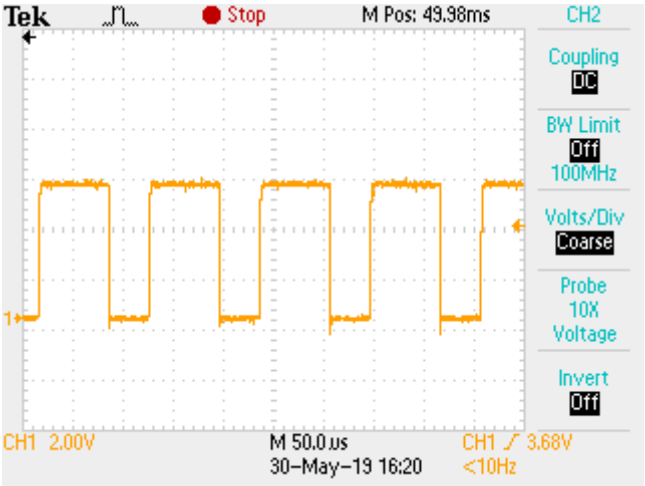


Рисунок 24 – ШИМ сигнал с гнезда А43 розетки XS1.6 при температуре -40^{0}С

Рассчитаем коэффициент заполнения ШИМ сигнала, представленного на рисунке 24.

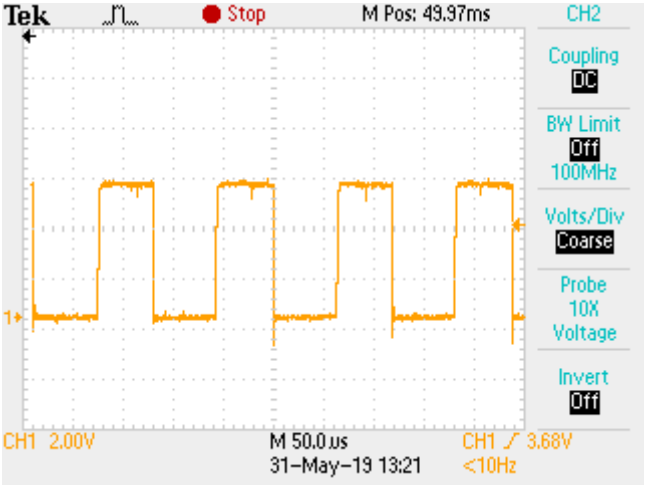


Рисунок 25 – ШИМ сигнал с гнезда А43 розетки XS1.6 при температуре -20^{0}С

Рассчитаем коэффициент заполнения ШИМ сигнала, представленного на рисунке 25.

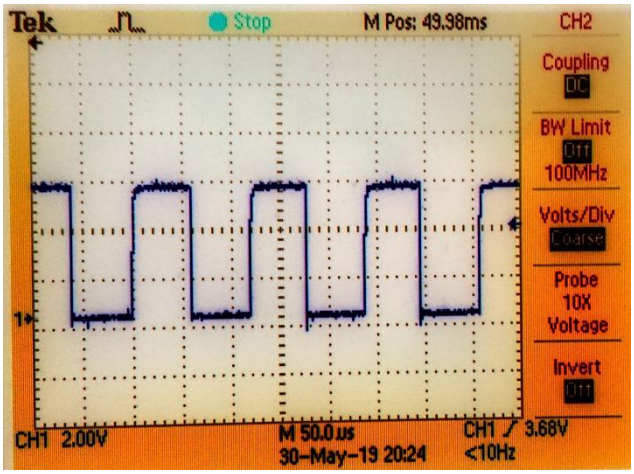


Рисунок 26 – ШИМ сигнал с гнезда А43 розетки XS1.6 при температуре 0^{0}С

Рассчитаем коэффициент заполнения ШИМ сигнала, представленного на рисунке 26.

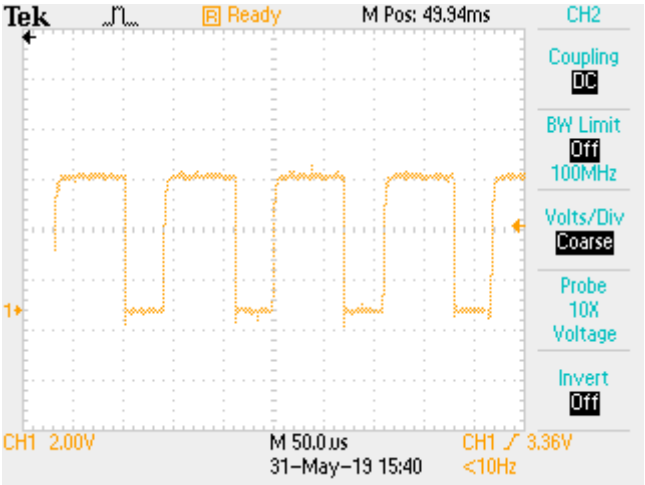


Рисунок 27 – ШИМ сигнал с гнезда А43 розетки XS1.6 при НКУ

Рассчитаем коэффициент заполнения ШИМ сигнала, представленного на рисунке 27.

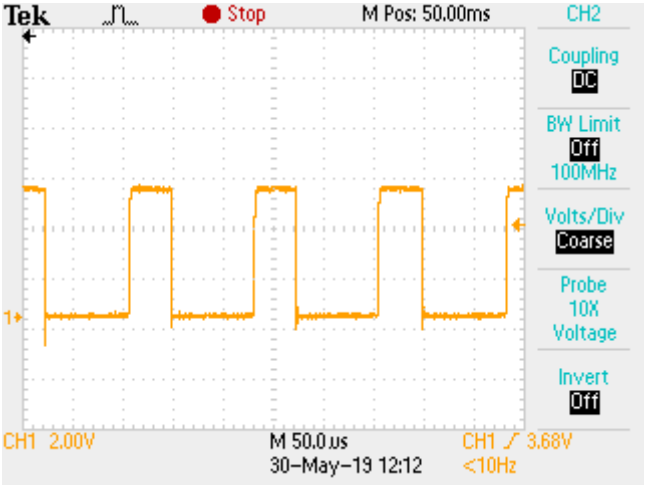


Рисунок 28 – ШИМ сигнал с гнезда А43 розетки XS1.6 при температуре +50^{0}С

Рассчитаем коэффициент заполнения ШИМ сигнала, представленного на рисунке 28.

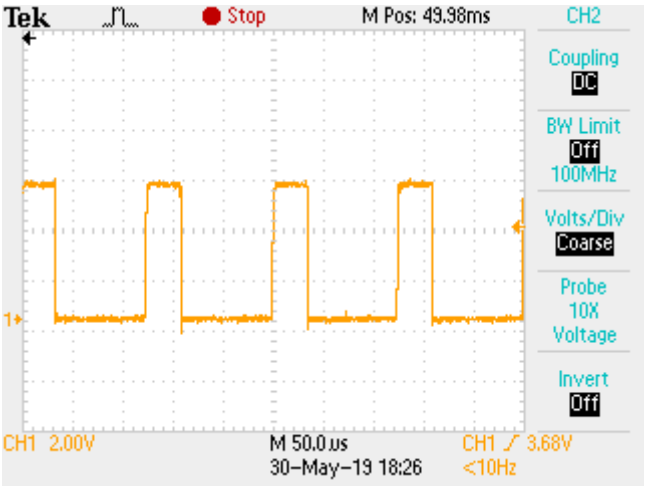


Рисунок 29 – ШИМ сигнал с гнезда А43 розетки XS1.6 при температуре +70^{0}С

Рассчитаем коэффициент заполнения ШИМ сигнала, представленного на рисунке 29.

Внесем полученные данные в таблицу 10.

Таблица 10 – Зависимость коэффициента заполнения от температуры двигателя

t,^{0}C	-40 ^{0}C	-20 ^{0}C	0 ^{0}C	НКУ	+50 ^{0}C	+70 ^{0}C
D*100, %	63,6	54,5	5	45,4	33,3	28

График зависимости коэффициента заполнения от температуры двигателя представлен на рисунке 30.

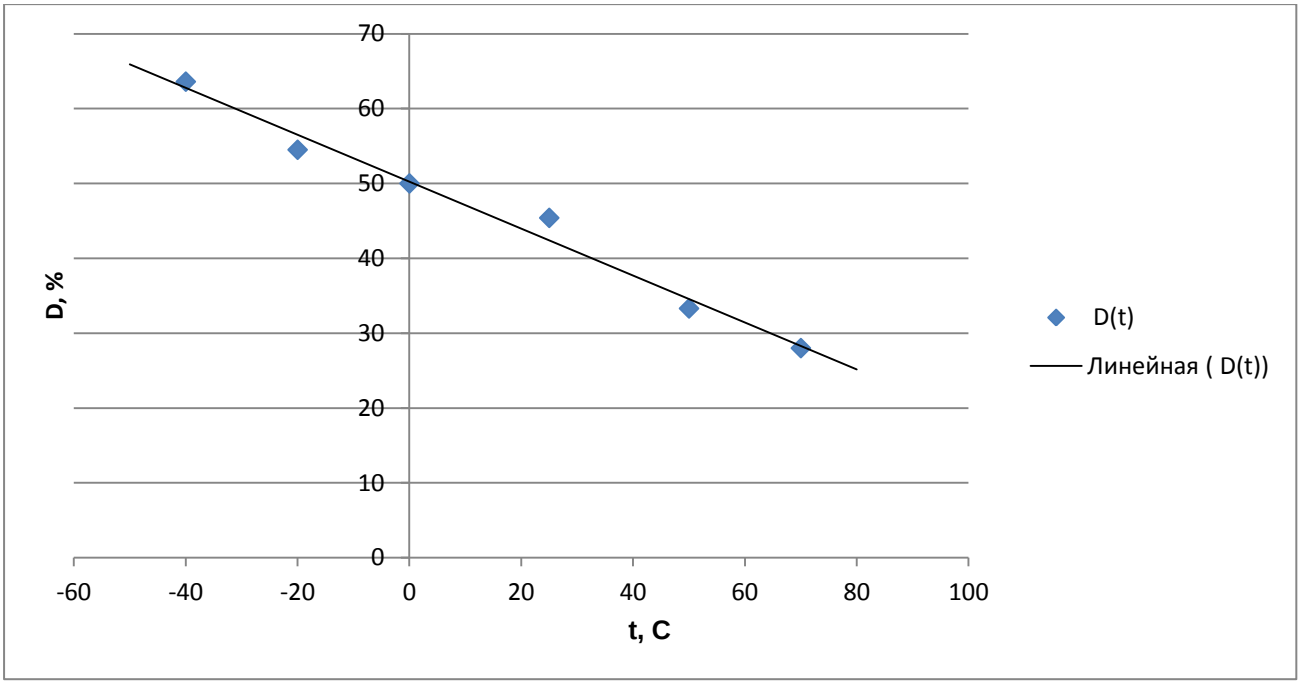


Рисунок 30 – Зависимость коэффициента заполнения от температуры двигателя

По полученным экспериментальным данным найдем закон, описывающий зависимость коэффициента заполнения от температуры двигателя.

Уравнение прямой, проходящей через 2 точки можно найти из соотношения 6.

где $(x_1; y_1)$ и $(x_2; y_2)$ – координаты выбранных точек.

Рассмотрим точки (70; 28) и (0; 50). Подставим их в уравнение 5 и получим:

Таким образом, закон изменения коэффициента заполнения от температуры примет вид 7:

где y – коэффициент заполнения, %;

x – температура двигателя.

6 РАСЧЕТ ЗАВИСИМОСТИ КОЭФФИЦИЕНТА ЗАПОЛНЕНИЯ СИГНАЛА ТОКА ПОТРЕБЛЕНИЯ ОТ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА

Для реализации системы прогнозирования отказа двигателя экспериментально получим зависимость коэффициента заполнения сигнала тока потребления от крутящего момента. Эксперимент проводится на стенде моментметре. Его внешний вид с закрепленным на нем двигателе представлен на рисунке 31.

Рисунок 31 – Моментметр с закрепленным на нем электродвигателем

Эксперимент проводился при скорости вращения вала двигателя ω_1=2000 об/мин и ω_2=4000 об/мин. Крутящий момент изменяем последовательно от 0,02 кгс*м до 0,12 кгс*м. Выходные сигналы тока потребления при различных крутящих моментах представлены на рисунках 32 – 44. Коэффициент заполнения рассчитаем по формуле 5. Сигнал тока потребления снимается с помощью осциллографа с сорок четвертого гнезда розетки XS1.6.

6.1 Расчет зависимости коэффициента заполнения от крутящего момента при ω_1 =2000

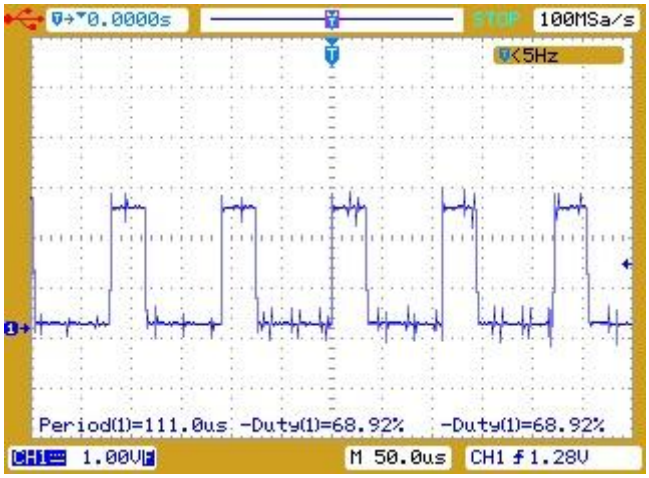


Рисунок 32 – ШИМ сигнал с гнезда А44 розетки XS1.6 при ω =2000 и M=0,02 кгс*м

Рассчитаем коэффициент заполнения ШИМ сигнала, представленного на рисунке 32.

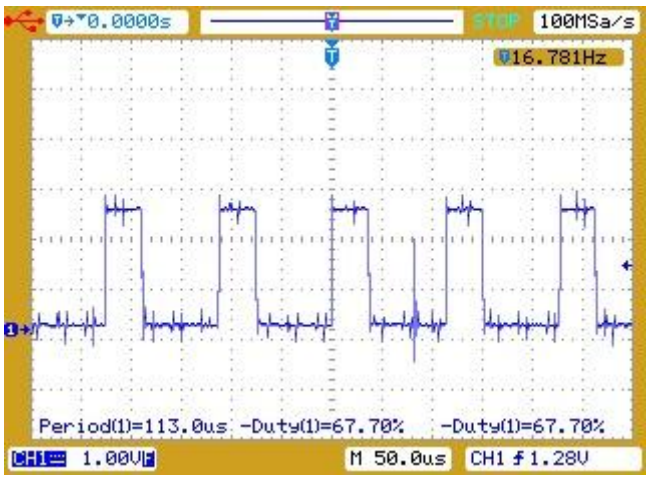


Рисунок 33 – ШИМ сигнал с гнезда А44 розетки XS1.6 при ω =2000 и M=0,04 кгс*м

Рассчитаем коэффициент заполнения ШИМ сигнала, представленного на рисунке 33.

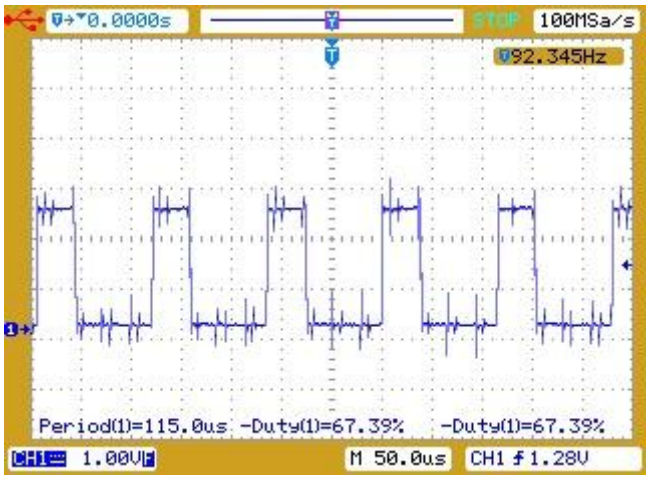


Рисунок 34 – ШИМ сигнал с гнезда А44 розетки XS1.6 при ω =2000 и M=0,06 кгс*м

Рассчитаем коэффициент заполнения ШИМ сигнала, представленного на рисунке 34.

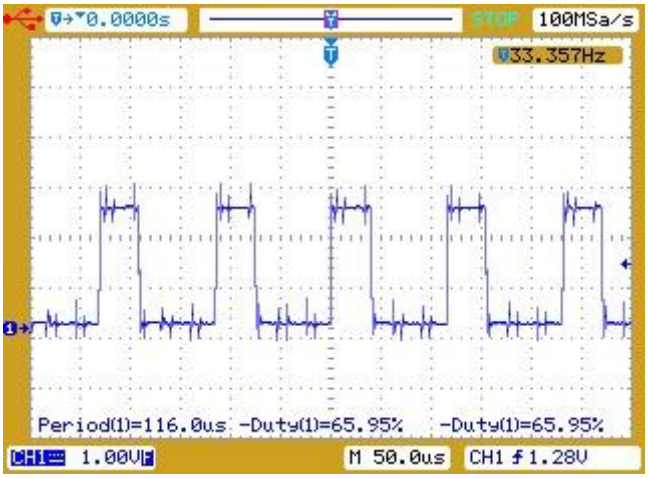


Рисунок 35 – ШИМ сигнал с гнезда А44 розетки XS1.6 при ω =2000 и M=0,08 кгс*м

Рассчитаем коэффициент заполнения ШИМ сигнала, представленного на рисунке 35.

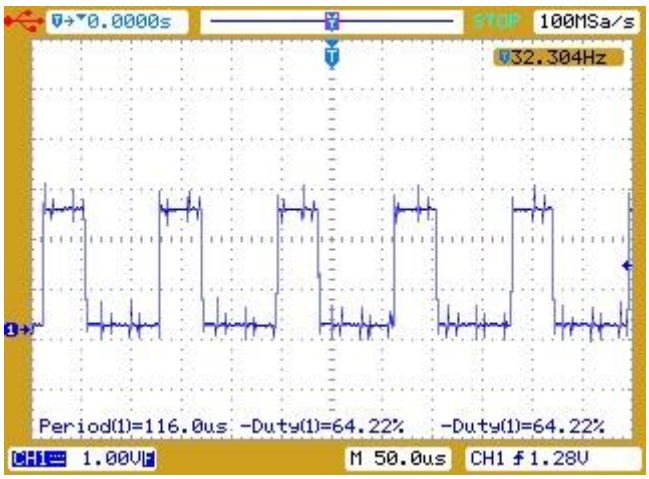


Рисунок 36 – ШИМ сигнал с гнезда А44 розетки XS1.6 при ω =2000 и M=0,1 кгс*м

Рассчитаем коэффициент заполнения ШИМ сигнала, представленного на рисунке 36.

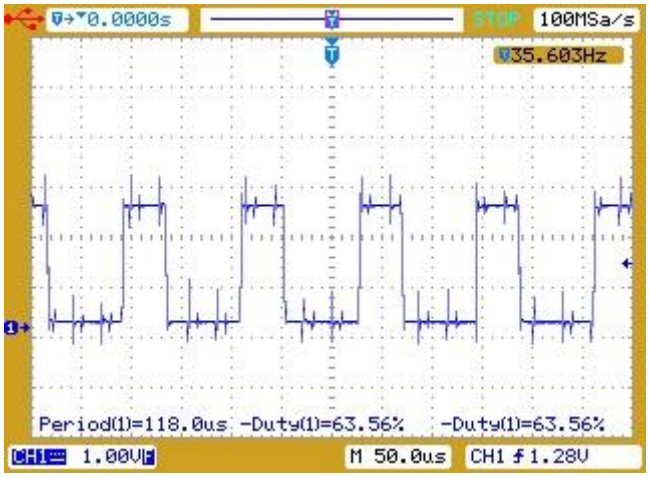


Рисунок 37 – ШИМ сигнал с гнезда А44 розетки XS1.6 при ω =2000 и M=0,12 кгс*м

Рассчитаем коэффициент заполнения ШИМ сигнала, представленного на рисунке 37.

6.2 Расчет зависимости коэффициента заполнения от крутящего момента при ω_2 =4000

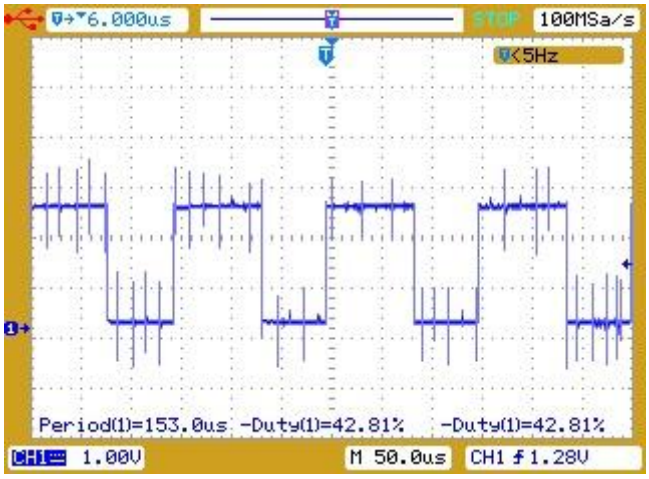


Рисунок 38 – ШИМ сигнал с гнезда А44 розетки XS1.6 при ω =4000 и M=0,02 кгс*м

Рассчитаем коэффициент заполнения ШИМ сигнала, представленного на рисунке 38.

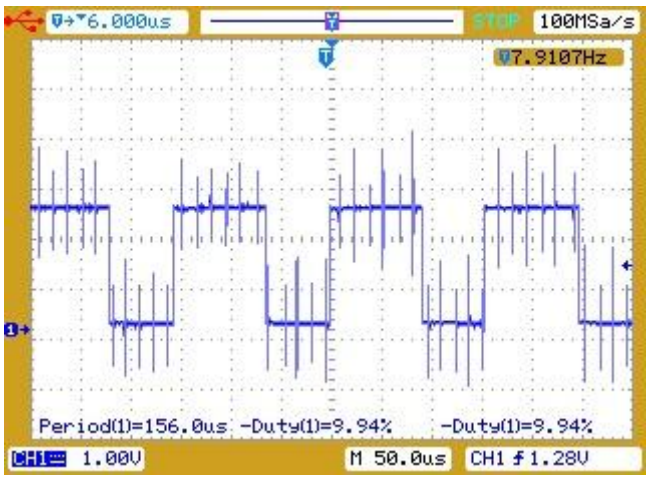


Рисунок 39 – ШИМ сигнал с гнезда А44 розетки XS1.6 при ω =4000 и M=0,04 кгс*м

Рассчитаем коэффициент заполнения ШИМ сигнала, представленного на рисунке 39.

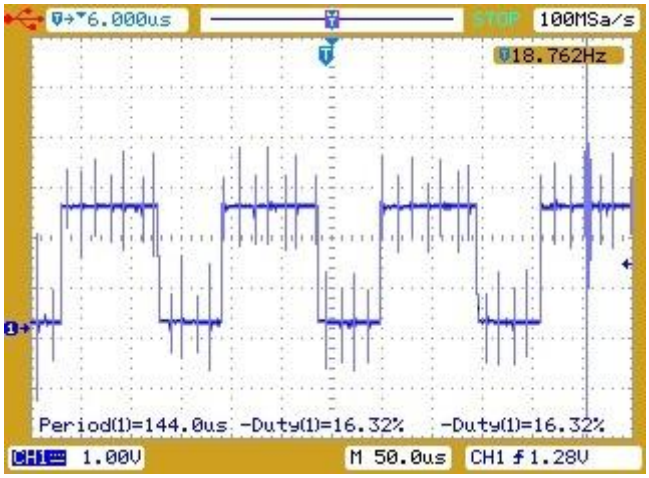


Рисунок 40 – ШИМ сигнал с гнезда А44 розетки XS1.6 при ω =4000 и M=0,06 кгс*м

Рассчитаем коэффициент заполнения ШИМ сигнала, представленного на рисунке 40.

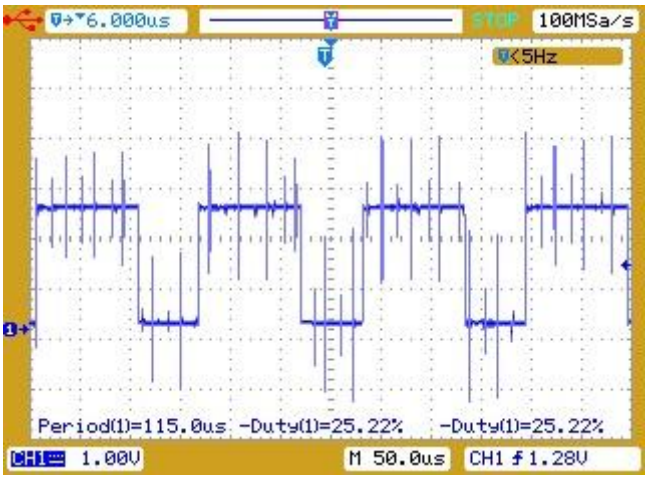


Рисунок 41 – ШИМ сигнал с гнезда А44 розетки XS1.6 при ω =4000 и M=0,08 кгс*м

Рассчитаем коэффициент заполнения ШИМ сигнала, представленного на рисунке 41.

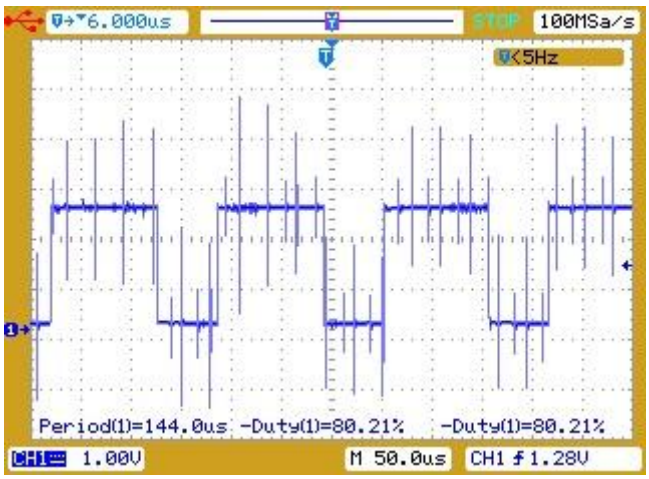


Рисунок 42 – ШИМ сигнал с гнезда А44 розетки XS1.6 при ω =4000 и M=0,1 кгс*м

Рассчитаем коэффициент заполнения ШИМ сигнала, представленного на рисунке 42.

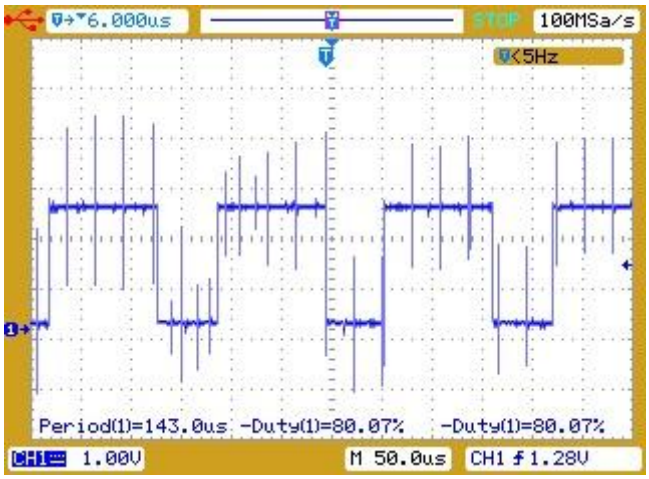


Рисунок 43 – ШИМ сигнал с гнезда А44 розетки XS1.6 при ω =4000 и M=0,12 кгс*м

Рассчитаем коэффициент заполнения ШИМ сигнала, представленного на рисунке 43.

Внесем полученные данные в таблицу 11.

Таблица 11 – Зависимость коэффициента заполнения сигнала тока потребления от крутящего момента

	ω_1 =2000 об/мин		ω_2 =4000 об/мин	
M, кгс*м	$I_{пт}$, A	D, %	$I_{пт}$, A	D, %
0,02	2,5	28,8	5,3	58,8
0,04	4,6	31	8,5	59,6
0,06	6,5	33,9	12	60,3
0,08	8	34,5	15,5	62,5
0,1	10	37,1	20	66,6
0,12	12,5	38,1	23,5	70,5

По полученным значениям получим графики зависимостей коэффициента заполнения от крутящего момента, представленные на рисунке 44.

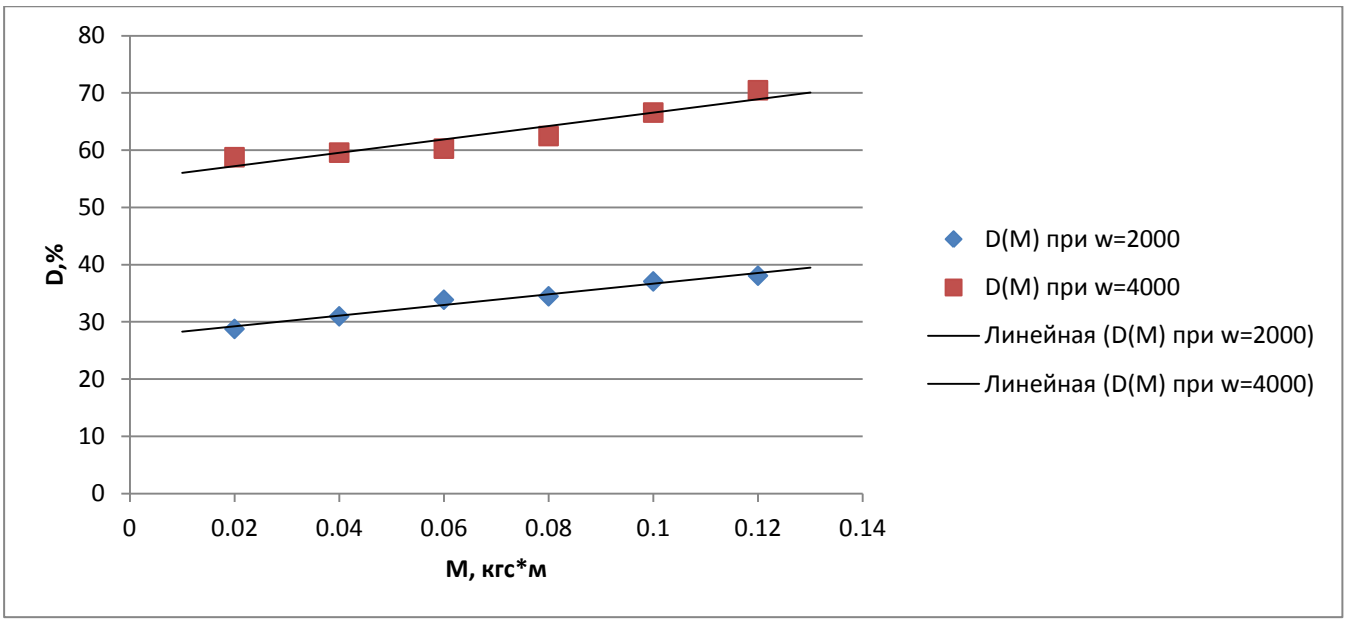


Рисунок 44 – Графики зависимостей коэффициента заполнения от крутящего момента

На основании полученных зависимостей в дальнейшем будет произведена доработка программно–аппаратной части, которая будет осуществлять блокировку работы двигателя и оповещения оператора о выходе значения тока потребления за границы, в которых двигатель функционирует в штатном режиме.

7 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ В ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОМ РЕЖИМЕ

Эксперимент будет проводится на ранее использованном стенде–моментре. Установим крутящий момент равный номинальному режиму работы М=0,12 кгс*м, что эквивалентно 1,2 Н*м. Число оборотов примем равным ω =4 000 об/мин.

В начальный момент времени температура двигателя равна 25^0С.

Используя ранее полученный закон (7) изменения коэффициента заполнения от температуры определим внутреннюю температуру двигателя в каждый момент времени. Сигнал внутренней температуры снимается с помощью осциллографа с сорок третьего гнезда розетки XS1.6. Коэффициент заполнения рассчитаем по формуле 5. Полученные осциллограммы представлены на рисунках 45–50.

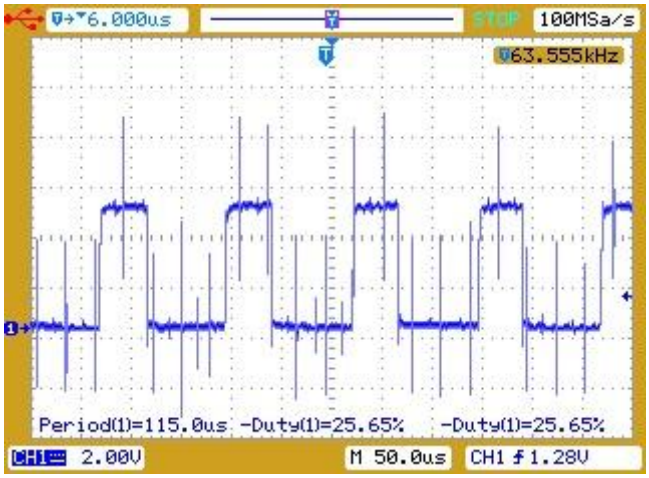


Рисунок 45 – ШИМ сигнал с гнезда А43 розетки XS1.6 после 5 минут работы двигателя

Рассчитаем коэффициент заполнения ШИМ сигнала, представленного на рисунке 45.

Чтобы найти температуру двигателя, подставим полученное значение в уравнение 7:

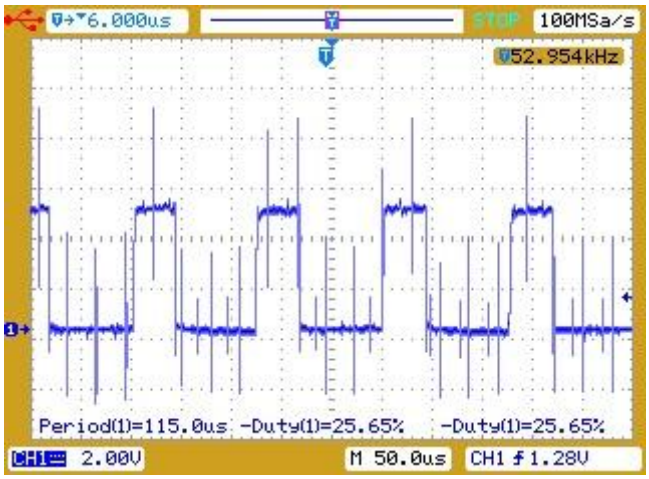


Рисунок 46 – ШИМ сигнал с гнезда A43 XS1.6 после 10 минут работы двигателя

Рассчитаем коэффициент заполнения ШИМ сигнала, представленного на рисунке 46.

Чтобы найти температуру двигателя, подставим полученное значение в уравнение 7:

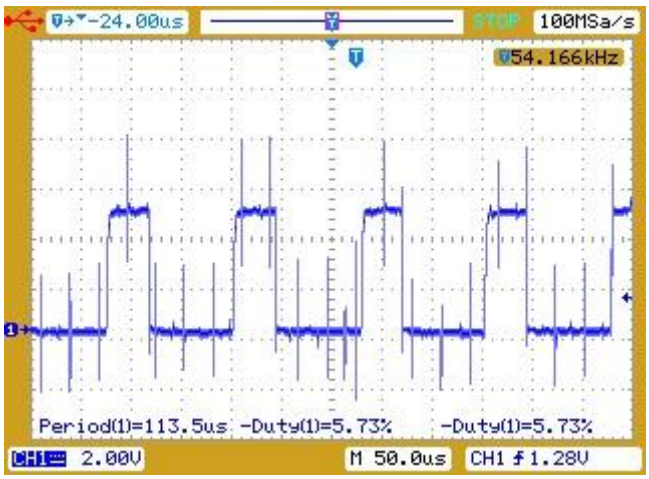


Рисунок 47 – ШИМ сигнал с гнезда A43 XS1.6 после 15 минут работы двигателя

Рассчитаем коэффициент заполнения ШИМ сигнала, представленного на рисунке 47.

Чтобы найти температуру двигателя, подставим полученное значение в уравнение 7:

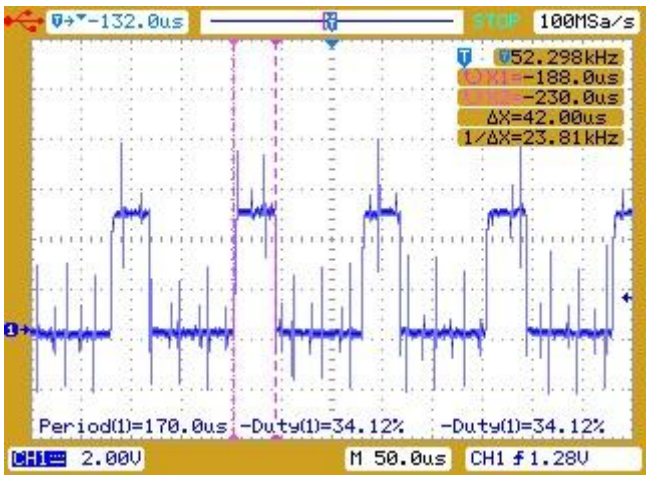


Рисунок 48 – ШИМ сигнал с гнезда A43 XS1.6 после 25 минут работы двигателя

Рассчитаем коэффициент заполнения ШИМ сигнала, представленного на рисунке 48.

Чтобы найти температуру двигателя, подставим полученное значение в уравнение 7:

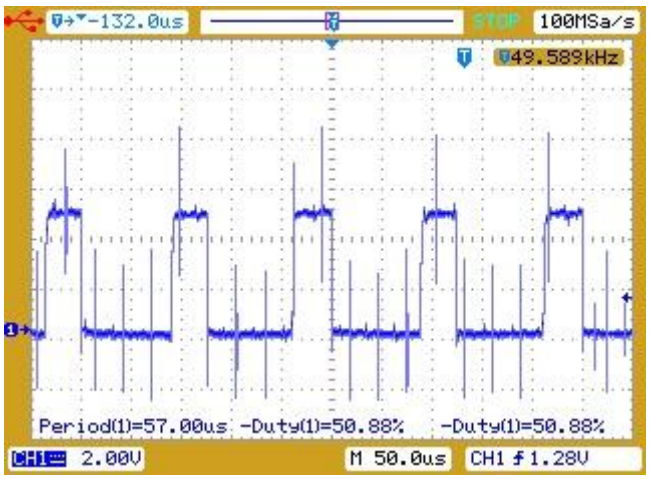


Рисунок 49 – ШИМ сигнал с гнезда A43 XS1.6 после 30 минут работы двигателя

Рассчитаем коэффициент заполнения ШИМ сигнала, представленного на рисунке 49.

Чтобы найти температуру двигателя, подставим полученное значение в уравнение 7:

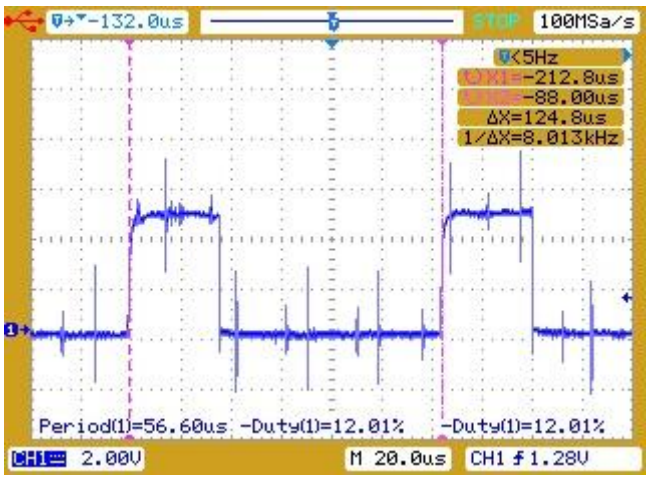


Рисунок 50 – ШИМ сигнал с гнезда A43 XS1.6 после 35 минут работы двигателя

Рассчитаем коэффициент заполнения ШИМ сигнала, представленного на рисунке 50.

Чтобы найти температуру двигателя, подставим полученное значение в уравнение 7:

Внесем полученные данные в таблицу 12.

Таблица 12 – Зависимость температуры двигателя от времени работы

t, ^{0}C	25	45,1	49,6	58	63,5	65,8	70,3	70,5	70,7	70,8
T, мин	0	5	10	15	25	30	35	40	45	55

По полученным данным построим зависимость температуры двигателя от времени работы. График приведен на рисунке 51.

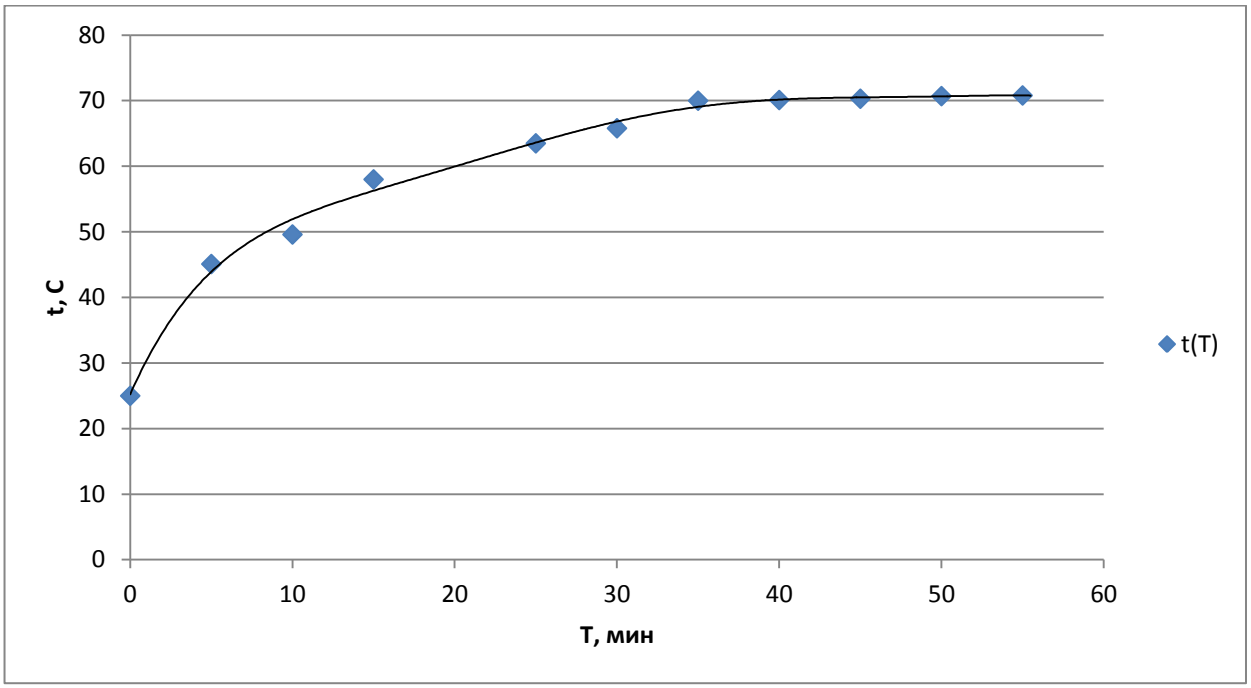


Рисунок 51 – Зависимость температуры от времени работы двигателя

Исходя из полученных результатов можно сделать вывод, что вентильный двигатель ЭДБ800, рассчитанный на повторно-кратковременный режим работы со временем включения не более 4.4 с может работать в длительном режиме. За 35 минут температура двигателя достигла 70 ^{0}C и в дальнейшем изменялась не значительно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По итогу выполнения магистерской выпускной квалификационной работы получены следующие результаты:

1. Был проведен анализ современных ленточных конвейеров, областей их применения; закреплены знания в области вентильных двигателей;
2. Разработано устройство управления вращающимся транспортером;
3. Для расчета коэффициента пересчета по температуре были проведены климатические испытания двигателя при различных температурах (-65^{0}С, -40^{0}С, -20^{0}С, 0^{0}С, НКУ, +50^{0}С, +70^{0}С), не выходящие за границы, которые указаны в техническом условии (-65^{0}С – +70^{0}С). По полученным осциллограммам сигнала обратной связи по температуре был рассчитан коэффициент заполнения для каждого случая и рассчитана зависимость коэффициента заполнения от температуры двигателя;
4. Так как в двигателе отсутствуют механизмы защиты от его выхода из строя, для прогнозирования отказов была экспериментально получена зависимость коэффициента заполнения выходного сигнала обратной связи по току потребления от крутящего момента. В дальнейшем на основе этой зависимости будет доработана программно–аппаратная часть, которая будет осуществлять блокировку пуска двигателя и оповещения оператора о выходе значения тока потребления за границы, в которых двигатель работает в штатном режиме.
5. На стенде-имитаторе вращающегося транспортера экспериментально была получена зависимость внутренней температуры от времени работы двигателя. В ходе эксперимента в реальном времени с помощью осциллографа снимались сигналы обратной связи по температуре, по которым высчитывался коэффициент заполнения. Полученные значения подставлялись в ранее полученную зависимость температуры двигателя от коэффициента заполнения. Было обнаружено, что спустя 35 минут

непрерывной работы внутренняя температура двигателя выходит на значение 61^0С и в дальнейшем повышается незначительно. На основании этого можно сделать вывод, что двигатель ЭДБ800 можно использовать в длительном режиме работы.

Дальнейшая работа в данной области предусматривает разработку и внедрение алгоритмов, направленных на остановку двигателя при выходе значений внутренней температуры и тока потребления за установленные пределы, а так же на выявление неисправностей исполнительных механизмов самого двигателя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бибиков, П.Я. Установление рационального типа и параметров механических очистных устройств ленточных конвейеров горных предприятий по переработке нерудного сырья / П.Я. Бибиков. – М.: Изд-во МГГУ, 2002. – 229 с.
2. Дмитриев, В.Г. Насыпные грузы на движущейся конвейерной ленте / В.Г. Дмитриев, В.П. Дунаев. – М.: Изд-во Недра, 1980. – 45 с.
3. Анурьев, В.И. Справочник конструктора – машиностроителя / В.И. Анурьев. – М.: Изд-во Машиностроение, 1979. – 1846 с.
4. Беляев, Л.А. Тепловые электрические станции / Л.А. Беляев, А.С. Заворин, Т.С. Тайлашева. – Томск: Изд-во НИТПУ, 2011 – 347 с.
5. Вайсон, А.А. Подъемно-транспортные машины / А.А. Вайсон. – М.:Изд-во Машиностроение, 1989. – 536 с.
6. Галкин, В.И. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий / В.И. Галкин, В.Г. Дмитриев, В.П. Дьяченко, И.В. Запенин. – М.: Изд-во МГГУ, 2005. – 526 с.
7. Зенков, Р.Л. Конвейеры большой мощности / Р.Л. Зенков, М.М. Петров. – М.: Изд-во Машиностроение, 1964. – 428 с.
8. Шешко, Е.Е. Крутонаклонный конвейер с лентой, имеющий форму глубокого желоба / Е.Е. Шешко. – М.: Изд-во Недра, 1973. – 256 с.
9. Пертен, Ю.А. Крутонаклонные ленточные конвейеры / Ю.А. Пертен. — М.: Изд-во Машиностроение, 1976. – 256 с.
10. Wallace A.K. The effects of motor parameters on the performance of brushless DC drives / A.K Wallace, R. Spee. – Conference Record, IEEE Power Electronics Specialists Conference, 1987.
11. Gottlieb, I. Electric Motors and Control Techniques 2nd Edition / I. Gottlieb. – USA: CRC Press, 1994. – 304 p.

12. Hughes, A. Electric Motors and Drives: Fundamentals, Types and Applications, 4th Edition / A. Hughes, W. Drury. – USA: Newnes,2006. – 431 p.
13. Кожушко, Г.Г. Расчет и проектирование ленточных конвейеров/ Г.Г. Кожушко, О.А. Лукашук. – Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2016. – 232 с.
14. Шахмейстер, Л.Г. Теория и расчет ленточных конвейеров / Л.Г. Шахмейстер, В.Г. Дмитриев. –М.: Изд-во Машиностроение, 1987. – 336 с.
15. Кузьмин, А.В. Справочник по расчетам механизмов подъемно–транспортных машин / А.В. Кузьмин, Ф.Л. Марон. – Минск: Изд-во Высшая школа, 1987. – 432 с.
16. Jacek, F. Permanent magnet motor technology: design and applications / F. Jacek, M. Wing. – USA: CRC Press, 2002. – 616 p.
17. Хрущев, В.В. Электрические машины систем автоматики / В.В. Хрущев. – СПб.: Изд–во Энергоатомиздат, 1985. – 359 с.
18. Бычков, В.П. Электропривод и автоматизация металлургического производства / В.П. Бычков. – М.: Изд-во Высшая школа, 1977. – 477 с.
19. Соколов, М.М. Автоматизированный электропривод общепромышленных механизмов / М.М. Соколов. – М.: Изд-во Энергия, 1976. – 488 с.
20. Awadallah M. A. Diagnosis of stator short circuits in brushless DC motors by monitoring phase voltages / M. A. Awadallah, M. M. Morcos. – IEEE Transactions on Energy Conversion, 20(1), 246–247, 2005.
21. Адкинс, Б. Общая теория электрических машин / Б. Адкинс. – СПб.: Изд–во Госэнергоиздат, 1960. – 272 с.
22. Вешеневский, С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе / С.Н. Вешеневский. – М.: Изд–во Энергия, 1974. – 168 с.
23. Башарин, С.А. Теоритические основы электротехники: теория электрических цепей и электромагнитного поля / С.А. Башарин, В.В. Федоров. – М.: Изд–во Академия, 2004. – 304 с.

24. Rajagopalan, s. Detection of rotor faults in brushless DC motors operating under nonstationary conditions / S. Rajagopalan, J. M. Aller, J. A. Restrepo. – IEEE Transactions on Industry Applications, 42(6), 1464–1477, 2006.
25. Bolton, H.R. Influence of motor design and feed–current waveform on torque ripple in brushless DC drives / H. R. Bolton, R. A. Ashen. – IEE Proceedings B (Electric Power Applications), 131(3), 82–90, 1984.
26. Терехов, В.М. Системы управления электроприводов / В.М. Терехов, О.И. Осипов. – М.: Изд–во Академия, 2008. – 272 с.
27. Чиликин, М.Г. Общий курс электропривода: Учебник для вузов / М.Г. Чиликин, А.С. Сандлер – 6–е изд. – М.: Изд–во Энергоиздат, 1981. – 512 с.
28. Ключев, В.И. Электропривод и автоматизация общепромышленных процессов / В.И. Ключев. – М.: Изд–во Энергия, 1980. – 247 с.
29. Krishnan, R. Permanent Magnet Synchronous and Brushless DC Motor Drives / R. Krishnan. – USA: CRC Press, 2009. – 611 p.
30. Башарин, С.А. Теоритические основы электротехники: теория электрических цепей и электромагнитного поля / С.А. Башарин, В.В. Федоров. – М.: Изд–во Академия, 2004. – 304 с.
31. Hung, J. Y. Design of currents to reduce torque ripple in brushless permanent magnet motors / J. Y. Hung, Z. Ding. – IEE Proceedings B (Electric Power Applications), 140(4), 260–266, 1993.
32. Rowan, T.M. New synchronous current regulator and analysis of current–regulated PWM inverters / T.M Rowan, R.J. Kerkman // IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. IA–22. No. 4. P. 678 — 690.
33. Кузьмицкий Е.В. Особенности работы вентильногодвигателя в тяговом электроприводе / Е.В. Кузьмицкий, В.В. Лохнин, И.А. Бербиренков // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2012. – Вып. 6. – С. 141–145.
34. Воронин, С.Г. Управляемый электропривод / С.Г. Воронин. – Челябинск: Изд-во ЧГТУ, 1996. – 65 с.

35. Корытин, А.М. Автоматизация типовых технологических процессов и установок / А.М. Корытин, Н.К. Петров, С.Н. Радимов. – М.: Изд–во Энергоатомиздат, 1988. – 542 с.
36. Лебедев, Н.И Вентильные электрические машины / Н.И. Лебедев. – М.: Изд-во Наука, 1996. – 350 с.
37. Бербиренков, И.А. Обеспечение устойчивой работы тяговых вентильных электроприводов на низких частотах вращения: автореферат дис. … канд. техн. наук / И.А. Бербиренков. – М.: Изд-во МГТУ, 2011 – 20 с.
38. Овсянников, Е.М. Тяговые электроприводы и устройства энергообеспечения автотранспортных средств / Е.М. Овсянников. – М.: Изд-во Палеотип, 2009 – 244 с.
39. Белов, М.П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов / М.П. Белов, В.А. Новиков, Л.Н. Рассудов. – М.: Изд–во Академия, 2007. – 576 с.
40. Герасимов, В.Г. Электротехника и электроника. Кн. 2. Электромагнитные устройства и электрические машины / В. Г. Герасимов, Э. В. Кузнецов, О. В. Николаева. – М.: Изд–во Энергоатомиздат, 1996. — 254 с.
41. Капуцинов, Ю.Д. Электрооборудование и электропривод промышленных установок / Ю.Д. Капуцинов, В.А. Елисеев, Л.А. Ильяшенко. – М.: Изд–во высшая школа, 1979. – 318 с.
42. Терехов, В.М. Системы управления электроприводов: учебник для студ. высш. учеб. Заведений / В.М.Терехов, О.И.Осипов. – М.: Изд–во Академия, 2005. – 304 с.
43. Беленький, Ю.М. Опыт разработки и применения бесконтактных моментных приводов / Ю.М. Беленький, Г.С. Зеленков, А.Г.Микеров. – СПб: Изд–во ЛДНТП, 1987. – 27 с.
44. Столов, Л.И. Моментные двигатели постоянного тока / Л.И. Столов, А. Ю. Афанасьев. – М.: Изд–во Энергоатомиздат, 1989. – 246 с.

45. Гетлинг, Б.В. Чтение схем и чертежей / Б. В. Гетлинг. – М.: Изд-во Высшая школа, 1980. – 120 с.
46. Рекус, Г.Г. Электрооборудование производств / Г.Г. Рекус. – М.: Изд-во Высшая школа, 2007. – 709 с.
47. Hanselman, D. Brushless motors: magnetic design, performance, and control of brushless dc and permanent magnet synchronous motors / D. Hanselman. – USA: CRC Press, 2006. – 411 p.
48. Браммер, Ю. Импульсная техника / Ю. Браммер, И. Пащук. – М.: Изд-во Форум, 2009. – 208 с.
49. Коськин, Ю.П. / Электромеханотроника. Основные особенности и современное состояние / Ю.П. Коськин, А.Г. Микеров // Робототехника и мехатроника. – 1996. – Вып.1. – С. 126 — 133.
50. Алексеева, М.М. Машинные генераторы повышенной частоты / М.М. Алексеева. – Л.: Изд-во Энергия, 1967. – 344 с
51. Аракелян, А.К. Вентильные электрические машины и регулируемый электропривод / А.К. Аракелян, А.А. Афанасьев. – М.: Изд-во Высшая школа, 2006. – 520 с.
52. Viorel I.–A. Modular hybrid linear and surface stepper motors / I.–A. Viorel, L. Szabo, J. B. Dobai // Department of electrical machines, marketing and management. Technical University of Cluj–Napoca. 2003.
53. Stefanovic V.R. Present Trends in Variable Speed AC Drives // Int. Pow. Elec. Conf. IPEC Tokyo. 1983., P. 438 — 449.
54. Horowitz, P. The Art of Electronics 3rd Edition / P. Horowitz, W. Hill. – GB: Cambridge University Press,2015. – 502 p.
55. Алексеев, К.Б. Микроконтроллерное управление электроприводом / К.Б. Алексеев. – М.: Изд–во МГИУ, 2008. – 298 с.
56. Столов, Л.И. Моментные двигатели постоянного тока / Л.И. Столов, А. Ю. Афанасьев. – М.: Изд–во Энергоатомиздат, 1989. – 246 с.

57. Цыпкин, Я.З Теория импульсных систем / Я.З. Цыпкин. – М.: Изд–во физико-математической литературы, 1958. –724 с.
58. Петрович, А.Н. Генерирование и преобразование электрических импульсов / А.Н. Петрович. – М.: Изд-во Сов. радио, 1954. – 345 с.
59. Яковлев, В.Н. Справочник по радиоэлектронным устройствам / В.Н. Яковлев. – Киев: Изд-во Техника, 1970. – 289 с.
60. Сергиенко, А.Б. Цифровая обработка сигналов / А.Б. Сергиенко. – СПб.: Изд-во БХВ-Петербург, 2011. – 768 с.
61. Зенина, Е.Г. Исследование асинхронных двигателей с короткозамкнутым и фазным ротором / Е.Г. Зенина, Г.А. Леонтьев. – Волгоград: Изд-во ВГТУ, 2000, – 208 с.
62. Свидченко, С.С. Обнаружение импульсного сигнала с неизвестными временными параметрами при наличии мультипликативных и аддитивных искажений / С.С. Свидченко // Технологии информационного общества. – 2013. – Вып. 2. – №3. – С. 1 – 5.
63. Микеров, А.Г. Управляемые вентильные двигатели малой мощности: учебное пособие / А.Г. Микеров. – СПб.:ГЭТУ, 1997. – 208 с.
64. Брускин, Д.Э. Электрические машины и микромашины / Д.Э. Брускин, М.А. Зайков, В.П. Наний. – М.: Изд–во Высшая школа, 1971. – 432 с.
65. Майоров, С.А. / Введение в микроЭВМ / С.А, Майоров, В.В. Кириллов. – СПб.:Изд-во Машиностроение, 1988. – 303 с.
66. Басманов, А.С. Микропроцессоры и однокристальные микроЭВМ: Номенклатура и функциональные возможности / А.С. Басманов, Ю.Ф. Широков. – М.: Изд-во Энергоатомиздат, 1988. – 127 с.
67. Артюхов, В.Г Проектирование микропроцессорной электронно–вычислительной аппаратуры / В.Г Артюхов, А.А. Будняк, В.Ю. Лапий. – К.: Изд-во Техника, 1988. – 263 с.
68. Джозеф, Ю. Ядро Cortex - M3 компании ARM. Полное руководство / Ю. Джозеф. – М.: Изд-во Додэка XXI, 2015. – 552 с.

69. Клингман, Э Проектирование специализированных микропроцессорных систем / Э. Клингман. – М.: Изд-во Мир год, 1985. –360 с.
70. Микушин, А.В. Цифровые устройства и микропроцессоры / А.В. Микушин, А.М. Сажнев, В.И. Сединин. – СПб:Изд-во БВХ-Петербург, 2015. –258 с.
71. Алексеев, В.Н. Микропроцессорные средства производственных систем / В.Н. Алексеев, А.М. Коновалов, В.Г. Колосов. – Л.: Изд-во Машиностроение, 1988. –287 с.
72. Шило, В.Л. Популярные цифровые микросхемы / В.Л. Шило. – М.:Изд-во Радио и связь, 1987. – 352 с.
73. Слепов, Н.Н. Широтно-импульсная модуляция / Н.Н. Слепов, Б.В. Дроздов. – М.: Изд-во Энергия, 1978. – 192 с.
74. ГОСТ 2.104 –2006. Единая система конструкторской документации (ЕСКД) Основные надписи. – М.: Стандартинформ, 2011. – 11 с.
75. ГОСТ 2.701 – 84. Единая система конструкторской документации (ЕСКД) Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению. – М.: Стандартинформ, 2008. – 9 с.
76. ГОСТ 2.702 –2011. Единая система конструкторской документации (ЕСКД) Правила выполнения электрических схем. – М.: Стандартинформ, 2011. – 11 с.
77. ГОСТ 2.709 –86. Единая система конструкторской документации (ЕСКД) Обозначения условные проводов и контактных соединений электрических элементов, оборудования и участков цепей в электрических схемах. – М.: Стандартинформ, 2008. – 11 с.
78. ГОСТ 2.723 –68. Единая система конструкторской документации (ЕСКД) Обозначения условные графические в схемах. Катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы, автотрансформаторы и магнитные усилители. – М.: Стандартинформ, 2011. – 14 с.

79. ГОСТ 2.725 – 68. Единая система конструкторской документации (ЕСКД) Обозначения условные графические в схемах. Устройства коммутирующиеи. – М.: Стандартинформ, 2010. – 6 с.
80. ГОСТ 2.728 –68. Единая система конструкторской документации (ЕСКД) Обозначения условные графические в схемах. Устройства коммутирующие. – М.: Стандартинформ, 2010. – 6 с.
81. ГОСТ 2.755 – 87. Единая система конструкторской документации (ЕСКД) Обозначения условные графические в электрических схемах. Устройства коммутационные и контактные соединения. – М.: Стандартинформ, 2005. – 11 с.
82. ГОСТ 19.701–90. Единая система программной документации (ЕСКД). Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Условные обозначения и правила выполнения. – М.: Стандартинформ, 2005. – 23 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

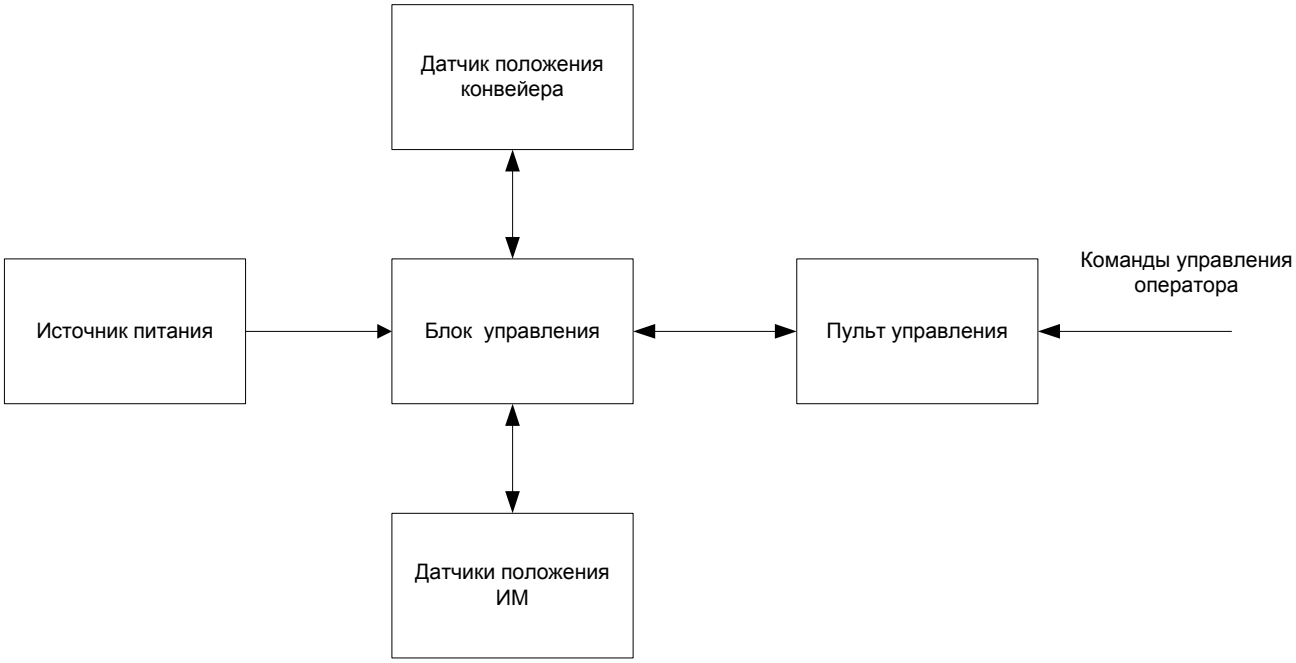
Характеристики микроконтроллеров серии 1986ВЕ9х

Таблица А.1 – Основные технические характеристики микроконтроллеров 1986ВЕ9х

	1986ВЕ94Т	1986ВЕ92У	1986ВЕ93У
Корпус	132 вывода	64 вывода	48 выводов
Ядро	ARM Cortex-M3		
ПЗУ	128 Кбайт Flash		
ОЗУ	32 Кбайт		
Питание	2,2…3,6В		
Частота	80 МГц		
Температура	Минус 60…+125^{0}С		
User IO	96	45	31
USB	Device и Host FS (до 12 Мбит/с) встроенный PHY		
UART	2	2	2
CAN	2	2	2
SPI	2	2	2
I2C	1	1	1
Компаратор	3 входа	2 входа	2 входа
Внешняя шина	32 разряда	8 разрядов	–

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Схемы и чертежи



					150404.2019.226.01.01.С1		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Структурная схема вращающегося транспортера	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Пышкин					
Пров.		Новиков				Лист	Листов 1
Т.Контр.							
Н. Контр.		Барбасова			ЮУрГУ (НИУ) Кафедра АиУ		
Утв.		Казаринов					

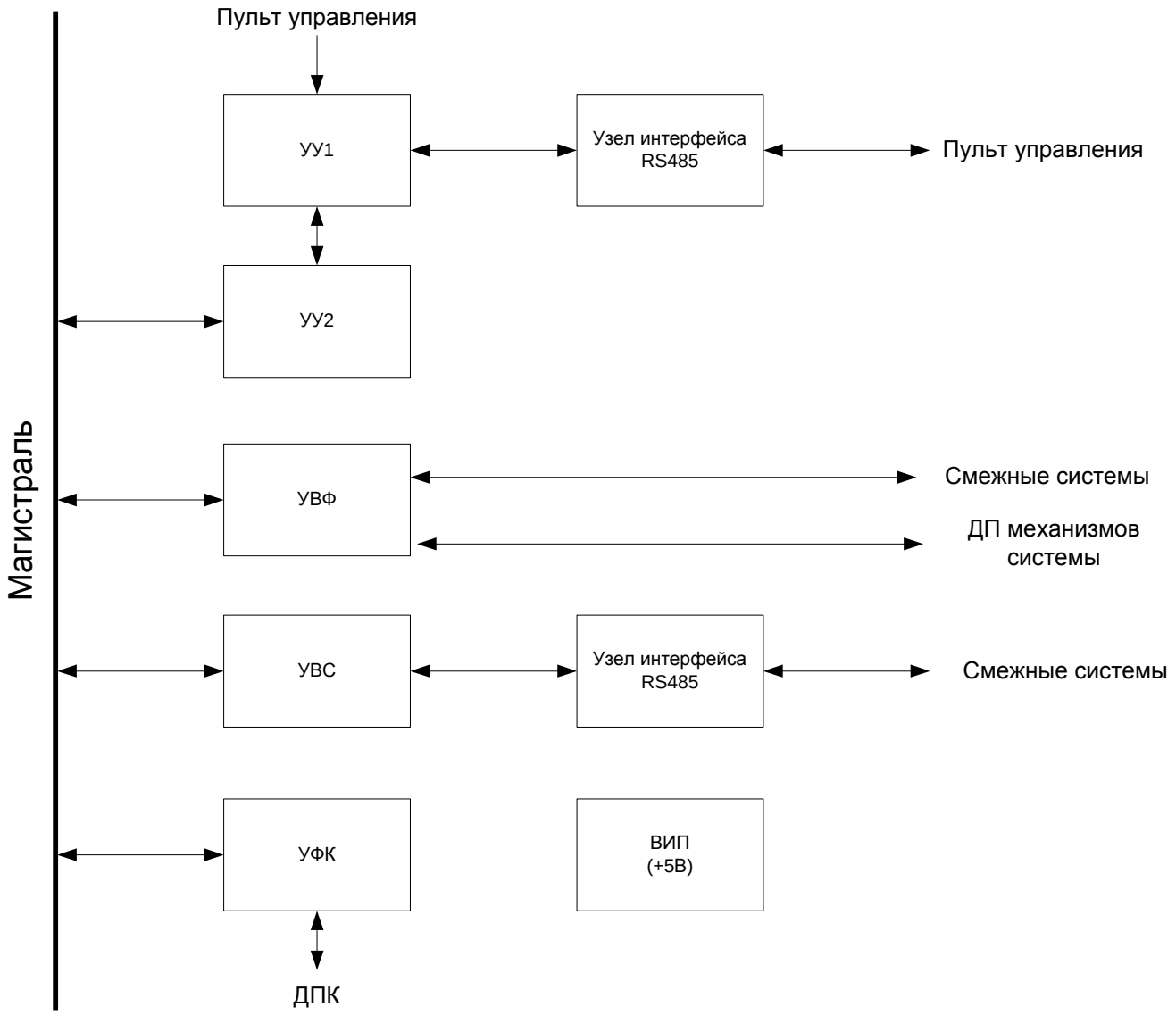
Подп. и дата

Инв.№ дубл.

Взам. инв.№

Подп. и дата

Инв. № подл.



					150404.2019.226.01.02.С1		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Структурная схема блока управления	Лит.	Масса / Масштаб
Разраб.		Пышкин					
Пров.		Новиков				Лист	Листов 1
Т.Контр.						ЮУрГУ (НИУ) Кафедра АиУ	
Н. Контр.		Барбасова					
Утв.		Казаринов					

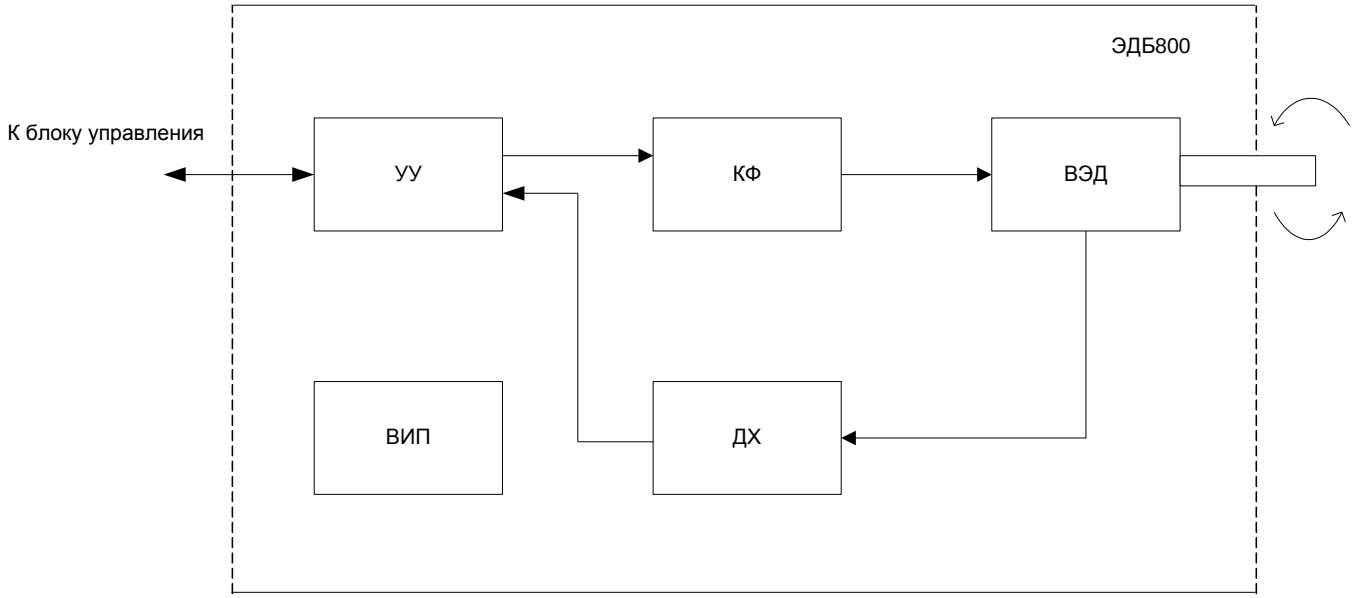
Подп. и дата

Инв.№ дубл.

Взам. инв.№

Подп. и дата

Инв. № подл.



					150404.2019.226.01.03.С1		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Вентильный двигатель ЭДБ800. Схема структурная	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Пышкин						
Пров.		Новиков						
Т.Контр.						Лист	Листов 1	
						ЮУрГУ (НИУ) Кафедра АиУ	
Н. Контр.		Барбасова					
Утв.		Казаринов					

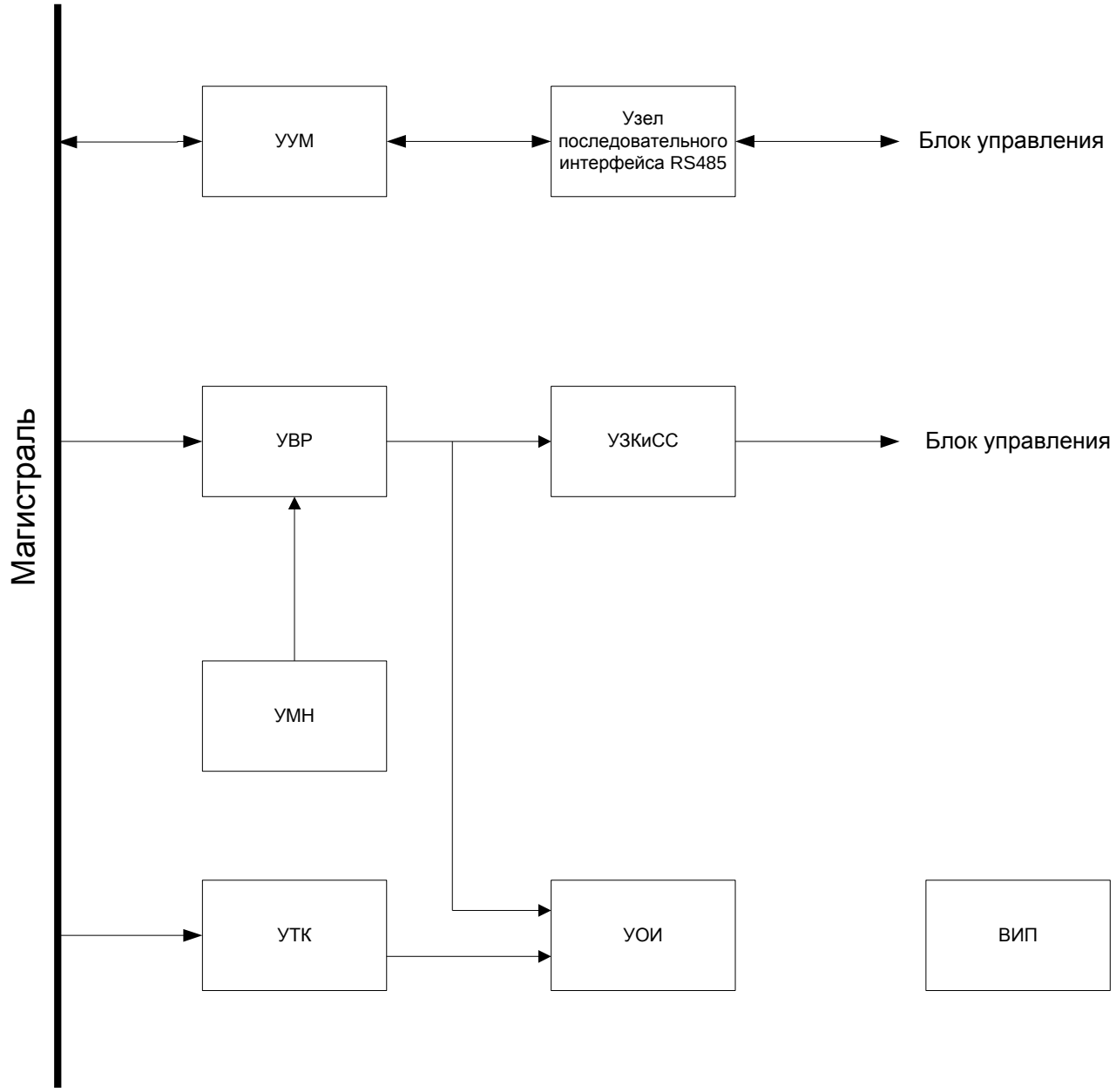
Подп. и дата

Инв.№ дубл.

Взам. инв.№

Подп. и дата

Инв. № подл.



					150404.2019.226.01.04.С1		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Пульт управления. Схема структурная	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Пышкин						
Пров.		Новиков				Лист	Листов 1
Т.Контр.						ЮУрГУ (НИУ) Кафедра АиУ	
Н. Контр.		Барбасова					
Утв.		Казаринов					

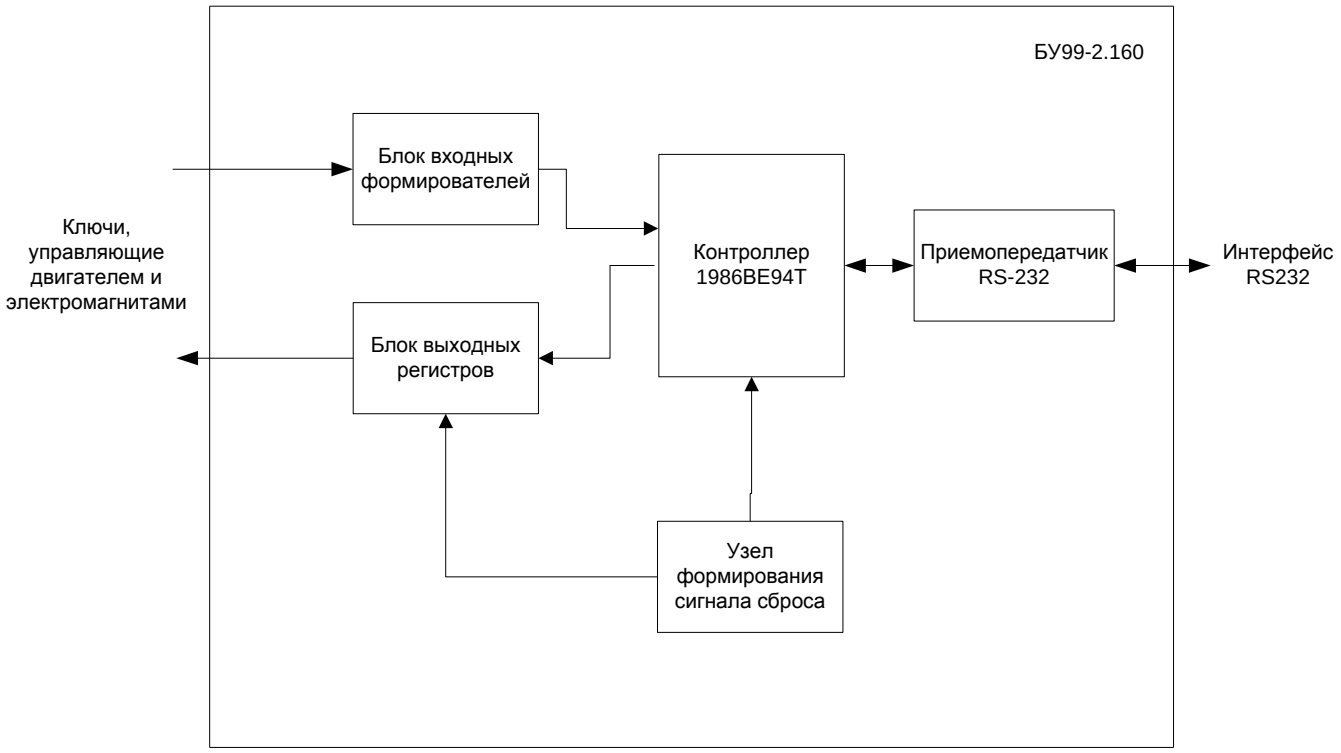
Подп. и дата

Инв.№ дубл.

Взам. инв.№

Подп. и дата

Инв. № подл.



					150404.2019.226.01.05.С1		
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Узел печатный БУ99-2.160. Схема структурная	Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.		Пышкин						
Пров.		Новиков						
Т.Контр.						Лист	Листов 1	
						ЮУрГУ (НИУ) Кафедра АиУ	
Н. Контр.		Барбасова					
Утв.		Казаринов					

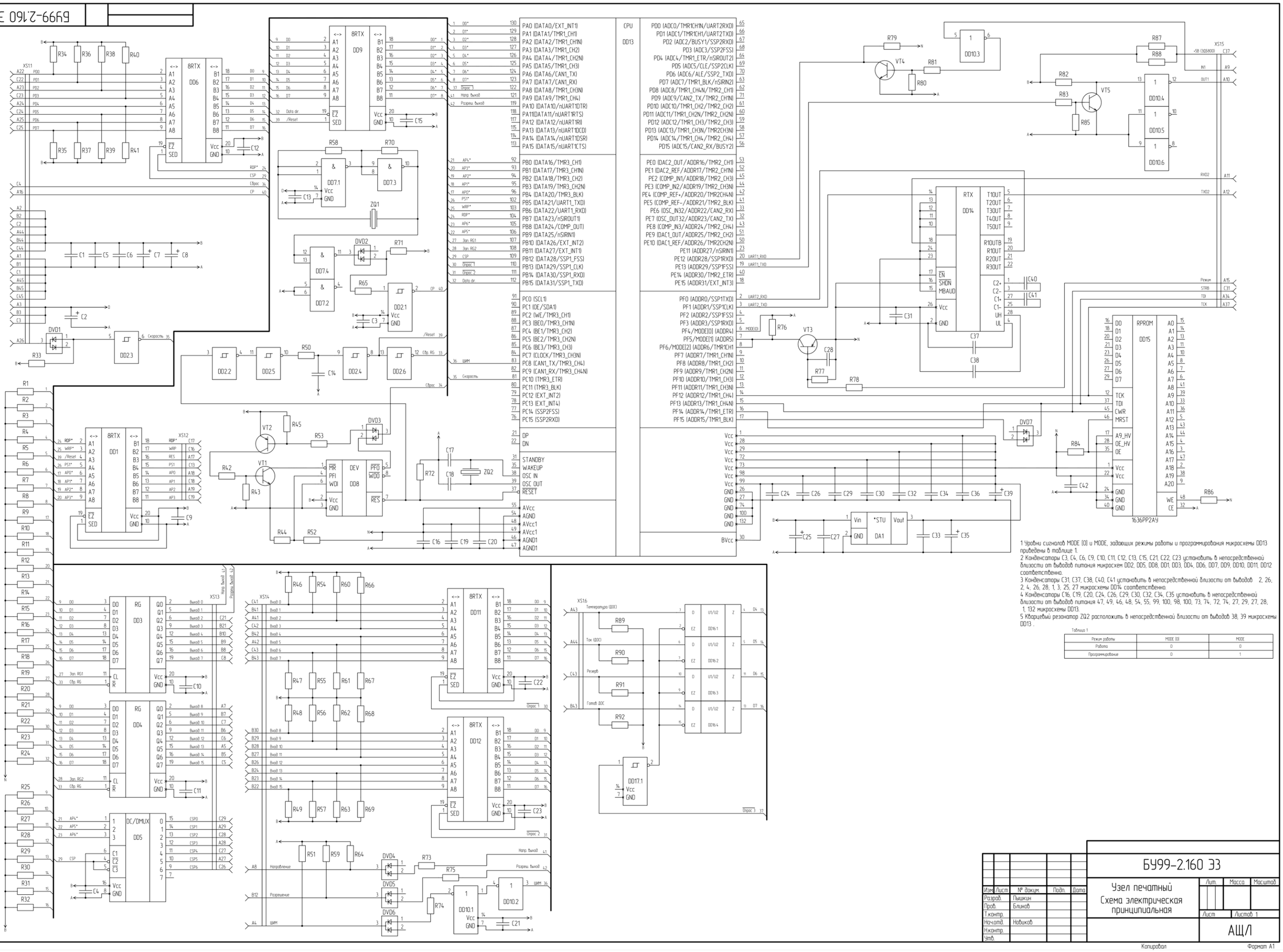
Подп. и дата

Инв.№ дубл.

Взам. инв.№

Подп. и дата

Инв. № подл.


PA0 (DATA0/EXT_INT1)
PA1 (DATA1/TMR1_CH1)
PA2 (DATA2/TMR1_CH1N)
PA3 (DATA3/TMR1_CH2)
PA4 (DATA4/TMR1_CH2N)
PA5 (DATA5/TMR1_CH3)
PA6 (DATA6/CAN1_TX)
PA7 (DATA7/CAN1_RX)
PA8 (DATA8/TMR1_CH3N)
PA9 (DATA9/TMR1_CH4)
PA10 (DATA10/nUART1DTR)
PA11(DATA11/nUART1RTS)
PA12 (DATA12/nUART1RI)
PA13 (DATA13/nUART1DCD)
PA14 (DATA14/nUART1DSR)
PA15 (DATA15/nUART1CTS)
PB0 (DATA16/TMR3_CH1)
PB1 (DATA17/TMR3_CH1N)
PB2 (DATA18/TMR3_CH2)
PB3 (DATA19/TMR3_CH2N)
PB4 (DATA20/TMR3_BLK)
PB5 (DATA21/UART1_TXD)
PB6 (DATA22/UART1_RXD)
PB7 (DATA23/nSIROUT1)
PB8 (DATA24/COMP_OUT)
PB9 (DATA25/nSIRIN1)
PB10 (DATA26/EXT_INT2)
PB11 (DATA27/EXT_INT1)
PB12 (DATA28/SSP1_FSS)
PB13 (DATA29/SSP1_CLK)
PB14 (DATA30/SSP1_RXD)
PB15 (DATA31/SSP1_TXD)
PC0 (SCL1)
PC1 (OE/SDA1)
PC2 (WE/TMR3_CH1)
PC3 (BE0/TMR3_CH1N)
PC4 (BE1/TMR3_CH2)
PC5 (BE2/TMR3_CH2N)
PC6 (BE3/TMR3_CH3)
PC7 (CLOCK/TMR3_CH3N)
PC8 (CAN1_TX/TMR3_CH4)
PC9 (CAN1_RX/TMR3_CH4N)
PC10 (TMR3_ETR)
PC11 (TMR3_BLK)
PC12 (EXT_INT2)
PC13 (EXT_INT4)
PC14 (SSP2FSS)
PC15 (SSP2RXD)
DP
DN
STANDBY
WAKEUP
OSC IN
OSC OUT
RESET
AVcc
AGND
AVcc1
AVcc1
AGND1
AGND1
CPU
DD13
PD0 (ADC0/TMR1CH1N/UART2RXD)
PD1 (ADC1/TMR1CH1/UART2TXD)
PD2 (ADC2/BUSY1/SSP2RXD)
PD3 (ADC3/SSP2FSS)
PD4 (ADC4/TMR1_ETR/nSIROUT2)
PD5 (ADC5/CLE/SSP2CLK)
PD6 (ADC6/ALE/SSP2_TXD)
PD7 (ADC7/TMR1_BLK/nSIRIN2)
PD8 (ADC8/TMR1_CH4N/TMR2_CH1)
PD9 (ADC9/CAN2_TX/TMR2_CH1N)
PD10 (ADC10/TMR1_CH2/TMR2_CH2)
PD11 (ADC11/TMR1_CH2N/TMR2_CH2N)
PD12 (ADC12/TMR1_CH3/TMR2_CH3)
PD13 (ADC13/TMR1_CH3N/TMR2CH3N)
PD14 (ADC14/TMR1_CH4/TMR2_CH4)
PD15 (ADC15/CAN2_RX/BUSY2)
PE0 (DAC2_OUT/ADDR16/TMR2_CH1)
PE1 (DAC2_REF/ADDR17/TMR2_CH1N)
PE2 (COMP_IN1/ADDR18/TMR2_CH3)
PE3 (COMP_IN2/ADDR19/TMR2_CH3N)
PE4 (COMP_REF+/ADDR20/TMR2CH4N)
PE5 (COMP_REF-/ADDR21/TMR2_BLK)
PE6 (OSC_IN32/ADDR22/CAN2_RX)
PE7 (OSC_OUT32/ADDR23/CAN2_TX)
PE8 (COMP_IN3/ADDR24/TMR2_CH4)
PE9 (DAC1_OUT/ADDR25/TMR2_CH2)
PE10 (DAC1_REF/ADDR26/TMR2CH2N)
PE11 (ADDR27/nSIRIN1)
PE12 (ADDR28/SSP1RXD)
PE13 (ADDR29/SSP1FSS)
PE14 (ADDR30/TMR2_ETR)
PE15 (ADDR31/EXT_INT3)
PF0 (ADDR0/SSP1TXD)
PF1 (ADDR1/SSP1CLK)
PF2 (ADDR2/SSP1FSS)
PF3 (ADDR3/SSP1RXD)
PF4/MODE(0) (ADDR4)
PF5/MODE(1) (ADDR5)
PF6/MODE(2) (ADDR6/TMR1CH1
PF7 (ADDR7/TMR1_CH1N)
PF8 (ADDR8/TMR1_CH2)
PF9 (ADDR9/TMR1_CH2N)
PF10 (ADDR10/TMR1_CH3)
PF11 (ADDR11/TMR1_CH3N)
PF12 (ADDR12/TMR1_CH4)
PF13 (ADDR13/TMR1_CH4N)
PF14 (ADDR14/TMR1_ETR)
PF15 (ADDR15/TMR1_BLK)
BVcc
1 Уровни сигналов MODE (0) и MODE, задающих режимы работы и программирования микросхемы DD13 приведены в таблице 1.
2 Конденсаторы C3, C4, C6, C9, C10, C11, C12, C13, C15, C21, C22, C23 установить в непосредственной близости от выводов питания микросхем DD2, DD5, DD8, DD1, DD3, DD4, DD6, DD7, DD9, DD10, DD11, DD12 соответственно.
3 Конденсаторы C31, C37, C38, C40, C41 установить в непосредственной близости от выводов 2, 26, 2, 4, 26, 28, 1, 3, 25, 27 микросхемы DD14 соответственно.
4 Конденсаторы C16, C19, C20, C24, C26, C29, C30, C32, C34, C35 установить в непосредственной близости от выводов питания 47, 49, 46, 48, 54, 55, 99, 100, 98, 100, 73, 74, 72, 74, 27, 29, 27, 28, 1, 132 микросхемы DD13.
5 Кварцевый резонатор ZQ2 расположить в непосредственной близости от выводов 38, 39 микросхемы DD13 .
Таблица 1
Режим работы | MODE (0) | MODE
Работа | 0 | 0
Программирование | 0 | 1
БУ99-2.160 Э3
Узел печатный
Схема электрическая принципиальная
Изм. Лист. № докум. Подп. Дата
Разраб. Пышкин
Пров. Блинов
Т.контр.
Нач.отд. Новиков
Н.контр.
Утв.
Лит. Масса Масштаб
Лист Листов 1
АЩЛ
Копировал
Формат А1
Перв. примен. БУ99-2.160
Справ. №
Подп. и дата
Инв. № подл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Инв. № дубл.

Номер	Формат	Обозначение	Наименование	Кол-во листов
			Текстовые документы	
1	А4	150404.2019.226 ТЗ	Техническое задание	2
2	А4	150404.2019.226 ПЗ	Пояснительная записка	99
			Графические документы	
3	А4	150404.2019.226.01.01.С1	Система управления вращающимся транспортером. Схема структурная	1
4	А4	150404.2019.226.01.02.С1	Блок управления. Схема структурная	1
5	А4	150404.2019.226.01.03.С1	Вентильный двигатель ЭДБ800. Схема структурная	1
6	А4	150404.2019.226.01.04.С1	Пульт управления. Схема структурная	1
7	А4	150404.2019.226.01.05.С1	Узел печатный БУ99-2.160. Схема структурная	1
8	А1	150404.2019.226.02.01.Э3	Узел печатный БУ99-2.160. Схема электрическая принципиальная	1
9	А4	150404.2019.226.03.01.ПЭ3	Узел печатный БУ99-2.160. Перечень элементов	5

Изм	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	150404.2019.226			
Разраб.		Пышкин			Устройство управления вращающимся транспортером с регулированием скорости	Лит.	Лист	Листов
Пров.		Новиков					1	1
						ЮУрГУ (НИУ) Кафедра АиУ		
Н.контр		Барбасова						
Утв.		Казаринов						