

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования
**«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»**

Факультет «электротехнический»

Кафедра «автоматики»

Направление подготовки 27.03.04 «Управление в технических системах»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

_____ Голощапов С.С.

«_____» _____ 2020 г.

Блок управления электроприводом намоточного станка

(тема)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ

ЮУрГУ – 27.03.04.2020.047.00.00 ПЗ ВКР

Автор ВКР

Студент группы МиЭт-527

_____ / Веснин А.В. /

«_____» _____ 20 г.

Руководитель работы

д.ф.-м.н., профессор кафедры

_____ / Телегин А.И. /

«_____» _____ 20 г.

Консультант работы

Инженер 1 категории

_____ / Козлов В.В. /

«_____» _____ 20 г.

Нормоконтроль

Старший преподаватель

_____ / Елисеев В.П. /

«_____» _____ 20 г.

Начальник отдела № 178

_____ / Винников В.Н. /

«_____» _____ 20 г.

Директор ЦНПП АО «ГРЦ Макеева»

_____ / Усачев Д.В. /

«_____» _____ 20 г.

АННОТАЦИЯ

Веснин А.В Блок управления
электроприводом намоточного станка -
Миасс: ЮУрГУ, ЭТФ-527, 92 с., 20 ил., 3
табл., библиографический список - 16
наименований, 4 прил.

Выпускная квалификационная работа посвящена модернизации специализированного намоточного станка, который применяется для наматывания малогабаритных дросселей и трансформаторов, при проектировании, отладке и изготовлении небольших партий электроники. Рассмотрены способы автоматизации. Разработана структурная, функциональная, принципиальная схемы, алгоритм работы, для наматывания большого числа наименований обмоток и программный код. Разработана схмотехника блока управления, рассмотрен и выбран тип электропривода, а так же элементы, входящие в систему. Изготовлена плата управления, источник питания, исполнительный механизм. Смонтирована и испытана, усовершенствованная конструкция станка.

Подп. и дата						
Взам. инв. №						
Инв. № дубл.						
Подп. и дата						
Инв. № подл.		270304.2020.047.00.00.ПЗ				
		Лит	Лист	Листов		
			4	92		
		Блок управления электроприводом намоточного станка			ЮУрГУ, Кафедра автоматика	
		Разраб.	Веснин А.В	Подп.	Дата	
		Пров.	Телегин А.И			
		Т. контр.	Козлов В.В			
		Н. контр.	Елисеев В.П			
		Утв.	Голощапов С			

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	7
1. КИНЕМАТИКА И ЦИКЛ РАБОТЫ СТАНКА ДО МОДЕРНИЗАЦИИ.....	10
1.1. Общие требования модернизации	11
1.2. Назначение и цели создания (развития) системы:.....	11
1.3. Характеристика объекта	12
1.4. Технические требования к параметрам и характеристикам системы:	12
1.5. Требования по защите от влияния внешних воздействий:.....	12
2. СПОСОБЫ МОДЕРНИЗАЦИИ- АВТОМАТИЗАЦИИ	14
3. ВЫБОР ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ	19
3.1. Выбор двигателя по конструктивному исполнению	19
3.2. Выбор двигателя по скорости	20
3.3. Выбор типа двигателя и способа управления	20
4. ВЫБОР ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ.....	33
4.1. Классификаций шаговых двигателей.....	33
4.1.1. По виду связи ротора и статора:	33
4.1.2. По виду перемещения ротора	34
4.1.3. По конструктивным особенностям.	34
5. РАЗРАБОТКА АППАРАТНОЙ ЧАСТИ	38
5.1. Разработка схемы структурной.....	38
5.2. Разработка схемы функциональной	39
5.3. Выбор языка программирования, написание исходного кода	40
5.4. Основной код	41
5.4. Прерывание при окончании преобразования АЦП	42
6. СХЕМОТЕХНИКА БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ.....	43
6.1. Выбор микроконтроллера	43
6.2. Разработка схемы электрической принципиальной	50
6.3 Выбор драйвера двигателя	56
6.3.1 Практическая реализация драйвера.....	57
6.4 Реализация источника вторичного электропитания (ИВЭП)	58
6.5. Датчики	61
6.6. Блок индикации (БИ)	64
6.7. Пульт управления (ПУ)	65
7. ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ	66

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ	67
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	68
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Блок-схема алгоритма работы программы	70
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Текст программы на языке ассемблер	72
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Схема электрическая принципиальная.....	91
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Перечень элементов.....	92

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

ВВЕДЕНИЕ

В указе президента Российской Федерации В.В. Путина «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года» от 7 мая 2019 года, одним из направлений является повышение производительности труда.[8]

Повышение производительности труда невозможно без применения новых технологий и оборудования. В настоящее время в связи с проектированием новой техники и электроники существует необходимость создания преобразователей электроэнергии с различными входными - выходными параметрами напряжения, токами. Многие предприятия работают над созданием преобразователей электрической энергии. В каждом преобразователе неотъемлемой частью является трансформатор или дроссель. Это например электронный пускорегулирующий аппарат (ЭПРА), применяемый в люминесцентном освещении, различные схемы питания светодиодов, в современных светильниках и другое. Готовых элементов, к применению в вышеуказанных изделиях с необходимыми параметрами не существует. Для каждого преобразователя проектируется и разрабатывается отдельный трансформатор, дроссель. Они представляют собой магнитопровод и намотанный на каркас медный провод. Чтобы обеспечить необходимые параметры данных изделий необходимо обеспечить точное количество витков, порядок, направление и натяжение обмотки. Для этого применяется ручная, полуавтоматическая, автоматическая намотка. Результаты ручной намотки очевидны: нет необходимого качества намотки, возможны ошибки в количестве витков, процесс занимает много времени, что не допустимо, а так же часто бывают ошибки в направлении намотки и т.д

Обозначенные выше положения говорят об актуальности темы. Эти задачи решаются автоматической или полуавтоматической намоткой трансформаторов и дросселей. Автоматизация управления процессом заключается в автоматическом пуске, изменении скорости, остановке и реверсировании электрических двигателей механизмов и приводов с требуемой

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

7

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. ине. №
Подп. и дата	Ине. № дубл.
Ине. № подл.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

последовательностью, подсчете количества витков. Автоматизация управления иногда сопровождается блокировкой, не допускающей неправильных операций, часто опасных, для человека. Автоматизация процесса приводит к его значительному ускорению, улучшению качества продукции, сокращению потребности в рабочей силе, уменьшению затрат ручного труда, его облегчение. Но высокая стоимость готовых автоматизированных приборов, и систем производства зарубежных специализированных фирм, а также низкая надежность и качество российских приборов, построенных на отечественной элементной базе (при зачастую не меньшей стоимости), дают потребителям серьезный повод обращаться к отечественным разработчикам, создающим свои изделия на базе высоконадежной электроники промышленного назначения ведущих западных фирм. Особое внимание в настоящее время уделяется внедрению микропроцессоров, обеспечивающих решение задач автоматизации управления механизмами, приборами и аппаратурой. Адаптация микропроцессора к особенностям конкретной задачи осуществляется путем разработки соответствующего программного обеспечения. За последнее время в микроэлектронике бурное развитие получило направление, связанное с выпуском микроконтроллеров, которые предназначены для автоматизации оборудования различного назначения. Микроконтроллеры представляют собой приборы, конструктивно выполненные в виде микросхемы и включающие в себя все составные части ЭВМ: память, микропроцессор, а также программируемые интерфейсные, схемы для связи с внешней средой. Использование микроконтроллеров в системах управления обеспечивает достижение достаточно высоких показателей эффективности при низкой стоимости (в некоторых случаях система может состоять только из одного контроллера), так что, микроконтроллерам, видимо, нет разумной альтернативной элементной базы, для построения управляющей и/или регулирующих систем. Более двух третей мирового рынка микропроцессорных систем составляют именно микроконтроллеры. Перед автоматизацией процесса ставят следующие задачи:

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	
Ине. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

– переход от автоматизации отдельных простейших производственных операций к комплексной автоматизации средств производства и производственных процессов;

– повысить точность автоматических систем (разработка самонастраивающихся и многомерных систем автоматического управления, САУ);

– переход к использованию цифровых средств автоматизации (использование ПЭВМ).

Привод намоточного станка является одним из основных узлов, определяющих производительность и точность. Система позволяет, практически без инерционно сформировать сигналы управления приводом, обеспечивающие позиционирование в соответствии с заданной программой. В таких условиях, важное значение имеет совершенствование параметров исполнительного механизма, схемы его управления с учётом особенностей цепи привода. Доступность на российском рынке современной высококачественной модульной, компьютерной базы, совместимой с промышленной электроникой дает разработчикам шанс создания автоматизированных приборов и систем, не уступающих по большинству параметров (в т.ч. качеству и надежности) аналогам производства зарубежных производителей. [2]

Практическая ценность решения поставленных задач данной работы, является новая конструкция специализированного намоточного станка.

Ине. № подп	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	Ине. № инв.
Ине. № подп	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

1. КИНЕМАТИКА И ЦИКЛ РАБОТЫ СТАНКА ДО МОДЕРНИЗАЦИИ

В работе имеется намоточный станок, с двигателем постоянного тока, кинематическая схема привода которого приведена на рисунке 1. Данный станок применяется для наматывания малогабаритных дросселей и трансформаторов, при проектировании, отладке и изготовлении небольших партий электронных пускорегулирующих аппаратов, а также источников тока питания светодиодов.

В результате осмотра и поиска информации по данному станку, получены данные:

- привод, электродвигатель постоянного тока, типа дпр-62-Н1-02, рисунок 2;
- механический счетчик не идентифицирован, рисунок 2;
- электронная часть отсутствует;
- электродвигатель подключается к источнику постоянного тока типа Б5-7, через микро кнопку, км1-1, установленную на педали.

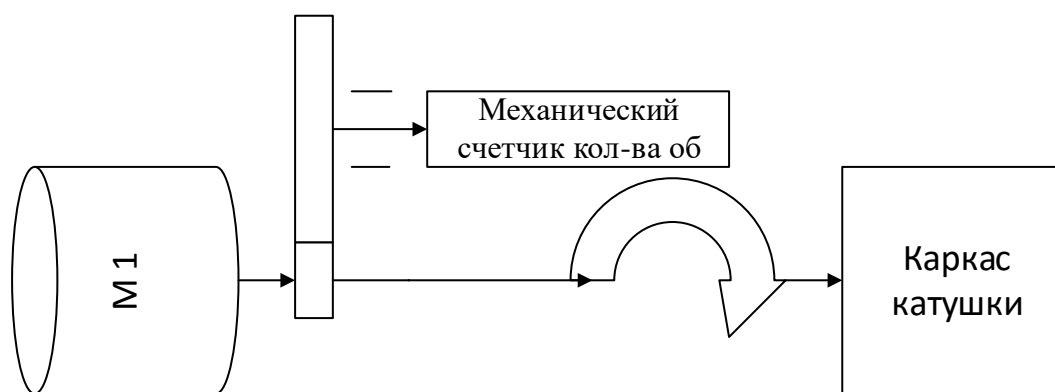


Рисунок 1. Кинематическая схема привода

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

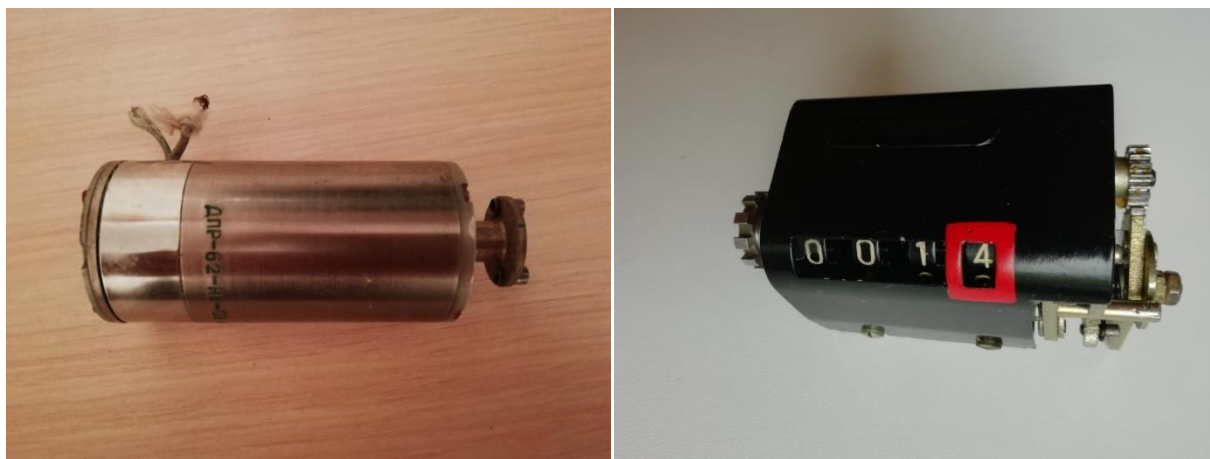


Рисунок 2. Двигатель постоянного тока, механический счетчик

Данное оборудование давно морально и физически устарело и его низко производительная работа стала неудобной. После проведенного анализа полученных данных, принято решение о модернизации данного станка. При доработке системы потребовалась разработка и изготовление новой конструкции, в результате чего без изменения осталась только станина электродвигателя.

1.1. Общие требования модернизации

Определены следующие общие требования:

- Разработка программы (алгоритма) работы, с возможностью выбора номера трансформатора (дросселя) и номера обмотки с помощью клавиатуры. Библиотека элементов с количеством обмоток и витков, должна быть так же доступна с помощью клавиатуры. Так как при отладке, часто бывает необходимо, увеличить или уменьшить, количество витков изготавливаемого элемента, введем возможность такой коррекции в уже созданной нами библиотеки;
- Простота конструкции и высокая степень ремонтпригодности, минимальное количество элементов электрической схемы и механической части.

1.2. Назначение и цели создания (развития) системы:

Инв. № подл	Подп. и дата			
	Взам. инв. №			
Инв. № дубл.	Подп. и дата			
	Инв. № инв.			
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
270304.2020.047.00.00.ПЗ.				
				Лист
				11

Назначение:

Разрабатываемое устройство необходимо для производства преобразователей, включающих в себя трансформаторы и/или дроссели.

Цели создания системы:

Целью работы является модернизация самодельного, специализированного намоточного станка. Изготовление блока управления приводом. Разработка алгоритма работы, для наматывания большого числа наименований обмоток. Так же целью, является разобраться в особенностях построения электроприводов, это может пригодиться в дальнейшем, при работе по направлению

1.3. Характеристика объекта

Микроконтроллер должен обеспечивать необходимый момент вращения двигателем и вести подсчёт количества оборотов. А так же обеспечивать режимы пуска и торможения, иметь возможность плавно изменять скорость укладки.

1.4. Технические требования к параметрам и характеристикам системы:

- Электропитание АПК - от промышленной сети переменного тока 220В, 50Гц, с допустимыми отклонениями: по напряжению +10%, -20% ;
- Система должна иметь гальванически развязанные источники вторичного электропитания;
- Состоять из возможно минимального количества элементов;
- Низкая себестоимость;
- Присутствие программируемого микроконтроллера;
- Должна быть обеспечена ремонтпригодность.

1.5. Требования по защите от влияния внешних воздействий:

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

12

- температура окружающей среды от 0 до +45 °С;
- система должна функционировать в условиях воздействия радио помех, электрических, магнитных и электромагнитных полей;
- Для разработки объекта с учетом данных критериев, необходимо;
- Разработать структурную, функциональную, принципиальную схему, алгоритм работы и программный код;
- Выбрать элементы, входящие в систему, изготовить плату управления, исполнительный привод;
- Доработать конструкцию станка.

Инв. № подл	Подп. и дата				Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	270304.2020.047.00.00.ПЗ.		
						13	

2. СПОСОБЫ МОДЕРНИЗАЦИИ- АВТОМАТИЗАЦИИ

Резкое увеличение объема выпуска, повышение требований к качеству и надежности электрических элементов выдвигают на первый план задачу повышения производительности, в том числе и намоточного оборудования. В этих условиях применение универсального оборудования сдерживает рост производительности труда. А применение программного управления ПУ позволяет сократить время подготовки производства и переналадки оборудования. Применение таких систем на намоточном оборудовании позволит:

- ускорить переналадку станка с одного номинала на другой;
- улучшить качество переналадки;
- повысить точность управления циклом станка;
- включить намоточное оборудование в АСУ технологическим процессом намоточного производства.

Разработка позволит создать предпосылки для создания систем управления поточно-механизированными линиями, предназначенными для выпуска изделий широкой номенклатуры. [2]

Таким образом, изучение данного вопроса является задачей актуальной и полезной. Прежде чем приступить к созданию единого типажа намоточного оборудования, унификации намоточных станков, определения наиболее рациональной кинематической и конструктивной схем станка необходимо провести систематизацию намоточных станков. Намоточные станки различаются по технологическим возможностям и электрической схеме раскладки провода по каркасу, по принципу действия и схеме образования витка обмотки, по общей компоновке и конструктивному исполнению, по степени автоматизации и другим признакам.

Для намоточных станков характерно наличие большого разнообразия факторов, что делает затруднительным их полную классификацию. Учитывая сказанное, современные намоточные станки целесообразно классифицировать по следующим признакам:

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

14

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

- способу наматывания, способу формирования обмотки;
- конструкции обмоток, габаритным размерам обмоток;
- способу образования витка, виду движения челнока-раскладчика;
- виду движения каркаса.

По способу наматывания все станки можно разделить на четыре класса: открытого, кольцевого, пазового и специального наматывания.

По способу формирования обмотки намоточные станки делятся на две группы: прямого и раздельного наматывания.

К станкам прямого наматывания относятся станки, на которых изготовление обмотки происходит по схеме катушка - приемный каркас. По этой схеме работает подавляющее большинство намоточных станков открытого, пазового и специального классов. К станкам раздельного наматывания относятся станки для изготовления обмоток по схеме катушко - промежуточный элемент приемный каркас. По этой схеме работают все станки кольцевого наматывания, а так же небольшая группа станков открытого пазового наматывания. Станки кольцевого наматывания делятся: на одно рядовые и много рядовые, станки пазового наматывания. По габаритным размерам намоточные станки делятся для намотки микро, малых, средних и крупных обмоток. По способу образования витка станки делятся на бесчелночные и челночные. В бесчелночных станках виток образуется за счет вращения каркаса(главное движение), наматывающего на себя проводящего закономерного осевого перемещения провода или каркаса. Вспомогательное движение образующего шаг обмотки. В челночных станках виток образуется за счет вращательного движения челнока (главное движение) и вспомогательного движения каркаса. По расположению оси наматываемого каркаса намоточные станки делятся на горизонтальные, вертикальные и наклонные, а по количеству шпинделей, на одно шпиндельные и много шпиндельные. [7] По количеству наматываемых обмоток станки бывают одноместные и многоместные. К одноместным относятся намоточные станки, предназначенные для наматывания одного изделия, а к многоместным — станки для параллельного,

Ине. № подл.	
Подп. и дата	
Ине. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

15

последовательного и параллельно-последовательного наматывания нескольких изделий, выполняемого одним шпинделе (одном устройстве).

Пути развития намоточных станков.

В настоящее время в области намоточного оборудования, а вместе с этим и в области механизации и автоматизации намоточных процессов существует три основных направления:

- модернизация существующих универсальных намоточных станков;
- создание специализированных намоточных станков на базе унификации, нормализации и агрегатированные;
- создание намоточных станков со специальным программным управлением.

Первое направление. По своему назначению универсальные станки предназначены для наматывания большого количества наименований обмоток. Приблизительно 95–85 % всех обмоток изготавливается в условиях индивидуального, мелкосерийного и серийного производства, и лишь 15–20 %, в условиях крупносерийного и массового, и я хочу это подчеркнуть. Модернизация универсальных намоточных станков позволяет улучшить их кинематические и динамические показатели, повысить качество обмоток и производительность станков. Особенно положительно это сказывается в условиях небольшой серийности. Второе направление. Несмотря на модернизацию, универсальные намоточные станки значительно уступают по некоторым параметрам специализированным. Для последних имеется возможность полностью автоматизировать цикл наматывания, а также обеспечить оптимальные режимы наматывания (натяжение и скорость). Конструктивно эти станки просты, но несмотря на высокие технические показатели, они не нашли еще широкого применения из-за высокой стоимости и длительных сроков проектирования и изготовления. Эти недостатки в основном устраняется, если идти по пути унификации, нормализации и агрегатирования намоточных станков. В настоящее время в промышленности насчитывается большое количество

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

моделей различных намоточных станков, большинство из них предназначено для изготовления одних и тех же типов обмоток. В связи с этим необходимо добиться того, чтобы из большего количества различных моделей намоточных станков разработать для данного класса обмоток ряд моделей, охватывающих существующую номенклатуру электрорадио элементов, а в дальнейшем перейти к созданию агрегатных намоточных станков. Третье направление. Принципиально новым этапом совершенствования намоточных станков является применение программного управления.

Основные преимущества программного управления:

- возможность обеспечения практически любой схемы образования витка;
- возможность централизованной подготовки программы наматывания;
- простота изменения и корректировки программы;
- быстрая переналадка намоточного станка;
- возможность получения обмотки с высокими техническими характеристиками.

В соответствии с изученными параметрами система программного управления намоточным станком должна обладать следующими функциональными возможностями:

- обеспечить контроль числа наматываемых витков;
- торможение главного привода (привода оправки) в конце наматываемой обмотки;
- остановка привода оправки в конце наматываемой обмотки;
- реверс или остановка раскладчика в конце наматываемого слоя;
- требуемый шаг раскладки.

В соответствии с этим программируемыми параметрами являются:

- число витков обмотки;
- длина наматываемого слоя;
- шаг раскладчика;

Инв. № подл	Подп. и дата				Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата
Инв. № подл	Подп. и дата				Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	270304.2020.047.00.00.ПЗ.		
							Лист
							17

- число витков, необходимое для торможения привода оправки с целью его точного останова;
- тип останова;
- значение коррекции.

Процесс управления намоткой заданного количества витков непосредственно связан с числом витков, необходимых для торможения оправки до его полного останова. Таким образом, при расположении витков, намотанных на катушку, разности полного числа витков, требуемых на торможение, система должна выдавать сигнал «торможение», который управляет торможением привода. Таким образом можно сказать, что данный проект реализуем. В результате выполнения решаются проблемы с долгой переналадкой, настройкой станка, улучшается качество намотки, повышается точность управления циклами станка, появляется возможность более точно контролировать весь процесс намотки. [5]

Инв. № подл.	Подп. и дата				Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	270304.2020.047.00.00.ПЗ.			Лист
								18

3. ВЫБОР ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Современный электропривод представляет собой сочетание электродвигателей, систем передачи и средств управления, обеспечивающих автоматизированную работу производственных машин. Эта работа совершается с требуемой закономерностью при преобразовании электрической энергии в механическую.

На основании исходных данных и требований, предъявляемых к электроприводу, необходимо выбрать вариант электропривода, способный полностью выполнить требования. На основании предъявляемых требований, осуществляется выбор типа электропривода. Обоснован выбор системы электропривода, приняты способы регулирования скорости, способы пуска и торможения электропривода. Выбор системы определяет главное направление дальнейших расчетов. Выбор двигателя для проектируемого электропривода включает в себя:

- выбор конструкции (исполнения) двигателя;
- выбор двигателя по скорости;
- выбор типа двигателя.

3.1. Выбор двигателя по конструктивному исполнению

При выборе двигателя по конструктивному исполнению необходимо учитывать режим работы электропривода и условия эксплуатации оборудования, под которым и следует понимать условия окружающей среды (содержание пыли, коррозионно-активных элементов, взрыво - и пожароопасных смесей и т.п.), воздействие климатических факторов и т.д. Выбор двигателя по конструктивному исполнению состоит в применении в проектируемом электроприводе двигателя, подходящего по способу защиты от воздействия окружающей среды (закрытый, защищенный и т.д.), способу вентиляции (с самовентиляцией, с независимой

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

19

Ине. № подп	Подп. и дата	Ине. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата
-------------	--------------	--------------	--------------	--------------

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

вентиляцией и т.д.), по наличию или отсутствию встроенного тахогенератора и другим конструктивным особенностям, которые указываются в каталогах и справочниках на электрические машины [4].

3.2. Выбор двигателя по скорости

Выбор двигателя по скорости должен при известной кинематической схеме рабочей машины обеспечить требуемые скорости технологического процесса. При этом предварительно должен быть намечен способ регулирования скорости двигателя, обеспечивающий наилучшие технико-экономические показатели. Если рабочий ход выполнять на естественной характеристике, то возвратный ход должен выполняться на более высокой скорости – в режиме, ослабленном поля. Если на естественной характеристике выполнять возвратный ход, то рабочий ход должен выполняться на пониженной скорости при снижении напряжения (или частоты). Основной скоростью движения электропривода будем называть скорость на естественной механической характеристике при номинальных напряжении, частоте, потоке двигателя. Это условие определяет в дальнейшем мощность двигателя.

3.3. Выбор типа двигателя и способа управления

Электрические машины (ЭМ) являются электромеханическими преобразователями энергии (ЭМП), и принцип их построения исходит из теории электромеханического преобразования. В статических электромагнитных устройствах – трансформаторах процессы подобны таковым в частных режимах ЭПМ. Преобразователи электрической энергии в механическую (электродвигатели) и механической энергии в электрическую (генераторы) делятся на два больших класса: индуктивные и емкостные. В индуктивных ЭМ происходит прямое и обратное преобразование механической энергии в электрическую через посредство электрическую через посредство

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

20

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

электромагнитного поля, а в емкостных – через посредство электрического поля. Преобразование энергии в индуктивных ЭМ возможно лишь при периодическом изменении индуктивностей или взаимных индуктивностей, а в емкостных – при периодическом изменении емкостей или взаимных емкостей в процессе перемещения подвижной части ЭМ относительно неподвижной. Индуктивные ЭМ в силу большей эффективности преобразования энергии получили преимущественное применение. Электрические машины можно разделить на два класса: индукционные и кондукционные; в индукционных ЭМ основное (первичное) магнитное поле создается переменным током, а в кондукционных – постоянным током или постоянными магнитами. [6]

По типу перемещения подвижной части относительно неподвижной ЭМ делятся на вращающиеся и линейные (в том числе с возвратно-поступательным движением).

В системах автоматики и телемеханики, в системах управления, регулирования и контроля в настоящее время широко применяются управляемые электрические двигатели небольшой мощности, с помощью которых производится преобразование электрического сигнала – напряжения управления (или его фазы – в двигателях) в механических – перемещение – вращение вала. Такие электрические двигатели обычно называются исполнительными.

Исполнительные двигатели являются весьма важными элементами схем автоматики от их качества зависит качество работ всей автоматической системы. Поэтому к исполнительным двигателям предъявляются повышенные, по сравнению с обычными двигателями, требования. В силу того, что исполнительные двигатели используются в основном в следящих системах, они практически никогда не работают в номинальном режиме. Для их работы характерны частые пуски, остановки, реверсы. Скорость вращения их обычно невелика и знакопеременна, поэтому они никогда не снабжаются вентиляторами. С целью сокращения времени переходных процессов, в которых почти постоянно находятся исполнительные двигатели, их стремятся выполнить малоинерционными. Характер требований, предъявляемый к исполнительным

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

21

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

двигателям, определяется спецификой их работы в системах. Основными из них являются:

- отсутствие самохода – самоторможение двигателя при снятии сигнала управления;
- широкий диапазон регулирования скорости вращения;
- линейность регулировочных и механических характеристик;
- устойчивость работы во всем диапазоне скоростей двигательного режима;
- большой пусковой момент;
- малая мощность управления;
- быстродействие;
- надежность в работе;
- малые габариты и вес.

Возможно использование асинхронных машин (АМ). Главное отличие асинхронных машин - отсутствие вращающихся контактов и переключающихся контактов вообще - это главный источник потерь в электродвигателях на постоянных магнитах. Насыщение магнитного поля тоже проблема, но на моделях применяют двигатели с качественными и мощными магнитами, а в дорогих двигателях - магниты на основе редкоземельных металлов, обладающие повышенной намагниченностью и стойкостью - так что насыщением магнитного поля в реальных условиях работы моторов можно пренебречь. Вместо вращающихся контактов переключение осуществляют полупроводниковые МОП транзисторы. Не так давно подобные транзисторы были очень дороги и не обладали необходимыми характеристиками. Но сейчас подходящие мощные полевые транзисторы стали относительно недороги, их показатели значительно выросли. АМ обладают очень высоким КПД - 80-95%. Вторая хорошая сторона АМ - ресурс механической части - в таких двигателях ось крепится на шарикоподшипниках, трущиеся и истираемые части отсутствуют - ломаться практически нечему. Само размагничивание магнитов достаточно медленное - порядка нескольких процентов за несколько лет, как и в любом моторе. К вопросу

Инв. № подл.	
Подп. и дата	
Инв. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

о цене. В АМ – магнит изготавливается на основе редкоземельных металлов (самариево - кобальтовые, или неодимовые), поэтому достаточно дорог. А так же довольно сложная практическая реализация. Создание регулирующего привода на асинхронной машине сталкивается с некоторыми трудностями – создание частотно-регулируемого привода (ЧПР). Цена ЧПР в несколько раз превышает стоимость самой асинхронной машины. В связи с чем использование асинхронных машин считаю нецелесообразно.

Возможно применение вентильных (бесконтактных) МПТ (машины постоянного тока). Современные вентильные МПТ представляют собой специально объединённые бесконтактные синхронные машины и полупроводниковые коммутаторы. В генераторном режиме обычно применяются неуправляемые коммутаторы – многофазные выпрямители, а в двигательном режиме к машинам подключаются коммутаторы – инверторы, управляемые посредством датчика углового положения полюсов ротора. Коммутаторы и обмотки якоря могут иметь совмещённое исполнение: полупроводниковое устройство не выделяется в отдельный блок, а выполняется распределённым, встроенным в корпус машины. [7]

В электроприводе различных станков с микроконтроллерным управлением широко применяются двигатели постоянного тока ДПТ и вентильные двигатели. Применение ДПТ обусловлено [4] удобством и простотой регулирования скорости и момента. Для подобных целей они используются уже давно (например, в санках с ЧПУ), поэтому основные узлы схем управления очень хорошо отработаны, имеются типовые решения, обслуживающий персонал на предприятиях подготовлен к эксплуатации и ремонту таких приводов. Однако в настоящее время появились электроприводы, где применяются шаговые двигатели. По мере расширения областей применения шагового двигателя улучшались и его технические характеристики. Появились новые конструкции ШД, так называемые гибридные ШД, которые по стоимости, на сегодняшний день, приблизились к своим предшественникам, а по развиваемой мощности превосходят последних в несколько раз. В результате у ШД появилось

Изм. № подл. Подп. и дата

Изм. № дубл. Взам. инв. №

Изм. № подл. Подп. и дата

Изм. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

дополнительное конкурентное преимущество - это высокий момент на малых оборотах вращения. Например, момент удержания ШД в 2-3 раза выше, чем у синхронного двигателя эквивалентных массогабаритных показателей. Поэтому использование ШД в ряде случаев позволяет исключить редуктор из механической системы и, следовательно, снизить себестоимость привода и системы в целом. Одним из определяющих параметров шагового двигателя является шаг ротора, то есть угол поворота ротора, соответствующий одному импульсу. Шаговый двигатель делает один шаг в единицу времени в момент изменения импульсов управления. Величина шага зависит от конструкции двигателя: количества обмоток, полюсов и зубьев. В зависимости от конструкции двигателя величина шага может меняться в диапазоне от 90 до 0,75 градусов. С помощью системы управления можно еще добиться уменьшения шага пополам используя соответствующий метод управления. [3]

Рассмотрим конструкцию шагового электродвигателя. У меня есть старый шаговый двигатель GDR, MICROSTEP SPA52/60-5687 (производства Robotron), рисунок 3. Шаговый двигатель, как и любой вращающийся электромотор, состоит из ротора и статора. Статор - неподвижная часть, ротор - вращающаяся часть. Данный двигатель имеет ротор на постоянных магнитах. Определить, имеет ротор постоянные магниты или нет, можно при вращении обесточенного двигателя, если при вращении имеется фиксирующий момент и пульсации, значит, ротор выполнен на постоянных магнитах.

Инв. № подп	Подп. и дата
	Взам. инв. №
	Инв. № дубл.
	Подп. и дата
	Инв. № подп

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

24

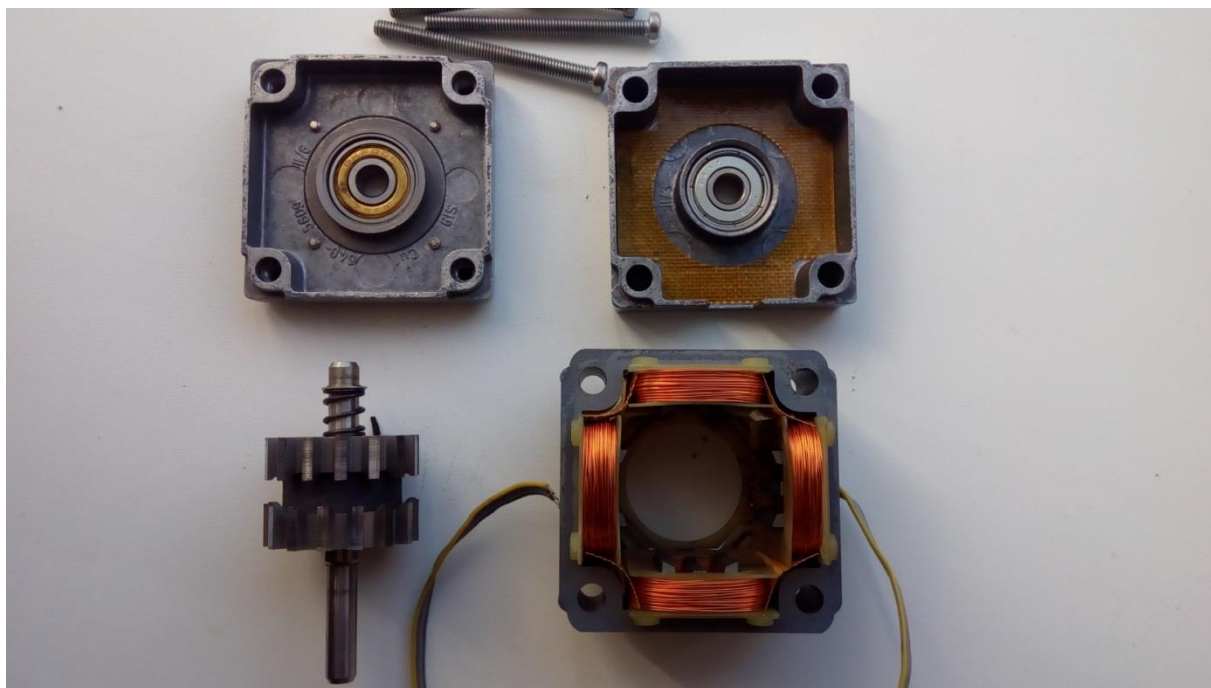


Рисунок 3. Конструкция шагового электродвигателя

Статор шагового двигателя имеет сердечник с явно выраженными полюсами, который обычно делается из ламинированных штампованных листов электротехнической стали для уменьшения вихревых токов и уменьшения нагрева. Шаговые двигатели надежны и недороги, так как ротор не имеет контактных колец и коллектора. Но шаговому управлению, наряду с явными достоинствами, присущ ряд недостатков, которые значительно сужают области применения ШД. Наиболее существенными из них являются:

- Повышенная вибрация. Повышенная вибрация возникает при шаговом и полушаговом способах управления на постоянной скорости из-за бесконтрольного перехода вала ротора в новую позицию, определяемую состоянием обмоток. В результате вал ротора совершает затухающие колебания относительно новой позиции до момента поступления нового импульса в обмотки.

Частично решить проблему вибрации удалось за счет разработки микрошагового способа управления, который сводится к разбиению полного шага двигателя на несколько более мелких шагов.

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Ине. № инв.	Подп. и дата
Ине. № инв.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

– Наличие резонансных зон в рабочем диапазоне скоростей. Во время работы двигателя, по мере увеличения скорости вращения, характер колебаний также изменяется и при совпадении частоты поступления импульсов с собственной частотой механической системы возникает резонансное явление. В результате чего момент двигателя практически полностью исчезает, что не редко приводит к пропуску шагов. В свою очередь, пропуск шагов нарушает работу всей системы. Об этом подробнее, чуть ниже.

– Низкая динамика. Во время переходного процесса любой привод испытывает повышенные нагрузки, так как помимо статического момента двигатель разгоняет и останавливает инерционную нагрузку, приведенную к валу двигателя. В связи с тем, что шаговый привод без обратной связи не имеет информации о текущей внешней нагрузке и текущей позиции, процесс разгона выполняется «вслепую». Поэтому, чтобы избежать выхода из синхронизма, технолог вводит плавный разгон и торможение с существенным запасом. Данный способ формирования переходного процесса ограничивает потенциальные динамические возможности привода.

– Наличие ярко выраженного стоп - момента. При приближении зубьев ротора к полюсу статора происходит резкое притяжение полюса ротора к полюсу статора, что приводит к возникновению рывка, а при удалении зубьев от полюса возникает обратный эффект, приводящий к уменьшению скорости. При вращении вала двигателя эта особенность приводит к появлению высокочастотной вибрации. Данный эффект особенно ярко выражен на малых оборотах у мощных гибридных шаговых двигателей.

– Высокая рабочая температура привода и низкий КПД. Чтобы избежать прокручивания вала под воздействием внешних сил, ток в обмотки двигателя подается постоянно, независимо от нагрузки на его валу, поэтому привод потребляет энергию всегда, даже при нулевом противодействующем моменте, что приводит к низкому КПД и высокой рабочей температуре привода.

– Низкая точность позиционирования. Несмотря на то, что ШД в состоянии выполнять задачу позиционирования без датчика обратной связи,

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

26

Инв. № подл.	Подп. и дата
	Взам. инв. №
Инв. № дубл.	Подп. и дата
	Инв. № подл.
Инв. № подл.	Подп. и дата
	Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

точность отработки задания не высока. Например, при использовании гибридного шагового двигателя с 50 эквивалентными полюсами ошибка позиционирования будет колебаться в диапазоне $-0,9...+0,9$ градусов, в зависимости от текущей статической нагрузки.

Пути решения проблем:

Все описанные недостатки ограничивают области применения ШД. В то время, как потенциальный рынок достаточно велик.

Улучшение электромеханических свойств шагового двигателя.

В последнее время на рынке появились ШД с новыми конструктивными особенностями. К ним относятся двигатели с измененным воздушным зазором, измененной формой зуба и т.д. Одной из наиболее перспективных конструкций является пятифазный ШД, обеспечивающий достаточно высокую плавность хода. Однако привод на базе такого ШД существенно увеличивается в стоимости, как за счет стоимости самого двигателя, так и в связи с усложнением системы управления. При этом изменение механики не решает проблем, связанных с пропуском шагов и невысокой скоростью разгона, так как по-прежнему не контролируется текущая позиция вала двигателя.

– Применение векторного управления.

Наиболее перспективным решением перечисленных проблем шагового привода является усовершенствование его метода управления. Совершенствование методов управления позволяет свести к минимуму отрицательные качества, присущие шаговым двигателям. Существенный, это резонанс шаговых двигателей. Шаговым двигателям свойственен нежелательный эффект, называемый резонансом. Эффект проявляется в виде внезапного падения момента на некоторых скоростях. Это может привести к пропуску шагов и потере синхронности. Эффект проявляется в том случае, если частота шагов совпадает с собственной резонансной частотой ротора двигателя.

Когда двигатель совершает шаг, ротор не сразу устанавливается в новую позицию, а совершает затухающие колебания. Дело в том, что систему ротор - магнитное поле - статор можно и рассматривать как пружинный маятник, частота

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

27

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

колебаний которого зависит от момента инерции ротора (плюс нагрузки) и величины магнитного поля. Ввиду сложной конфигурации магнитного поля, резонансная частота ротора зависит от амплитуды колебаний. При уменьшении амплитуды частота растет, приближаясь к мало-амплитудной частоте, которая более просто вычисляется количественно. Эта частота зависит от угла шага и от отношения момента удержания к моменту инерции ротора. Большой момент удержания и меньший момент инерции приводят к увеличению резонансной частоты.

Необходимо заметить, что резонансную частоту определяет момент инерции собственно ротора двигателя плюс момент инерции нагрузки, подключенной к валу двигателя. Поэтому резонансная частота ротора ненагруженного двигателя, которая часто приводится среди параметров, имеет небольшую практическую ценность, так как любая нагрузка, подсоединенная к двигателю, изменит эту частоту.

На практике эффект резонанса приводит к трудностям при работе на частоте, близкой к резонансной. Момент на частоте резонанса равен нулю и без принятия специальных мер шаговый двигатель не может при разгоне пройти резонансную частоту. В любом случае, явление резонанса способно существенно ухудшить точностные характеристики привода.

В системах с низким демпфированием существует опасность потери шагов или повышения шума, когда двигатель работает вблизи резонансной частоты. В некоторых случаях проблемы могут возникать и на гармониках частоты основного резонанса.

Когда используется не микрошаговый режим, основной причиной появления колебаний является прерывистое вращение ротора. При осуществлении шага ротору толчком сообщается некоторая энергия. Этот толчок возбуждает колебания. Энергия, которая сообщается ротору в полушаговом режиме, составляет около 30% от энергии полного шага. Поэтому в полушаговом режиме амплитуда колебаний существенно меньше. В микрошаговом режиме с шагом 1/32 основного при каждом микрошаге сообщается всего около 0.1% от энергии

Ине. № дубл.	Ине. № подл.	Ине. № инв.	Ине. № инв.	Ине. № инв.	Ине. № инв.
Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

полного шага. Поэтому в микрошаговом режиме явление резонанса практически незаметно.

Для борьбы с резонансом можно использовать различные методы. Например, применение эластичных материалов при выполнении механических муфт связи с нагрузкой. Эластичный материал способствует поглощению энергии в резонансной системе, что приводит к затуханию паразитных колебаний. Другим способом является применение вязкого трения. Выпускаются специальные демпферы, где внутри полого цилиндра, заполненного вязкой кремнийорганической смазкой, может вращаться металлический диск. При вращении этой системы с ускорением диск испытывает вязкое трение, что эффективно демпфирует систему.

Существуют электрические методы борьбы с резонансом. Колеблющийся ротор приводит к возникновению в обмотках статора ЭДС. Если замкнуть обмотки, которые на данном шаге не используются, это приведет к демпфированию резонанса.

И, наконец, существуют методы борьбы с резонансом на уровне алгоритма работы драйвера. Например, можно использовать тот факт, что при работе с двумя включенными фазами резонансная частота примерно на 20% выше, чем с одной включенной фазой. Если резонансная частота точно известна, то ее можно проходить, меняя режим работы. Если это возможно, при старте и остановке нужно использовать частоты выше резонансной.

Увеличение момента инерции системы ротор-нагрузка уменьшает резонансную частоту. Однако, достаточно эффективной мерой для борьбы с резонансом является применение микрошагового режима. [3]

Проблему пропуска шагов еще более эффективно можно решить за счет внедрения в привод датчика позиции и использования высокопроизводительного сигнального процессора. При наличии двух таких компонент как сигнальный процессор и датчик позиции в одном устройстве можно отказаться от использования шаговых методов управления и построить систему управления на основе алгоритма векторного управления. Фирмой SIEMENS еще в 1971 году был

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

29

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

предложен метод векторного управления. [4] Данный метод уже давно используется в приводах на базе синхронных и асинхронных двигателей. Алгоритм векторного управления основан на поддержании угла 90 градусов между текущей позицией ротора в рамках одного полюса и вектором токов в обмотках двигателя. Из графика зависимости момента, от угла между текущей позицией и вектором тока (Рис.4) видно, что максимальная эффективность достигается именно при угле 90 градусов.

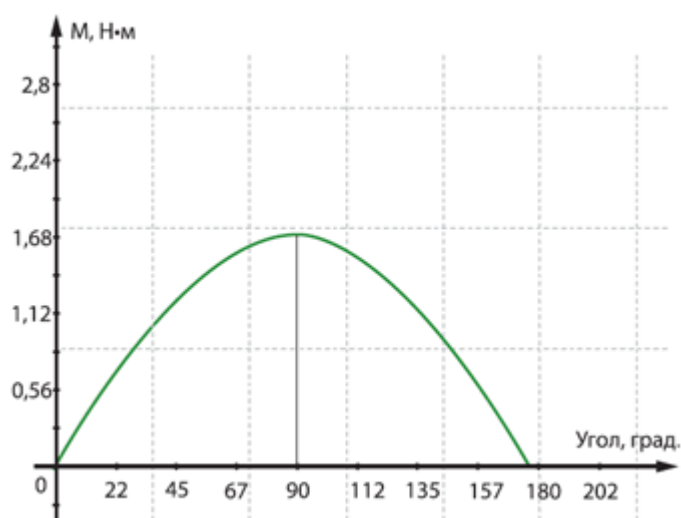


Рисунок 4. Графика зависимости момента, от угла между текущей позицией и вектором тока

При этом расчет текущего угла необходимо выполнять в реальном времени с высокой частотой, так как при формировании токов вал ротора всегда стремится в позицию, заданную вектором токов. Такой способ обеспечивает высокую эффективность управления. Исключается колебание момента, развиваемого двигателем и, как следствие – вибрация, обеспечиваются высокие динамические показатели, исключается пропуск шагов. В реализации векторного управления для шагового привода есть своя специфика. ШД имеет 50 эквивалентных пар полюсов в отличие от синхронного двигателя с 6-ю полюсами. В результате алгоритм векторного управления должен обрабатываться в процессоре с частотой свыше 20 кГц, чтобы обеспечить поддержание угла 90 градусов с приемлемой точностью на высоких скоростях вращения. Соответственно и несущая ШИМ

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

30

Ине. № подп.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Ине. № инв.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

(широтно-импульсная модуляция) сигнала имеет ту же частоту. Как показывают исследования, компромиссной является частота 40 кГц, на которой максимальная скорость вращения, допустимая системой управления, достигает 12000 об/мин. При этом, силовые ключи (MOSFET) не переходят в режим усиления и, соответственно, обеспечивают приемлемый КПД привода. Эффективное уменьшение влияния стоп-момента на неравномерность вращения в таком приводе достигается за счет использования замкнутого регулирования токами. При резком увеличении скорости, связанной с наличием стоп-момента, двигатель вырабатывает противо ЭДС. Происходит изменение напряжения питания, что приводит к увеличению тока, протекающего в обмотках двигателя. Контур тока, который выполняет коррекцию задания токов каждые 25 мкс, успевает зафиксировать изменения тока и внести компенсационное воздействие, позволяющее сгладить резкие рывки вала двигателя, что и приводит к улучшению плавности хода. Оставшиеся низкочастотные колебания скорости исключаются замкнутым контуром управления скоростью. Наличие такой системы управления позволяет отказаться от дорогих пятифазных ШД. Достаточно использовать обычный гибридный ШД, при этом все его минусы «сглаживает» электроника. Использование замкнутого регулирования током дает еще немаловажное преимущество – увеличение КПД привода. Увеличение КПД привода происходит за счет того, что задаваемые токи в обмотках двигателя соответствуют нагрузке на валу двигателя. Повышенный ток подается только при появлении внешнего противодействия, в отличие от разомкнутого микрошагового способа управления, где ток в обмотки двигателя подается всегда даже при нулевом противодействующем моменте. Наряду с очевидными преимуществами, методу векторного управления присущи и некоторые недостатки, такие, как большая вычислительная сложность и необходимость знания параметров двигателя. Кроме того, при векторном управлении колебания скорости на постоянной нагрузке больше, чем при скалярном управлении. Следует отметить, что существуют области техники, в которых возможно использование только микрошагового управления, например, в электроприводе намоточного станка. [12], [13] .

Инв. № подл.	Подп. и дата
	Взам. инв. №
Инв. № дубл.	Подп. и дата
	Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Проведя анализ способов управления шаговым двигателем выбираем способ управления - дробление шага. Внедрить векторное управление, для привода на шаговом двигателе, думаю, может быть задачей выпускной квалификационной работы обучающихся студентов в будущем.

Инв. № подл	Подп. и дата				Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	270304.2020.047.00.00.ПЗ.		
					32		

4. ВЫБОР ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

4.1. Классификаций шаговых двигателей

Систематизировать шаговые двигатели возможно по разнообразным критериям, существует большое количество классификаций шаговых двигателей, рассмотрим не все, а некоторые из них.

4.1.1. По виду связи ротора и статора:

- с механической связью;
- с электромагнитной связью.

Реверсивные импульсные двигатели храпового типа, получили широкое распространение из двигателей с механической связью статора и ротора. У таких двигателей шаг обработки постоянен и распознается только зубцовым делением храпового колеса. По этой причине возможно предотвратить допущение ошибок в работе системы за счёт двигателя. Низкое быстродействие этих двигателей приводит к уменьшению их использования низкочастотными импульсными устройствами, такими как счётчики, шаговые искатели, различного типа регистраторы, программные устройства и т.д.» В настоящее время шаговые двигатели с механической связью намного менее популярны, по сравнению с шаговыми двигателями с электромагнитной связью. «Двигатели с электромагнитной связью ротора и статора широко применимы, потому что характеризуются высокими динамическими параметрами. По факту они представлены в виде многофазных синхронных двигателей, однако, в отличие от предыдущих, они сохраняют синхронизм как при движении ротора, так и при пуске, торможении и реверсе, кроме того они предполагают долговременную фиксированную стоянку ротора в момент прохождения постоянного тока по обмоткам ротора» [10]

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

33

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	
Ли	Изм.
№ докум.	Подп.
Дат	

4.1.2. По виду перемещения ротора

- Поворотные шаговые двигатели;
- Линейные шаговые двигатели.

У поворотного типа двигателей ротор совершает вращательное движение, а у линейного типа – поступательное.

4.1.3. По конструктивным особенностям.

- Реактивный шаговый двигатель
- С постоянными магнитами
- Биполярные и униполярные
- Гибридные двигатели

Реактивный шаговый двигатель - синхронный реактивный двигатель. Статор реактивного шагового двигателя обычно имеет шесть явно выраженных полюсов и три фазы (по два полюса на фазу), ротор - четыре явно выраженных полюса, при такой конструкции двигателя шаг равен 30 градусам. В отличии от других шаговых двигателей выключенный реактивный шаговый двигатель не имеет фиксирующего (тормозящего) момента при вращении вала. Реактивные шаговые двигатели применяются только тогда, когда требуется не очень большой момент и достаточно большого шага угла поворота. Такие двигатели сейчас редко применяются.

Отличительные черты:

- ротор из магнитомягкого материала с явно выраженными полюсами;
- наименее сложный и самый дешевый шаговый двигатель;
- отсутствует фиксирующий момент в обесточенном состоянии;
- большой угол шага.

Шаговый двигатель с постоянными магнитами имеет ротор на постоянных магнитах. Статор обычно имеет две фазы. По сравнению с реактивными, шаговые

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

34

Ине. № дубл.	Ине. № подп
Взам. инв. №	Подп. и дата
Подп. и дата	Подп. и дата
Ине. № инв.	Ине. № инв.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

двигатели с активным ротором создают большие вращающие моменты, обеспечивают фиксацию ротора при снятии управляющего сигнала. Недостаток двигателей с активным ротором — большой угловой шаг (7,5—90°). Это объясняется технологическими трудностями изготовления ротора с постоянными магнитами при большом числе полюсов. Если угол фиксации находится в диапазоне от 7,5 до 90 градусов скорее всего это шаговый двигатель с постоянными магнитами нежели гибридный шаговый двигатель. Обмотки могут иметь ответвление в центре для работы с однополярной схемой управления. Двухполярное управление требуется для питания обмоток без центрального ответвления.

Таким образом, по виду обмоток выделяют два типа шаговых двигателей:

- униполярный (однополярный);
- биполярный (двухполярный).

Униполярный шаговый двигатель с постоянными магнитами имеет одну обмотку на фазу с ответвлением в центре. Каждая секция обмотки включается отдельно. Таким образом расположение магнитных полюсов может быть изменено без изменения направления тока, а схема коммутации может быть выполнена очень просто (например на одном транзисторе) для каждой обмотки. Обычно центральное ответвление каждой фазы делается общим, в результате получается три вывода на фазу и всего шесть для обычного двухфазного двигателя. Легкое управление однополярными двигателями сделало их популярными для любителей, они возможно являются наиболее дешевым способом чтобы получить точное угловое перемещение.

Гибридный шаговый двигатель. Гибридный шаговый двигатель был создан с целью объединить лучшие свойства шаговых двигателей:

- реактивного и с постоянными магнитами, что позволило добиться меньшего угла шага. Ротор гибридного шагового двигателя представляет из себя цилиндрический постоянный магнит, намагниченный вдоль продольной оси с радиальными зубьями из магнитомягкого материала. Полюс ротора, скажем южный полюс, можно выровнять со статором в 48 отдельных положениях.

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

35

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Однако зуб южного полюса ротора смещен относительно северного зуба на половину зубцового деления. Поэтому ротор может быть выставлен со статором в 96 отдельных положениях. Шаговый гибридный двигатель имеет:

- шаг меньше, чем у реактивного двигателя и двигателя с постоянными магнитами;
- ротор - постоянный магнит с тонкими зубьями. Северные и южные зубья ротора смещены на половину зубцового деления для уменьшения шага;
- полюсы статора имеют такие же зубья как и ротор;
- статор имеет не менее чем две фазы;
- зубья соседних полюсов статора смещены на четверть зубцового деления для создания меньшего шага.

Более подробно о конструктивных особенностях можно ознакомиться в [3]

По результатам анализа данных классификаций шаговых двигателей и исходя из требований, сформированных в результате анализа конструкции имеющегося станка, для использования в работе, выбран и приобретен шаговый двигатель: NEMA 17 42BYGHW609; рисунок 5



Рисунок 5. Шаговый двигатель: NEMA 17 42BYGHW609

Характеристики двигателя 17 42BYGHW609 представлены в таблице 1.

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

36

Таблица 1. Характеристики шагового двигателя

Вес (кг)	0.3
Крутящий момент (Н·см)	53
Удерживающий момент (г·см)	5400
Фиксирующий момент (г·см)	220
Момент инерции ротора (г·см ²)	54
Шаг двигателя	1.8
Напряжение (В)	3.4
Ток (А)	1.7
Сопротивление обмотки (Ом)	2
Индуктивность обмотки (мГн)	3
Длина двигателя (мм)	40
Диаметр вала (мм)	5

Инв. № подл.	Подп. и дата
Инв. № дубл.	Взам. инв. №
Инв. № подл.	Подп. и дата
Инв. № подл.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

37

5. РАЗРАБОТКА АППАРАТНОЙ ЧАСТИ

5.1. Разработка схемы структурной

В ходе анализа технического задания и поставленных задач были выделены структурные блоки и построена структурная схема.

В нашей системе взаимодействуют:

- блок управления (БУ);
- блок индикации (БИ);
- драйвер двигателя (ДД);
- датчик педали (ДП);
- датчик количества оборотов (ДО);
- пульт управления (ПУ);
- исполнительный двигатель (ИД);
- источник питания (ИП).

Структурная схема изображена на рисунке 6.

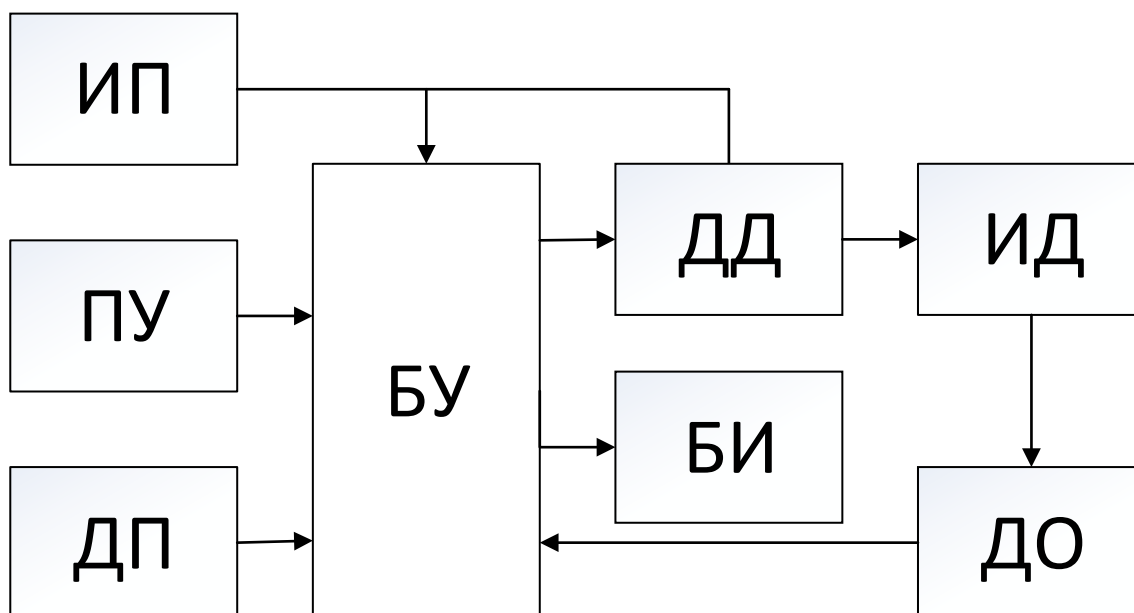


Рисунок 6. Структурная схема

На рисунке 6 следующие обозначения:

БУ - представляет собой микроконтроллер с прошитой в память микроконтроллера программой, который осуществляет управление двигателем по заданным с пульта управления данным. То есть осуществляет пуск, вращение и торможение двигателем в соответствии с программой для намотки трансформаторов.

БИ - блок индикации, служит для контроля количества витков, номера трансформатора или дросселя и наименования обмотки.

ИД - Электродвигатель, преобразовывающий электрическую энергию в механическую, предназначен для осуществления управления объектом управления, по определенным законам.

ДО - датчик количества оборотов, формирует импульсы для БУ.

ПУ - служит для ввода программы намотки трансформаторов.

ДП - датчик педали, формирует сигнал для БУ, для управления скоростью укладки.

ДД - драйвер двигателя выполняет преобразование напряжения ИП, в напряжение необходимое для управления двигателем. Для управления двигателем необходимо устройство, которое бы преобразовывало управляющие сигналы малой мощности в токи, достаточные для управления мотором. Такое устройство называют драйвером двигателей.

5.2. Разработка схемы функциональной

Разработка функциональной схемы выполнялась по структурной схеме на основе анализа требований ТЗ. Функционирование блока управления намоточного станка определяется программой, которая хранится во внутренней памяти микроконтроллера. Изменением программного обеспечения можно достичь выполнения различных алгоритмов работы привода, при неизменной схематической части. Программа должна обеспечивать выполнение следующих функций:

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

39

Ине. № подп	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	
Ине. № подп	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

- возможностью выбора номера трансформатора (дросселя) и номера обмотки с помощью клавиатуры и отображать эти цифры на индикаторе;
- Содержать библиотеку элементов с количеством обмоток и витков;
- осуществление опроса датчиков, кнопок;
- вести подсчёт количества оборотов и отображать цифры на индикаторе;
- обеспечивать режимы пуска и торможения;
- плавно изменять частоту вращения двигателя.

Блок-схема алгоритма работы программы представлена в приложении А.

5.3. Выбор языка программирования, написание исходного кода

В технических требованиях к параметрам и характеристикам будущей системы определено присутствие программируемого микроконтроллера. Тему выбора языка программирования можно раздуть до очень больших размеров, перечисляя все возможные и невозможные тонкости в этом деле. Так же стоит учитывать, что большие программы могут писаться на разных языках в зависимости от их функционала. Программирование для микроконтроллеров, как и программирование для универсальных компьютеров прошло огромный путь развития от программирования в машинных кодах до применения современных интегрированных систем написания программ, отладки и программирования микроконтроллеров. В настоящее время исходный текст программы пишется на одном из языков программирования.

Сами языки программирования в свою очередь делятся на две группы:

- языки программирования "высокого" уровня;
- языки программирования "низкого" уровня.

К языкам программирования "низкого" уровня относятся языки программирования, в которых каждому оператору соответствует не более одной машинной команды. Набор машинных команд каждого конкретного процессора обязательно входит в состав такого языка программирования. Языки

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

программирования низкого уровня в настоящее время называются ассемблерами (старое название автокоды). Для каждого процессора существует своя группа ассемблеров. Ассемблеры для одного и того же процессора различаются между собой дополнительными возможностями, облегчающими программирование.

Языки программирования "высокого" уровня позволяют заменять один оператор несколькими машинными командами. Это позволяет увеличивать производительность труда программистов. Кроме того, языки "высокого" уровня позволяют писать программы, которые могут выполняться на различных микропроцессорах. (Естественно, что при этом необходимо использовать программы — трансляторы для соответствующего процессора.) В настоящее время наиболее распространены такие языки программирования высокого уровня как С и PLM. О преимуществах и недостатках языков высокого и низкого уровней говорилось достаточно много. Выбор языка программирования зависит от состава аппаратуры, для которой пишется программа, а также от требуемого быстродействия всего программно-аппаратного комплекса в целом.

В тех случаях, когда объём ОЗУ и ПЗУ мал (в районе нескольких килобайт) альтернативы ассемблеру нет. Именно эти языки программирования позволяют получать самый короткий и самый быстродействующий код программы. Языки программирования высокого уровня позволяют значительно сократить время создания программы, но при этом увеличивается размер программы, поэтому для выбора такого языка программирования для микропроцессорных систем необходимо иметь достаточно большой объём памяти программ. Для программирования на ассемблере в данной работе используем программное обеспечение AVR Studio. Для написания программы создадим новый проект. Текст программы на языке ассемблер, представлен в приложении Б.

5.4. Основной код

Работа программы начинается с установки указателя стека(SPL) в конечный адрес оперативной памяти. Затем производится конфигурирование портов ввода-

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

41

Ине. № дубл.	Взам. ине. №	Подп. и дата
Ине. № подл.	Подп. и дата	Ине. № подл.
Ли	Изм.	№ докум.
Подп.	Дат	

вывода: какая ножка микроконтроллера будет дискретным входом или выходом, или будет выполнять определенную функцию, например, в нашем случае, PA4 выполняет функцию входа АЦП. Далее, происходит настройка режимов работы таймера и АЦП.

После того, как периферия настроена, программа производит первичную инициализацию переменных в памяти и регистров. Производится загрузка параметров 1-й обмотки по умолчанию.

Основной цикл программы:

В основном цикле присутствует код задержки, так как программа работает быстро относительно восприятия человека, и требуется замедление для взаимодействия с человеком.

Опрос нажатия кнопок:

Кнопки подключены к ножкам PB4-PB7. Последовательно опрашивая состояние этих входов, при обнаружении низкого уровня считается, что кнопка нажата, и программа передает управление соответствующему участку кода.

Опрос клавиатуры происходит циклически в теле основного цикла.

5.4. Прерывание при окончании преобразования АЦП

В процедуре обработки прерывания по превышению преобразования АЦП происходит считывание результата, который пропорционален положению педали. Происходит установка скорости вращения двигателя в соответствии с этим значением. Так же, в этой процедуре происходит считывание значения датчика оборотов и подсчет витков. При завершении обмотки привод станка останавливается.

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

42

Ине. № подп	Подп. и дата	Ине. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

6. СХЕМОТЕХНИКА БЛОКА УПРАВЛЕНИЯ

6.1. Выбор микроконтроллера

Существует достаточно большое количество производителей микроконтроллеров. Наибольшее распространение на отечественном рынке получили микроконтроллеры фирм Microchip и Atmel. Отличия между ними заключаются в незначительной разности в цене, а так же в развитости периферийных устройств. Контроллеры фирмы Atmel дешевле, более приспособлены к выполнению математических операций и набор периферийных устройств богаче. Для выбора конкретного микроконтроллера необходимо установить какие именно периферийные устройства необходимы. После анализа ассортимента выпускаемых фирмой “ Atmel ” контроллеров, был выбран контроллер ATmega8535. ATmega8535 является КМОП 8 битным микроконтроллером, построенным на расширенной AVR RISC архитектуре. Используя команды исполняемые за один машинный такт, контроллер достигает производительности в 1 MIPS на рабочей частоте 1 МГц, что позволяет разработчику эффективно оптимизировать потребление энергии за счёт выбора оптимальной производительности.

AVR ядро сочетает расширенный набор команд с 32 рабочими регистрами общего назначения. Все 32 регистра соединены с АЛУ, что обеспечивает доступ к двум независимым регистрам на время исполнения команды за один машинный такт. Благодаря выбранной архитектуре достигнута наивысшая скорость кода и соответственно высокая производительность в 10 раз превосходящая скорость соответствующего CISC микроконтроллера. ATmega8535/L содержит: 8К байт программируемой FLASH памяти программ с возможностью чтения в процессе записи, 512 байтов EEPROM, 512 байтов SRAM, 32 входа-выхода общего назначения, 32 рабочих регистра, три гибких таймера/счётчика с режимом сравнения, внешние и внутренние прерывания, последовательный программируемый USART, байт ориентированный последовательный

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

43

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

двухпроводный интерфейс, 8- канальный, 10- битный АЦП с дополнительным программируемым дифференциальным усилителем (для TQFP корпуса), программируемый Watchdog таймер с внутренним генератором, последовательный SPI порт, и шесть, выбираемых программно, режимов сбережения энергии. [11]

В режиме Idle ЦПУ не функционирует в то время как функционируют SRAM, таймеры/счётчики, SPI порт и система прерываний. В ATmega8535 существует специальный режим подавления шума АЦП, при этом в целом в спящем режиме функционирует только АЦП и асинхронный таймер для исключения цифровых шумов в процессе преобразования АЦП. В режиме Выкл. процессор сохраняет содержимое всех регистров, замораживает генератор тактовых сигналов, приостанавливает все другие функции кристалла до прихода внешнего прерывания или поступления внешней команды Reset. В режиме ожидания работает генератор тактовых частот в то время как остальные блоки находятся в спящем режиме. Быстрый переход в нормальный режим работы обеспечивает малое потребление энергии. В расширенном режиме ожидания в рабочем состоянии находятся основной генератор и асинхронный таймер. Микросхемы выпускаются при использовании Atmel технологии энергонезависимой памяти высокой плотности. Встроенная ISP FLASH позволяет перепрограммировать память программ через последовательный SPI интерфейс стандартным программатором энергонезависимой памяти, или встроенной загрузочной программой работающей в ядре ЦПУ. Загрузочная программа может использовать любой интерфейс для экспорта рабочей программы во FLASH память.

Комбинация расширенной 8- и битной RISC архитектуры ЦПУ и твёрдотельной FLASH памяти обеспечивают ATmega8535 высокую гибкость и экономическую эффективность во встраиваемых системах управления. Микроконтроллер имеет отдельные пространства адресов памяти программ и данных (гарвардская архитектура). Структурная схема микроконтроллера Atmega8535 приведена на рисунке 7; назначение выводов рисунок 8

Ине. № подл.
Подп. и дата
Ине. № дубл.
Взам. инв. №
Подп. и дата
Ине. № инв.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

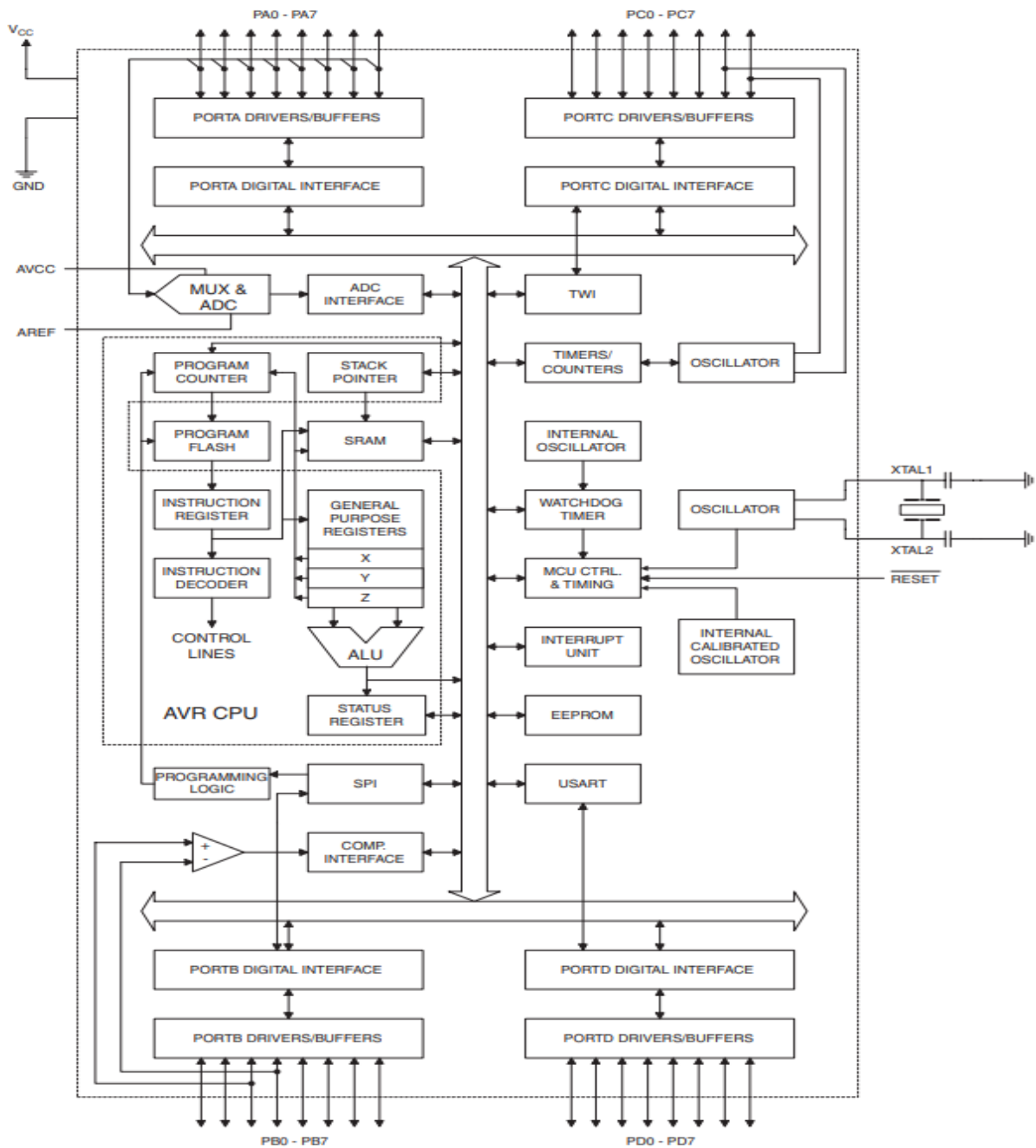


Рисунок 7. Структурная схема микроконтроллера Atmega8535

Инд. № подл. Подп. и дата. Инв. № дубл. Подп. и дата. Инв. № инв. №. Взам. инв. №. Подп. и дата.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

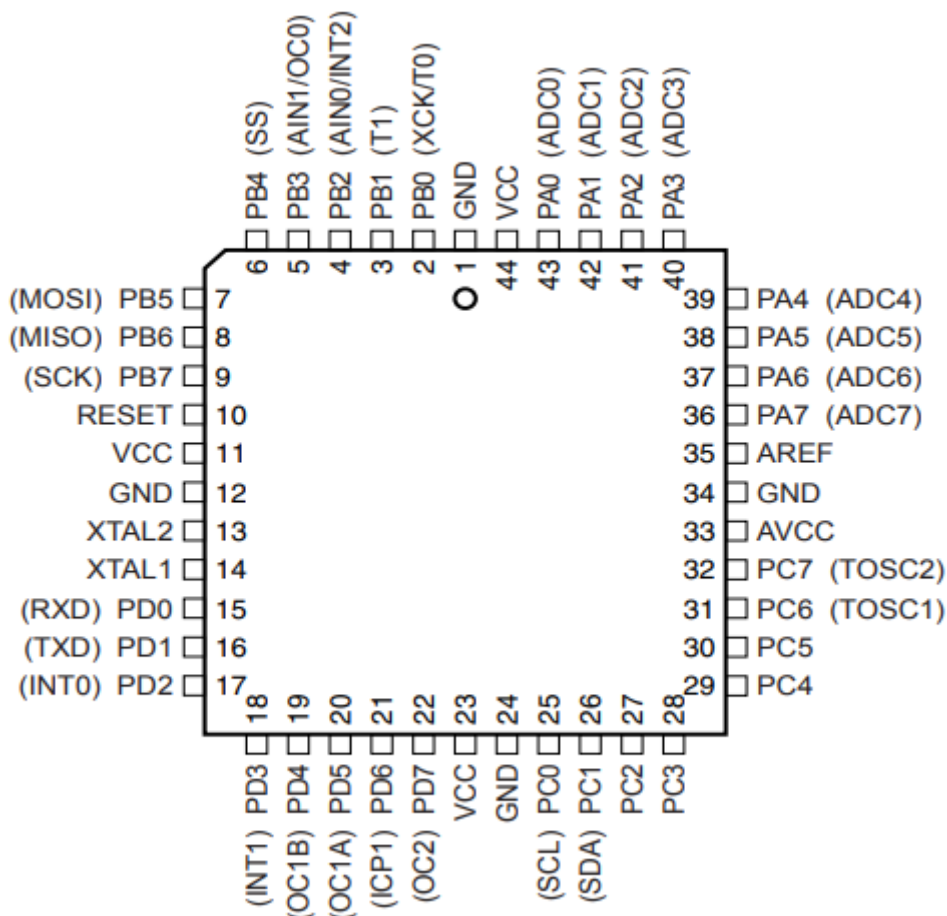


Рисунок 8. Назначение выводов микроконтроллера Atmega8535

Назначение выводов:

- RESET – сброс микроконтроллера;
- VCC – напряжение питания;
- GND – общий провод;
- XTAL1, XTAL2 – подключение кварцевого резонатора;
- AVCC – аналоговое питание для АЦП;
- AREF – внешний источник опорного напряжения для АЦП;
- PA0...PA7 – Выводы порта А;
- PB0...PB7 – Выводы порта В;
- PC0...PC7 – Выводы порта С;
- PD0...PD7 – Выводы порта D.

Альтернативные функции выводов:

- XCK – внешний тактовый вход интерфейса USART;

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

46

Инва. № подл.	Подп. и дата
Инва. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	Подп. и дата
Инва. № подл.	Подп. и дата
Ли	Изм.
№ докум.	Подп.
Дат	

- T0, T1 – входы таймеров T0, T1;
- OC0, OC1A, OC1B, OC2 – выходы таймеров T0, T1, T2;
- ICP – вход захвата таймера T1;
- INT0, INT1, INT2 – входы внешних прерываний;
- AIN0, AIN1 – входы аналогового компаратора;
- SS – сетевой режим по интерфейсу SPI;
- MOSI – выход интерфейса SPI;
- MISO – вход интерфейса SPI;
- SCK – тактовый вход интерфейса SPI;
- RXD, TXD – вход и выход USART;
- SDA, SDL – линии последовательной передачи данных и тактовых импульсов по шине I2 C;
- TOSC2, TOSC1 – выводы подключение часового резонатора 32768 Гц;
- ADC0...ADC7 – каналы АЦП.

Микроконтроллер, являющийся многофункциональной, вычислительной микросхемой и не обходится без внешней, электронной «обвязки», рисунок 9. Резистор R1 и конденсатор C1 образуют цепь сброса микроконтроллера – это важный этап первоначального запуска. К выводам 12, 13 подключен кварцевый резонатор Q1 с подтянутыми к его выводам конденсаторами C2 и C3, посаженными на корпус. В только, что купленном микроконтроллере Atmega 8535, конфигурационные ячейки установлены для работы от внутреннего генератора с RC – цепочкой. [9]

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

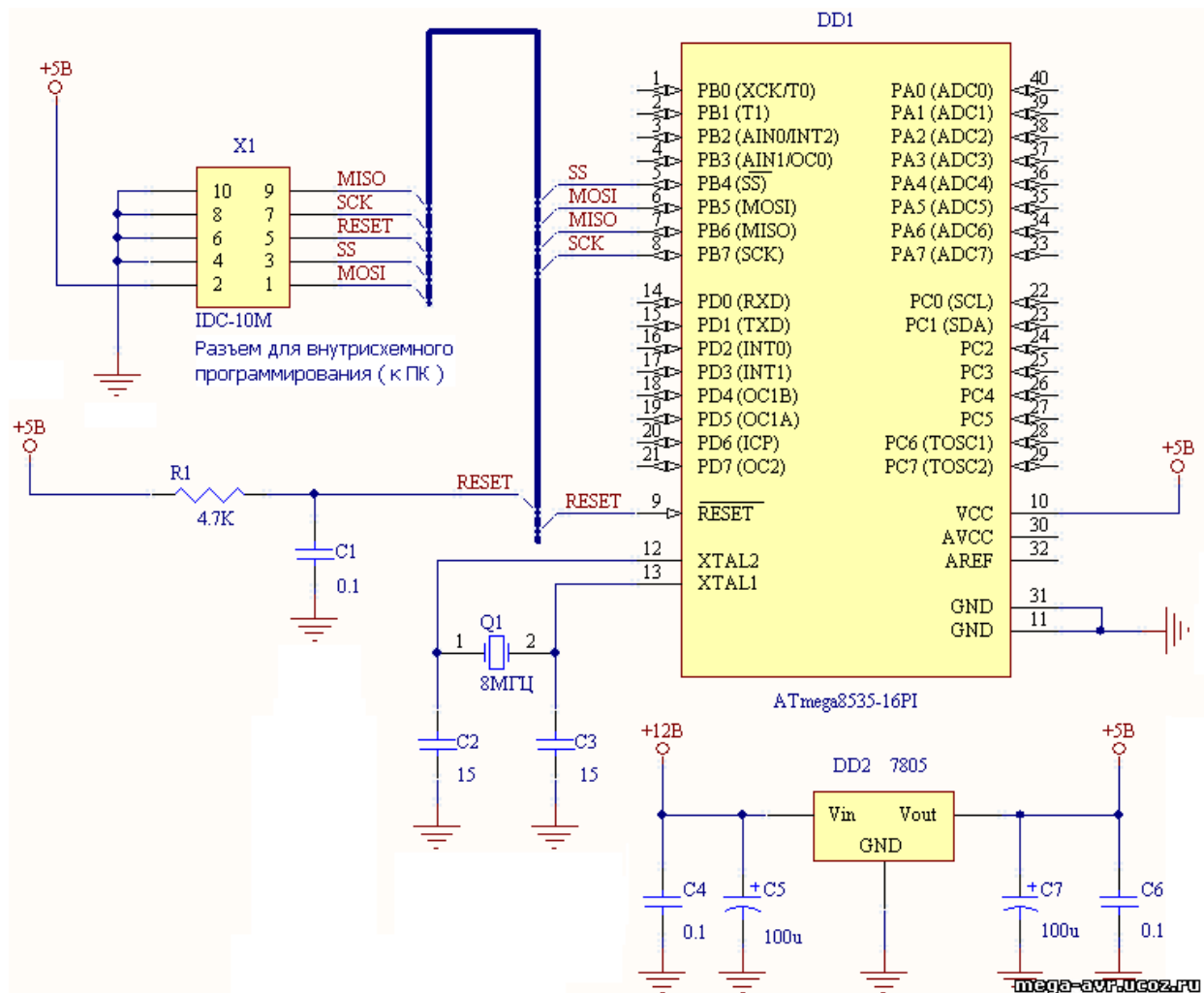


Рисунок 9. Внешняя «обвязка» микроконтроллера Atmega8535

Для того, чтобы начать работать с микроконтроллером, к нему необходимо подключить кварцевый резонатор к выводам XTAL1, XTAL2, RC-цепь сброса к выводу RESET, 5в стабилизированного питания к выводам VCC, GND, разъем для программирования по каналу SPI к выводам SS, MOSI, MISO, SCK, RESET. Как видно из схемы, разъем X1 используется для программирования микроконтроллера через интерфейс SPI. Интерфейс SPI - это стандартный последовательный интерфейс, который реализован во многих электронных устройствах, в частности в рассматриваемом нами контроллере Atmega 8535. При этом в передаче, задействованы следующие пины, это MOSI, MISO, SCK, RESET. Если перед включением питания на ножку RESET и на ножку SCK подать 0 и после этого включить питание, то контроллер переходит автоматически в режим программирования и становится восприимчив к командам, который посылает ему

Име. № подл.	Подп. и дата
Име. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Име. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

программатор. В данном случае компьютер через программатор. Таким образом, позволяет запрограммировать свою память с помощью специальных последовательностей байтов, которые устанавливают режим программирования. Так же неотъемлемой частью любого микроконтроллера являются порты ввода-вывода. Посредством портов, архитектура микроконтроллера имеет возможность взаимодействовать с периферией. Порты микроконтроллера являются, помимо логическими линиями ввода-вывода, но и еще функциональными выводами. Какой именно вывод микроконтроллера будет являться линией I/O или функциональным значением, зависит от программного решения. Так как нам необходимо управлять скоростью намотки, задействуем встроенный аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Для правильного функционирования АЦП ему необходим эталон, то есть напряжение, которое будет приниматься за базу, относительно которой будет измеряться подаваемый на АЦП аналоговый сигнал. Это эталонное напряжение можно называть опорным напряжением. В качестве источника опорного напряжения в микроконтроллерах Atmega8535 может выступать напряжение питания контроллера, внутренний стабилизированный источник или внешний сигнал, подключаемый к выводу микроконтроллера. При использовании в качестве источника опорного напряжения питания микроконтроллера 5 В, в виду того, что в качестве АЦП в микроконтроллерах AVR используется АЦП последовательного приближения, процесс преобразования аналогового сигнала в пропорциональный ему цифровой код занимает некоторое время. Упрощенная структура АЦП последовательного приближения представлена на рисунке 10.

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № подл.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

49

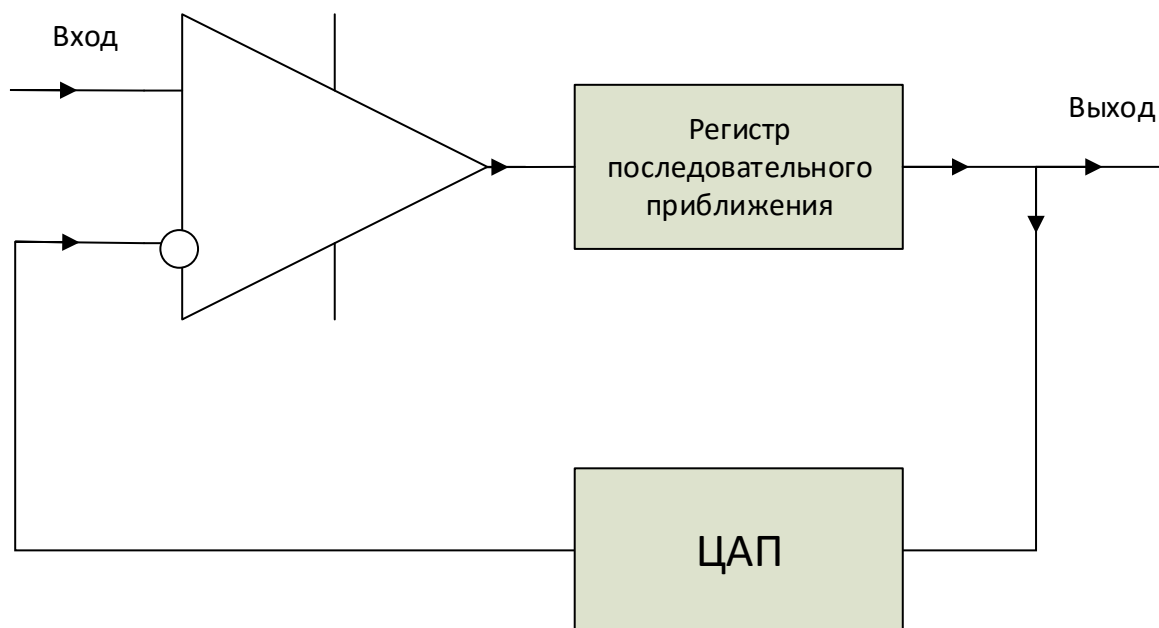


Рисунок 10. Аналого-цифровой преобразователь

Структура АЦП последовательного приближения АЦП состоит из компаратора, регистра последовательного приближения и цифро-аналогового преобразователя. Работает АЦП следующим образом. В начале преобразования все выходы регистра последовательного приближения устанавливаются в состояние логического «0». При этом на выходе внутреннего цифро-аналогового преобразователя формируется аналоговый сигнал, равный половине диапазона АЦП. Компаратор при этом измеряет разницу между входным сигналом и сигналом с выхода ЦАП. Принцип работы АЦП последовательного приближения, если напряжение на входе АЦП оказывается больше, чем установленное на выходе ЦАП, то регистр последовательного приближения сохраняет принятое изначально состояние. Если же измеряемое напряжение оказывается меньше подаваемого с ЦАП, регистр устанавливается в иное состояние. [14]

6.2. Разработка схемы электрической принципиальной

Разработка принципиальной электрической схемы, выполнялась мной по структурной схеме, на основе анализа требований ТЗ, а также требований, предъявляемых к каждому функциональному элементу. Цель проектирования электронного блока – сделать так, чтобы он выполнял требуемые функции. То

есть разработка устройства начинается с рассмотрения его функций и взаимосвязей между ними. Результат такого рассмотрения представлен в виде электрической схемы. Реализация каждой функции с помощью доступных технических средств должна быть представлена в виде электрической принципиальной схемы – схемы, показывающей принципы функционирования электронного устройства. Моделирование рассмотрено на примере использования электронной системы автоматизированного проектирования (САПР) Altium Designer. Для оптимальной организации библиотек в САПР необходимо изучить этапы и маршруты проектирования электронных схем. Первым этапом проектирования электронных схем является разработка структурных и функциональных. Схема структурная разрабатывается при проектировании установки на стадии, предшествующих разработке схем других типов. Схема функциональная – схема, разъясняющая определенные процессы, протекающие в отдельных функциональных цепях изделия или в изделии в целом. Схематическими функциональными пользуются для изучения принципов работы изделий а также при их наладке, контроле и ремонте. Принципиальная электрическая схема состоит из условно-графических обозначений и электрических связей. Условно-графические обозначений электронных компонентов выбираются из библиотек компонентов. Если плата, содержит микросборки, то предварительно необходимо их спроектировать перед разработкой принципиальной электрической схемы. Библиотека электронных компонентов содержит условно-графическое обозначение и посадочное место под корпус компонента, а также в библиотеке проведена взаимосвязь условно-графических обозначений и посадочного места. Условно-графические обозначения используются для разработки принципиальной электрической схемы. Библиотека электронных компонентов содержит условно-графическое обозначение и посадочное место под корпус компонента, а также в библиотеке проведена взаимосвязь условно-графического обозначения и посадочного места. Посадочное место под корпус компонента содержит сведения о типе контактных площадок (штыревые или планарные) и конструктиве (форме) корпуса. Посадочное место

Инв. № подл.	Подп. и дата
	Взам. инв. №
Инв. № дубл.	Подп. и дата
	Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

51

используется для разработки топологии печатной платы. В библиотеке должен быть описан каждый тип электронного компонента, т.е. для каждого компонента необходимо создать условное графическое обозначение, посадочное место, а затем описать компонент, т.е. упаковать секции (элементы) в корпус, такой подход используется в САПР P-CAD. Практически во всех САПР имеется набор библиотек. Но большинство САПР, используемых в России, – зарубежные, и условно-графические обозначения не соответствуют российским ГОСТам. В связи с чем приходится создавать новые условно-графические обозначения. Разработка принципиальной электрической схемы завершается генерацией списка электрических соединений для возможности сквозного проектирования печатной платы (ПП). Конструирование ПП основано на этом списке и взаимосвязи каждого символа, описанного в библиотеке. Для автоматизированного создания перечня и спецификации в Altium Designer все составляющие записи в спецификации надо добавить в «schlib». Демонстрационная версия программы «Генератор перечней» не бесплатная. Она изменяет параметры (атрибуты) компонентов схем, вставляет одинаковые позиционные обозначения в создаваемые документы, но нет возможности печати созданных документов, экспорта документов в файл, копирования текстовой информации в буфер обмена. Создания схемы электрической принципиальной и печатной платы выполнялась мной, с помощью программного комплекса Altium Designer 20.1.7. Процесс разработки схемы электрической принципиальной показан на рисунке 11, а печатной платы на рисунке 12.

Ине. № подп	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

52

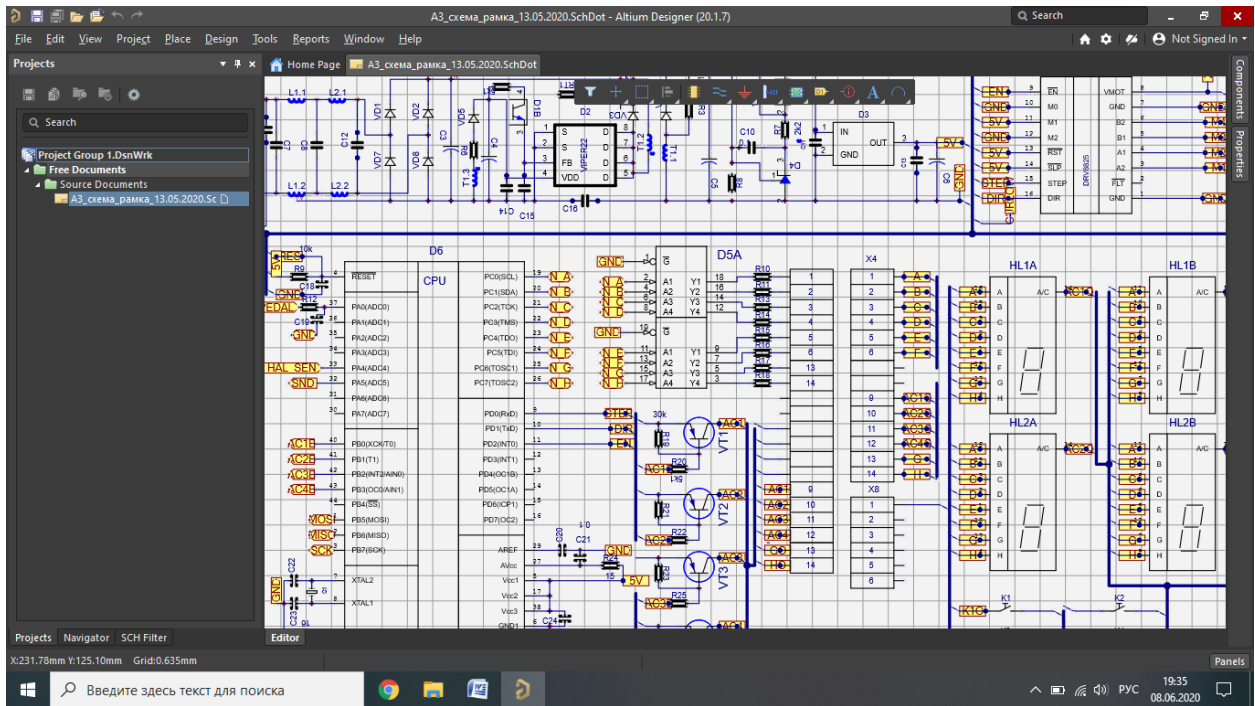


Рисунок 11. Схема электрическая принципиальная

Расчёты основных параметров, производились в электронной таблице Excel. Чертеж схемы электрической принципиальной, в формате A1, приведен в приложении В, а перечень элементов в приложении Г.

Инв. № подл.	Подп. и дата
Инв. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	Подп. и дата
Инв. № подл.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

53

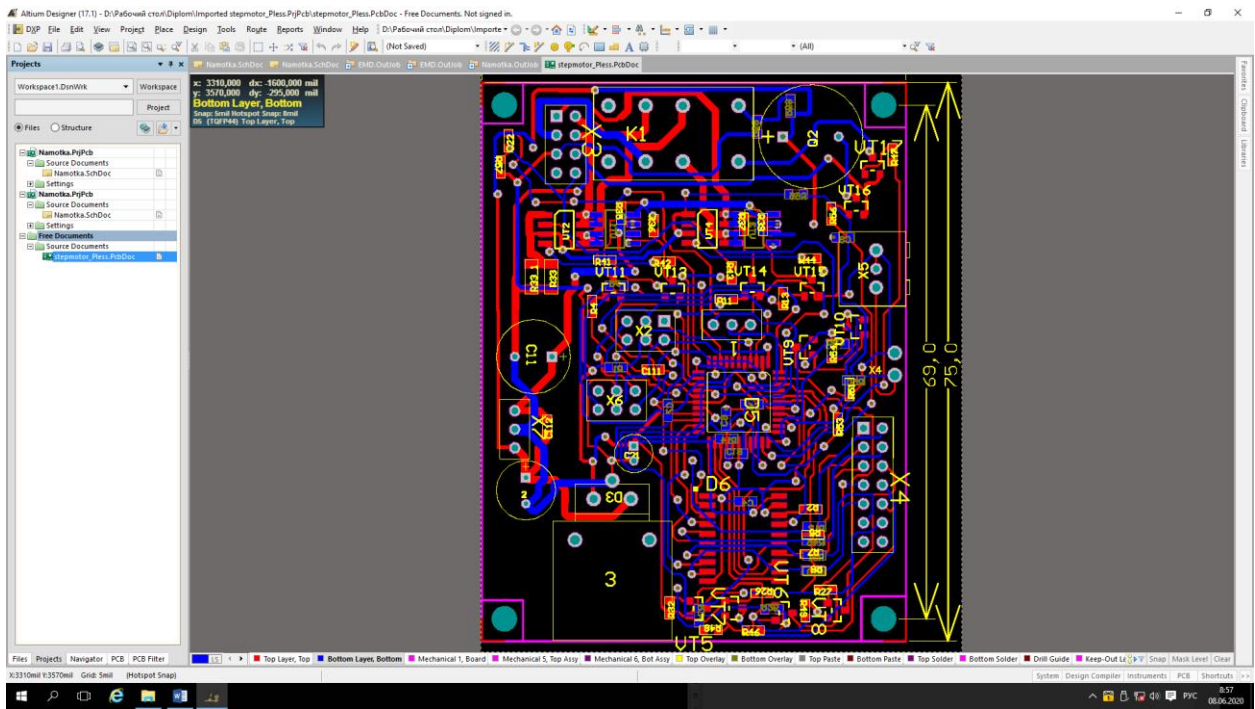


Рисунок 12. Печатная плата

Привязка портов системы представлены в таблице 2.

Таблица 2. Привязка портов системы

Сигнал				Порт	Схема согласования	Сигнал	
ДП(датчик педали)	аналог	in	1	PA0	ОУ- ИНУН	P1	
ТМ(ток моста)	аналог	in	1	PA1	напряжение с ток .резист.	I_SN	
SND (динамик)	дискрет	out		PA5	резистор на базу	SND	
КЛ_ВП(кл вперед)	дискрет	in	1	PA6	клав на GND	K_FOR	L
КЛ_НЗ(кл назад.)	дискрет	in	1	PA7	клав на GND	K_BK	L
Затвор 1		out	1	PD0	резистор на затвор	G1	H
База 1		out	1	PD1	резистор на базу	B1	H
Затвор 2	дискрет	out	1	PD2	резистор на затвор	G2	H
База 2	дискрет	out	1	PD3	резистор на базу	B2	H
Затвор 3	дискрет	out	1	PD4	резистор на	G3	H

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

54

Инв. № подл. Подп. и дата
 Инв. № дубл. Подп. и дата
 Взам. инв. №
 Подп. и дата

Ли Изм. № докум. Подп. Дат

					затвор		
База 3	дискрет	out	1	PD5	резистор на базу	B3	H
Затвор 4	дискрет	out	1	PD6	резистор на затвор	G4	H
База 4	дискрет	out	1	PD7	резистор на базу	B4	H
Dig1	дискрет	out	8	PC7-0	светодиод-резистор	A-H	L
AC1		out	1	PB0			L
AC2		out	1	PB1			L
AC3		out	1	PB2			L
AC4		out	1	PB3			L
K1		in	1	PB4			
K2		in	1	PB5			
K3		in	1	PB6			
K4		in	1	PB7			

Расчет делителя педали представлен в таблице 3.

Таблица 3. Расчет делителя педали

Делитель педали			I=	ADC
	R50	0,9	0,53571429	53,5714286
	68	1	0,5952381	59,5238095
	R54	1,1	0,6547619	65,4761905
	100	1,2	0,71428571	71,4285714
		1,3	0,77380952	77,3809524
ADC_RUN MIN		1,4	0,83333333	83,3333333
		1,5	0,89285714	89,2857143
		1,6	0,95238095	95,2380952
		1,7	1,01190476	101,190476
		1,8	1,07142857	107,142857
		1,9	1,13095238	113,095238
		2	1,19047619	119,047619
		2,1	1,25	125
		2,2	1,30952381	130,952381
		2,3	1,36904762	136,904762
		2,4	1,42857143	142,857143
		2,5	1,48809524	148,809524
		2,6	1,54761905	154,761905
		2,7	1,60714286	160,714286

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

55

Инв. № подл. Подп. и дата. Инв. № дубл. Подп. и дата. Взам. инв. №. Подп. и дата.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

		2,8	1,66666667	166,666667
		2,9	1,72619048	172,619048
		3	1,78571429	178,571429
		3,1	1,8452381	184,52381
		3,2	1,9047619	190,47619
		3,3	1,96428571	196,428571
		3,4	2,02380952	202,380952
		3,5	2,08333333	208,333333
		3,6	2,14285714	214,285714
ADC_RUN MAX		3,7	2,20238095	220,238095
		3,8	2,26190476	226,190476
		3,9	2,32142857	232,142857
		4	2,38095238	238,095238
		4,1	2,44047619	244,047619
		4,2	2,5	250
		4,3	2,55952381	255,952381
		4,4	2,61904762	261,904762

Все расчёты производились в электронной таблице Excel. Altium Designer отличается от прочих приложений Windows тем, что все необходимые редакторы представлены в единой среде. Altium Designer предлагает множество сочетаний клавиш и функциональных возможностей, которые позволяют повысить производительность в процессе создания схем.

6.3 Выбор драйвера двигателя

Все сигналы управления шаговым двигателем можно сформировать программно, однако это вызовет большую загрузку микроконтроллера. Поэтому чаще применяют специальные микросхемы драйверов шагового двигателя, которые уменьшают количество требуемых от процессора динамических сигналов. Типично эти микросхемы требуют тактовую частоту, которая является частотой повторения шагов и статический сигнал, который задает направление. Иногда еще присутствует сигнал включения полушагового режима. Для микросхем драйверов, которые работают в микрошаговом режиме, требуется большее количество сигналов.

На рынке и в интернете представлено большое количество блоков управления шаговыми двигателями.

- Полностью автономные;
- Схемы для самостоятельной сборки, с готовым набором элементов и платой;
- Схемы для самостоятельного изготовления;
- Полностью автономные - это программируемые через USB блоки управления, предназначены для управления различными по исполнению шаговыми двигателями различных мощностей. Эти блоки управления поддерживает полно-шаговый режим работы или осуществляет дробление на 1/2, 1/4, 1/16, 1/32 шага. Есть также непрограммируемые блоки управления. Все управление шаговым двигателем осуществляется с самого блока кнопками управления, «шаг», «направление», «разрешение». Схемы для самостоятельной сборки содержат в себе микро контролер силовые ключи и систему обвязки. В зависимости от мощности и функциональности их стоимость сильно различается.

6.3.1 Практическая реализация драйвера

Драйвер шагового двигателя должен решать две основные задачи: это формирование необходимых временных последовательностей сигналов и обеспечение необходимого тока в обмотках. В интегральных реализациях иногда эти задачи выполняются разными микросхемами. Максимальный момент и мощность, которую может обеспечить на валу шаговый двигатель, зависит от размеров двигателя, условий охлаждения, режима работы (отношения работа/стоп), от параметров обмоток двигателя и от типа применяемого драйвера. Тип применяемого драйвера сильно влияет на мощность на валу двигателя. При одной и той же рассеиваемой мощности драйвер с импульсной стабилизацией тока обеспечивает выигрыш в моменте. Некоторые микросхемы предназначены специально для работы в заданном режиме. [14] В результате анализа существующих решений и параметров шагового двигателя НЭМА 17

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	
Ине. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

42BYGHW609, для управления двигателем, выбираем модуль от TI (Texas Instruments Inc.). Основная микросхема модуля, это драйвер DRV8825. Микросхема DRV8825 может работать с выходным напряжением до 45 В и током до 1.5 А на катушку без радиатора и до 2.5 А с радиатором (дополнительным охлаждением). Так же, модуль имеет внутренний стабилизатор напряжения, который питает логическую часть модуля напряжением 3.3 В от источника питания шагового двигателя. Драйвер позволяет использовать шесть вариантов шага: 1, 1/2, 1/4, 1/8, 1/16, 1/32.

Перед использованием модуля необходимо сделать небольшую настройку, ограничить максимальную величину тока, протекающего через катушки шагового двигателя и ограничить его превышение номинального тока двигателя, регулировка осуществляется с помощью подстроечного резистора. Для настройки необходимо рассчитать значение напряжения V_{ref} .

$$V_{ref} = \text{Current Limit} / 2 \quad (1)$$

где, Current Limit — максимальный ток двигателя.

В нашем случае, максимальный ток двигателя, равняется 1,7 А.

$$V_{ref} = 1,7 / 2 = 0,85 \text{ В} [14]$$

6.4 Реализация источника вторичного электропитания (ИВЭП)

Источник электропитания — устройство, которое преобразует параметры электроэнергии основного источника электроснабжения (например, промышленной сети) в электроэнергию с необходимыми параметрами. В нашем случае служит, для обеспечения стабилизированным напряжением 24 В. Под источником питания понимается, как обособленное устройство (адаптер), так и часть устройства. В качестве трансформаторного источника питания понимается блок питания на базе низкочастотного трансформатора. Под импульсным понимается источник питания со схемой формирования высокочастотных

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

импульсов и высокочастотным трансформатором (дресселем в случае с flyback). Трансформаторные блоки питания выгодно использовать только для питания маломощных устройств. При использовании трансформаторных блоков питания следует учитывать значительное изменение выходного напряжения при изменении напряжения сети и нагрузки. Импульсные блоки питания не уступают трансформаторным по мощности, более того, они гораздо эффективнее. КПД современных импульсных блоков питания достигает 95%. В результате краткого анализа существующих решений и параметров, остановимся на импульсном источнике электропитания. Типовая схема преобразователя с гальванической развязкой цепей показана на рисунке 13.

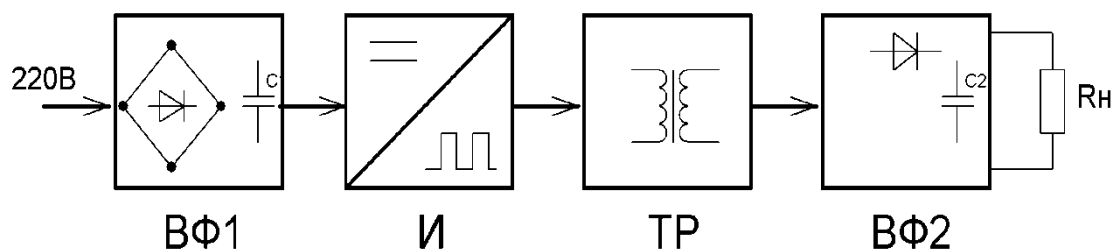


Рисунок 13. Структурная схема типового конвертора сетевого напряжения.

Переменное сетевое напряжение частотой 50Гц выпрямляется и сглаживается выпрямителем-фильтром (ВФ 1). Затем постоянное напряжение с помощью инвертора (И) преобразуется в импульсное переменное напряжение повышенной частоты. Импульсный трансформатор (Тр) преобразует это напряжение в необходимое для питания радиоаппаратуры значение. Выпрямитель-фильтр (ВФ 2) сглаживает пульсации и питает нагрузку R_n .

Для питания блока управления намоточного станка, произведен расчет источника по мощности, путем простого складывания максимальных токов потребления модулей, с учетом блокировки привода.

Основные узлы классической схемы импульсного блока питания состоят из следующих блоков:

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

- Входная цепь (включает в себя сетевой фильтр, диодный мост и фильтрующие конденсаторы);
- ШИМ-контроллер;
- Схемы защиты (по перенапряжению, по превышению температуры, и т.д.);
- Схемы стабилизации выходного напряжения;
- Мощный выходной MOSFET-транзистор;
- Выходная цепь, состоящая из диода и фильтрующих конденсаторов.

Как видно, количество активных компонентов, входящих в состав импульсного блока питания, доходит до нескольких десятков, что увеличивает габаритные размеры устройства и, как следствие, создает ряд проблем при проектировании и отладке. Проанализировав трудности, возникающие при проектировании импульсных источников питания, компанией STMicroelectronicsраз, разработана уникальная серия микросхем, объединив на одном кристалле ШИМ-контроллер, цепи защиты и мощный выходной MOSFET-транзистор. Серия приборов названа VIPer.

Основные особенности:

- регулируемая частота переключения от 0 до 200 кГц;
- режим токовой регуляции;
- мягкий старт;
- выключение при понижении напряжения питания в случае короткого замыкания (КЗ) или перегрузки по току;
- интегрированная в микросхему цепь запуска;
- автоматический перезапуск;
- защита от перегрева;
- регулируемое ограничение по току.

Ине. № подл	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Используются две петли обратной связи — внутренняя петля контроля по току и внешняя петля контроля по напряжению. Внешняя петля регулирования по напряжению определяется величиной, при которой внутренняя токовая петля выключает высоковольтный ключ.

Для расчета параметров источника питания, построенного на основе микросхем семейства VIPer, был использован бесплатный пакет VIPer Design Software. [15], [16]. В результате получили готовую схему с перечнем используемых компонентов, рисунок 14.

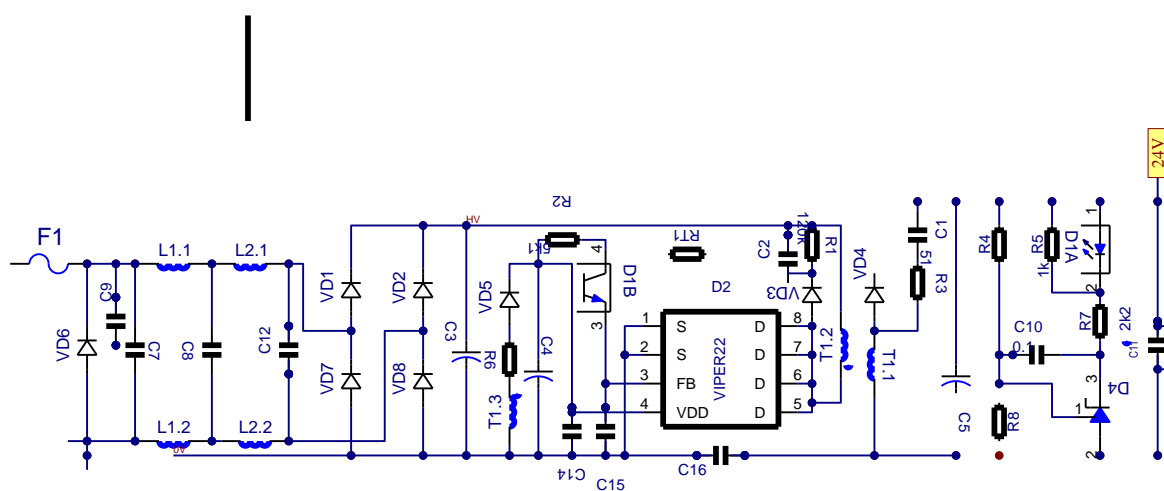


Рисунок 14. Готовая схема

Указанная программа имеет понятный, доступный интерфейс и пользуется популярностью. Если в процессе проектирования будет неверно выбран какой-либо параметр, то утилита предупреждает пользователя о том, что необходимо внести коррективы в расчеты. Из недостатков хочу отметить, отсутствие отечественных магнитопроводов при определении трансформатора.

6.5. Датчики

Датчик — это устройство, воспринимающее внешние воздействия и реагирующее на них изменением электрических сигналов. Под внешним воздействием понимается количественная характеристика объекта, его свойство

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Ине. № инв.	Подп. и дата
Ли	Изм.
№ докум.	Подп.
Дат	

или качество, которую необходимо воспринять и преобразовать в электрический сигнал. Назначение датчиков – преобразование физической величины (электрической или чаще всего неэлектрической) в электрический сигнал, который может быть далее усилен, преобразован при помощи электронных устройств и/или передан по линиям передач. Выходными сигналами датчиков могут быть напряжение, ток или заряд, описываемые такими характеристиками как амплитуда, частота, фаза или цифровым кодом. Набор характеристик, описывающих сигнал, называется форматом выходного сигнала. Каждый датчик характеризуется набором входных параметров (любой физической природы) и набором выходных параметров. Выбор датчика связан как с техническими, так и с экономическими параметрами. Поэтому должны быть приняты во внимание все нюансы его применения. [7] Среди технических параметров особое внимание нужно уделить следующим:

- Электрические воздействия;
- Механические воздействия;
- Температурные воздействия;
- Условия эксплуатации.

На практике часто возникает комбинация нескольких факторов, которые должны быть оценены в своей совокупности для выбора наиболее подходящего варианта датчиков. В нашей системе необходимо два датчика. Датчик педали (ДП) и датчик количества оборотов (ДО), рисунок 5. Требования, предъявляемые к этим датчикам не высоки, поэтому проанализировав массу возможных вариантов исполнения, остановимся на бесконтактных датчиках, основанных на эффекте холла. Преимущества бесконтактных выключателей:

- высокая надежность;
- однозначная зависимость выходной величины от входной;
- стабильность характеристик во времени;
- малые размеры и масса;
- отсутствие обратного воздействия на объект;
- работа при различных условиях эксплуатации.

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

62

Ине. № подп	
Подп. и дата	
Ине. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Ине. № инв.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

Эффект Холла – возникновение в твердотельном проводнике с током, помещенном в магнитное поле, электрического поля в направлении, перпендикулярном направлению тока и магнитного поля. Возникающая разность потенциалов – напряжение зависит от величины и направления приложенного магнитного поля и электрического тока.

Датчик характеризуется следующими параметрами: сопротивлениями, напряжением смещения при отсутствии магнитного поля, чувствительностью и температурным коэффициентом чувствительности. Большинство датчиков Холла изготавливают из кремния. Они бывают простые и интегрированные на одной подложке с интерфейсными электронными схемами. Такая особенность важна при построении прецизионных датчиков, поскольку напряжение холла обычно довольно мало по величине. Встроенная интерфейсная схема может иметь в своем составе пороговый детектор, превращающий датчик в устройство с двумя положениями – выходной сигнал равен нулю при величине магнитного поля ниже порогового значения, и единице, когда превышает пороговое значение. В качестве датчика оборотов, выберем элемент Холла SS49E ОН49Е. Технические характеристики указаны в таблице 4.

Таблица 4. Технические характеристики элемента Холла SS49E ОН49Е

Вид датчика:	биполярный
Интерфейс:	аналоговый
Время отклика:	3 мс
Магнитный диапазон:	1,4 мВ/Гс
Выходной ток:	до 1,5 мА
Рабочее напряжение:	2,7 - 6,5 В
Потребляемый ток:	10 мА
Корпус:	ТО-94

Для измерения скорости вращения, на приводе должен быть закреплен магнит, который будет влиять на датчик холла, после каждого полного оборота. Таким

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

63

Ине. № подл. Подп. и дата. Инв. № дубл. Инв. и инв. №. Взам. инв. №. Подп. и дата.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

образом, после каждого оборота каркаса, получаем импульс, который можем трактовать как один оборот.

В качестве датчика положения педали, так же используем датчик холла. Рабочая педаль, была приобретена, с уже установленным элементом холла и идентифицировать его тип не удалось, рисунок 15.



Рисунок 15. Рабочая педаль

При полном рабочем ходе педали, напряжение на выходе датчика, при питании в 5В, изменяется в пределах от 2,3 до 4,5В; и используется для AREF – микроконтроллера, как внешний источник напряжения для АЦП при работе делителя педали.

6.6. Блок индикации (БИ)

Блок индикации (БИ), представляет собой четыре семи сегментных индикатора, типа TOD-5263AMR-N, с применением динамической индикации. Во время прохождения преддипломной практики была произведена настройка портов ввода/вывода и таймера микроконтроллера и в программе Proteus 8, промоделирована работа, а так же приведены части кода. С целью согласования

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

64

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

выхода микроконтроллера и блока индикаторов, в схему ввели буфер D6, типа SN74HC244DW и транзисторы VT1-VT4. Для ограничения тока светодиода сегмента, служат резисторы R10-R18, сопротивление которых рассчитывается по формуле:

$$R=U(\text{пит})-U(c)/ I, \quad (2)$$

где R - номинал резистора;

U(пит) - напряжение питания, в нашем случае 5 В;

U(c) - прямое падение напряжения на светодиоде;

I - номинальный ток сегмента светодиода.

6.7. Пульт управления (ПУ)

Пульт управления представляет собой четыре малогабаритные кнопки, смонтированные на фольгированный стеклотекстолит. Кнопки подключены к ножкам PB4-PB7 микроконтроллера. Последовательно опрашивая состояние этих входов, при обнаружении низкого уровня считается, что кнопка нажата, и программа передает управление соответствующему участку кода программы для выполнения.

Инв. № подл	Подп. и дата															
	Взам. инв. №															
	Инв. № дубл.															
	Подп. и дата															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> <td style="width: 15%;"></td> </tr> <tr> <td>Ли</td> <td>Изм.</td> <td>№ докум.</td> <td>Подп.</td> <td>Дат</td> <td></td> </tr> </table>											Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат												
270304.2020.047.00.00.ПЗ.					Лист 65											

7. ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ

Внешний вид станка приведен на рисунке 16. Изготовленный станок представляет собой основание из 10 мм фанеры размером 200 на 200 мм. На этом основании расположены источник питания, драйвер шагового двигателя, блок управления с кнопками, четыре 7ми сегментных индикатора, а так же исполнительный двигатель с установленным на валу приспособлением для фиксации каркаса трансформатора. С целью расширения потребительских свойств намоточного станка, электропривод со станиной сделан съемным. Датчик количества оборотов закреплён с помощью скобы и трубки ПВХ на основании электродвигателя. Педаль соединяется с блоком управления 3х жильным экранированным проводом на разъеме.

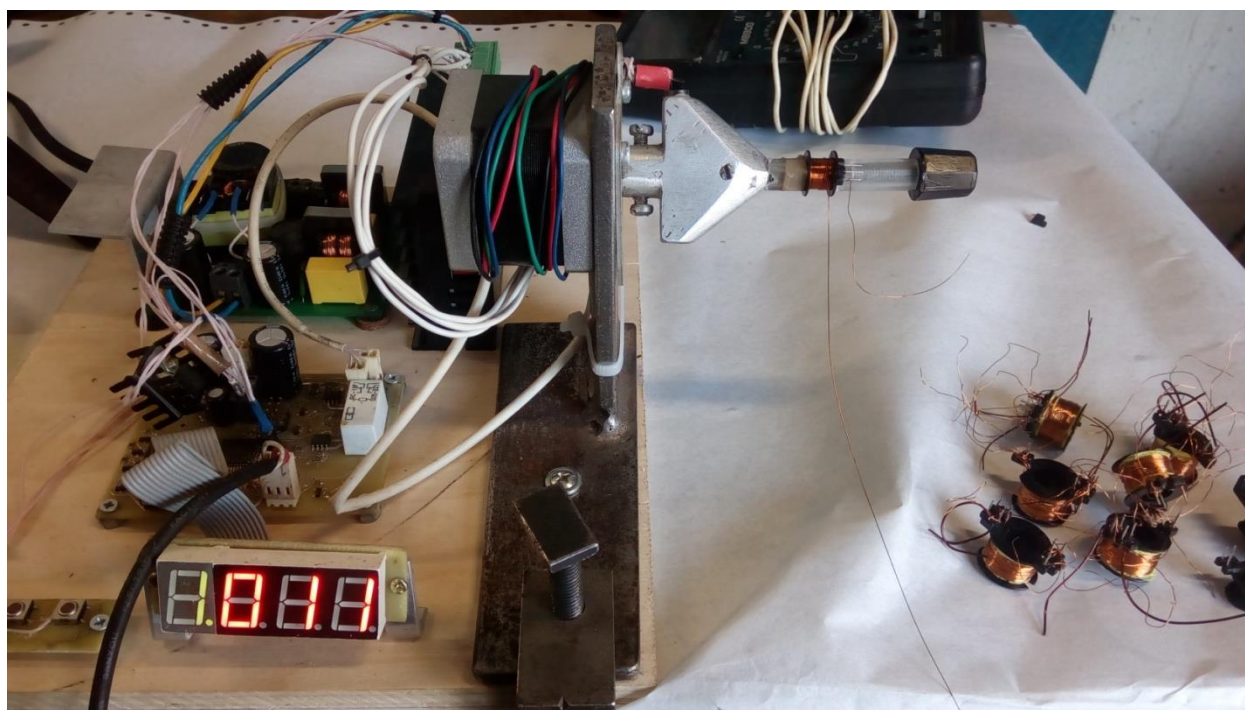


Рисунок 16. Внешний вид станка

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе, была произведена модернизация намоточного станка, что важно для повышения качества и удобства использования. Проанализирован имеющийся ранее станок. По результатам анализа было принято решение о модернизации. Разработана структурная, функциональная, принципиальная схемы системы управления приводом, выбраны средства исполнительного механизма с системой управления. Сделан обзор конструкции и моделей шагового двигателя. Выбран шаговый двигатель для изготовления, для этого произведен обзор имеющихся вариантов. Рассмотрены способы управления шаговым двигателем, проанализированы их преимущества и недостатки. Изготовлена электромеханическая часть установки, выбран для использования в станке электродвигатель. Выбраны и изготовлены компоненты системы управления шаговым двигателем, блок питания, плата управления, драйвер. Принято решение самостоятельно изготовить данные блоки. Смонтирована механическая часть станка.

Инев. № подл	Подп. и дата	Инев. № дубл.	Взам. инев. №	Подп. и дата	270304.2020.047.00.00.ПЗ.	Лист
Инев. № подл	Подп. и дата	Инев. № дубл.	Взам. инев. №	Подп. и дата		67
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат		

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Драчев Г.И. Теория электропривода: Учебное пособие к курсовому проектированию. - Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 1998. - 160 с.
2. Ицкович, Э. Л. Методы рациональной автоматизации производства — Инфра Инженерия 2009. — 256 с.
3. КениоТакаши. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления / Пер. с англ. - М.: Энер-гоатомиздат, 1987.
4. Ключев В.И. Теория электропривода: Учебник для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 560 с.
5. Монахов, Г. А. Станки с программным управлением. Справочник — Машиностроение 1975. — 288 с.
6. Покотило, С.А. Электротехника и электроника. / С.А. Покотило, В.И. Панкратов. – М.: Феникс, 2017. - 283 с.
7. Сосонкин, В. Л., Мартинов Г. М. Системы числового программного управления — Логос 2005. — 296 с.
8. Уголовный кодекс Российской Федерации" от 13.06.1996 N 63-ФЗ (ред. от 17.04.2017)
9. Хусаинов Р.З., Качалова А.В. Программирование микроконтроллера Atmega8535 на ассемблере: Методические указания к выполнению лабораторных работ. Часть 1. – Челябинск, Изд-во ЮУрГУ, 2017.
10. Шаговый двигатель.[электронный ресурс] . Режим доступа: <http://bib.convdocs.org> (Дата обращения 22.02.2020)
11. Техническая спецификация. [электронный ресурс] Режим доступа: https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Atmega8535%20datasheet&gclid=CjwKCAjw5vz2BRAtEiwAbcVIL0ZhTRnFyX2my9o-0J6rDFjU2vpQCA1SyezaCNqAFbA4FZ83-CFv6xoCiMYQAvD_BwE (Дата обращения 15.03.2020)
12. Реферат ШД. [электронный ресурс] Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/bitstream/11683/29749/1/TPU205114.pdf> (Дата обращения 12.03.2020)
13. Классификации ШД. [электронный ресурс] Режим доступа: <https://knowledge.allbest.ru/> (Дата обращения 18.04.2020)
14. Форум. [электронный ресурс] Режим доступа: <https://robototehnika.ru/> (Дата обращения 18.05.2020)

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

68

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	

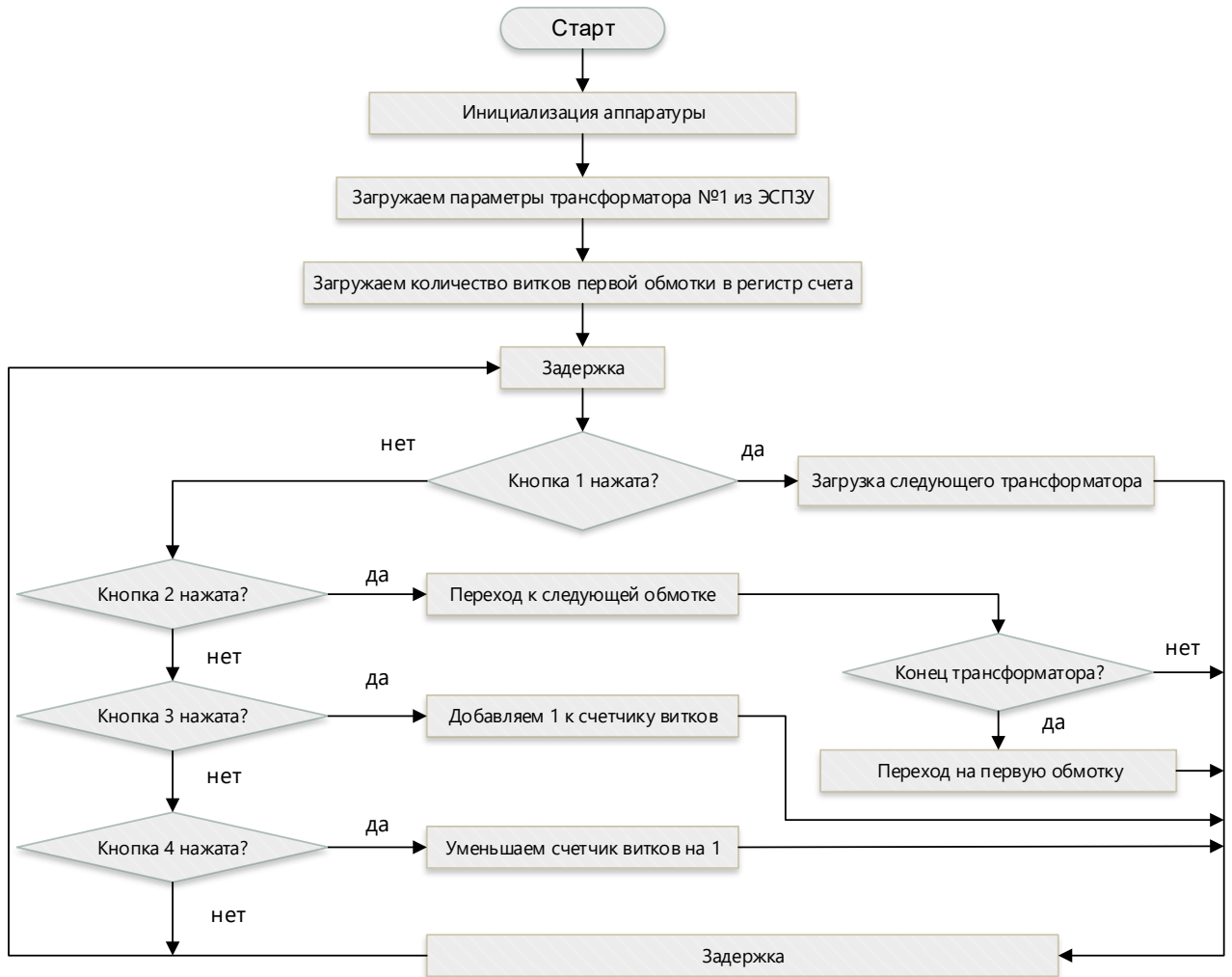
15. Статьи, схемы, справочники [электронный ресурс] Режим доступа: <https://all-audio.pro/c7/shemi/impulsniy-blok-pitaniya-na-viper22a.php> (Дата обращения 22.05.2020).

16. Сайт паяльник. [электронный ресурс] Режим доступа: https://cxem.net/software/viper_design.php.

Инв. № подл	Подп. и дата				Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	270304.2020.047.00.00.ПЗ.		
					69		

ПРИЛОЖЕНИЕ А

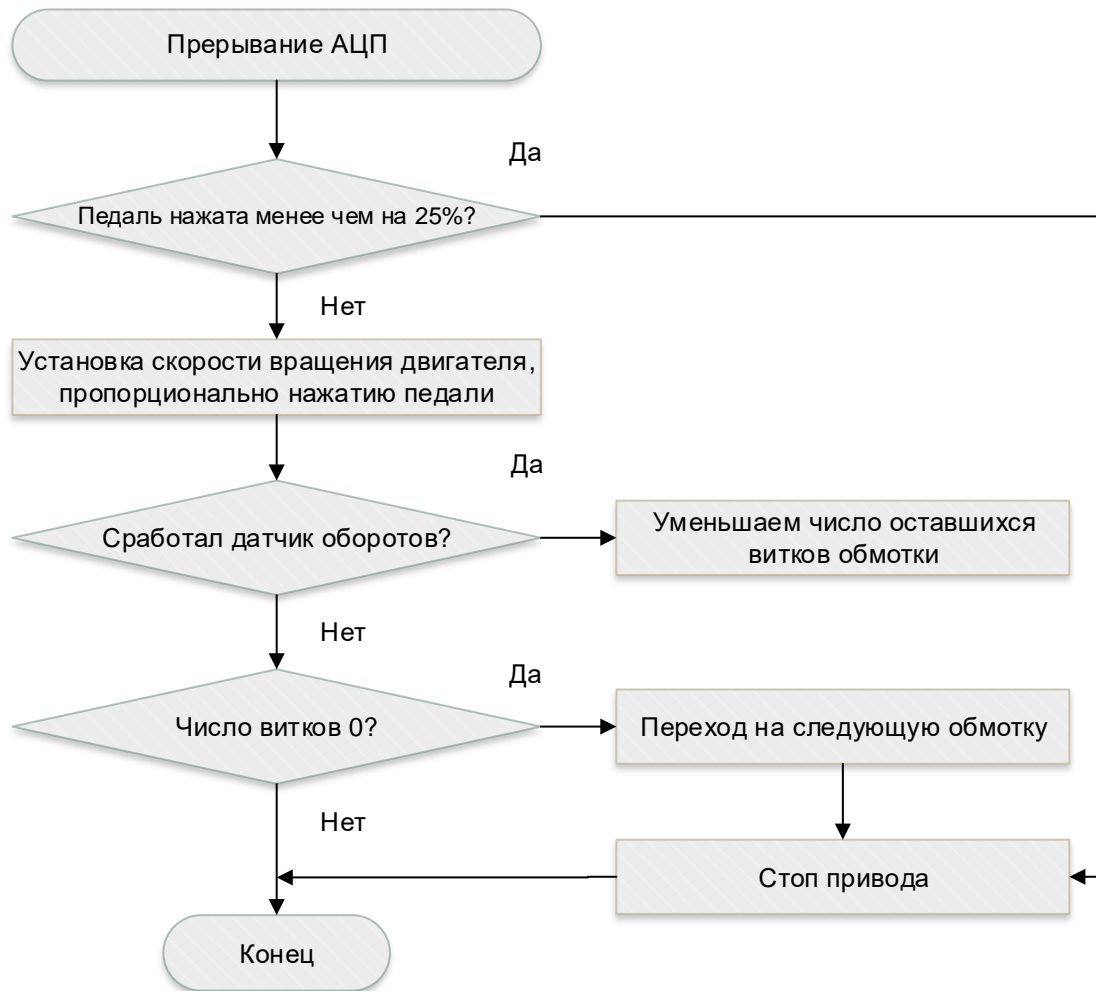
Блок-схема алгоритма работы программы



Ине. № подп	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Подп. и дата	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

Прерывание при окончании преобразования АЦП



Инв. № подл	Подп. и дата	Взам. инв. №	Подп. и дата
Инв. № дубл.	Инв. № подл	Инв. № дубл.	Инв. № дубл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Текст программы на языке ассемблер

```

;* File Name : "st_motor_half.asm"
;* Title : Управление станком для намотки трансформаторов 1/16 шаговый
режим макс V = 10 об./сек.
;* Date : 09.04.2019 led
;* Version : 3.0
;* Support fax :
;* Target MCU 8535
;* The timing is adapted for 8.0 MHz internal oscill

;*****
;
; .include "m8535def.inc"
;     .def    R_most_pre    =r2           ;регистр предыдущего значения
;                                           ;управления двигателя
;
;     .def    FQ            =r3           ;регистр частоты
;     .def    cnt_mst_tbl   =r4           ;счетчик циклов записи табл.
;     .def    dig1         =r5           ; 1-я цифра
;     .def    dig2         =r6           ; 2-я цифра
;     .def    dig3         =r7           ; 3-я цифра
;     .def    dig4         =r8           ; 4-я цифра
;     .def    TM           =r9           ;регистр константы TMP0 на 5мС
;     .def    zero         =r10          ;
;     .def    NUM_TUR      =r11          ;регистр номера обмотки
;     .def    BCD_L        =r12          ;регистр BCD младший байт
;     .def    FST_TUR      =r13          ;флаг начала обмотки
;     .def    WB           =r14          ;регистр флагов состояний D0
;                                           ;ФЛАГ торможения
;     ;D1 ФЛАГ изменения Q, D2 - ФЛАГ конца обмотки, D3 - ФЛАГ КОНЕЦ
;                                           ;ТРАНСФОРМАТОРА
;     .def    TR_add       =r15          ;младший байт текущего адреса таблицы
;                                           ;трансформаторов в РПЗУ
;     .def    temp         =R16          ; Temporary variable
;     .def    tempH        =R17          ;старший байт TEMP
;     .def    cnt_del      =r18          ;счетчик задержки регистр счета 20 мСек
;                                           ;прерываний
;     .def    c_tmp        =r19          ;вспомогательный регистр
;     .def    BCD_L        =r20          ;регистр BCD младший байт
;     .def    BCD_H        =r21          ;регистр BCD старший байт
;     .def    DECC         =r22          ;регистр константы BCD
;     .def    CAN          =r23          ;младший счетчик шагов

```

Ине. № подп	Подп. и дата	Ине. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата
-------------	--------------	--------------	--------------	--------------

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

```
.def cnt_TL =r24 ;младший байт счетчик оборотов-витков
.def cnt_TH =r25 ;старший байт счетчик оборотов - витков
, бит D7 - конец трансa D6- обмотка с половинкой
```

```
.equ tbl_tr =0x60 ;начальный адрес в ОЗУ таблицы намотки
трансформатора
```

```
.equ ADC_RUN =84
```

```
.equ ADC_MIN =83 ;константа перевода знач ADC в частоту
вращения 4-80 мСек
```

```
.equ ADC_OFFS =51 ;смещение АЦП
```

```
;Port A pins
```

```
.equ Q =4 ; датчик Холла
```

```
.equ SND =5 ; сирена
```

```
.equ step =6
```

```
.equ dir =7
```

```
;Port C pins
```

```
.equ A =0 ;LED a segment
```

```
.equ B =1 ;LED b segment
```

```
.equ C =2 ;LED c segment
```

```
.equ D =3 ;LED d segment
```

```
.equ E =4 ;LED e segment
```

```
.equ F =5 ;LED f segment
```

```
.equ G =6 ;LED g segment
```

```
.equ H =7 ;LED decimal point
```

```
.equ LED =portc
```

```
;Port B pins
```

```
.equ A1 =0 ;common anode drives (active low)
```

```
.equ A2 =1 ;
```

```
.equ A3 =2 ;
```

```
.equ A4 =3 ;
```

```
.equ K1 =4
```

```
.equ K2 =5
```

```
.equ K3 =6
```

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

.equ K4 =7

.eseg

.org 0

tab_tr:

.dw

11,43,11,43+32768,120+32768,128,25+32768,128,25,25+32768,129,25,9+32768,95,25,30,95,25+32768,94,9,95,9,7,24+32768,95,43,20,95,24+32768 ;TR ZAR, IN - BAL, Tr Std_bal,TR_ZAR_Viper-12V-5V,TR_POWER15

.dw

5,18,8+32768,10,17,7+32768,4,17,7+32768,12+32768,22+32768,55,19,8,8+32768,220+32768,120+32768,0,0 ;Tr PI 48-5,48-12,60-5,IND- 5V,12V,Tr PISIN, IND PISIN,IND ATZ,TR ATZ

.cseg

.org 0

rjmp RESET ;reset handle
rjmp RESET ; IRQ0 Handler
rjmp RESET ; IRQ1 Handler
rjmp TMR2 ; Timer2 Compare Handler
rjmp reset ; Timer2 Overflow Handler
rjmp RESET ; Timer1 Capture Handler
rjmp RESET ; Timer1 CompareA Handler
rjmp RESET ; Timer1 CompareB Handler
rjmp RESET;TMR1 ; Timer1 Overflow Handler
ijmp ;TMR0 ; Timer0 Overflow Handler
rjmp RESET ; SPI Transfer Complete Handler
rjmp RESET ; UART RX Complete Handler
rjmp RESET ; UDR Empty Handler
rjmp RESET ; UART TX Complete Handler
;
rjmp ADCIN ; ADC Conversion Complete Interrupt Handler
rjmp RESET ; EEPROM Ready Handler
rjmp RESET ; Analog Comparator Handler

;****Таблица перевода в 7-сегментный код*****

seven: **.db** 0xc0,0xf9,0xa4,0xb0,0x99,0x92,0x82,0xf8,0x80,0x90
;digit 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

.db 0x86,0x8E,0xA3,0xAB,0xFF,0xFF
;digit E f o n BLANK special characters

RESET:

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

74

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----


```

ldi temp,low(RAMEND)      ;инициализация
out SPL,temp
ldi temp,high(RAMEND)     ;стека
out SPH,temp

; ldi cnt_TL,low(257)
; ldi cnt_TH,high(257)
;lo1:
; dec cnt_TL ;иначе (режим ПГН)
; breq lo2 ; если cnt_TL=0
; rjmp lo1 ;cnt_TL!=0 еще мотаем
;lo2:
; and cnt_TH,cnt_TH ;если cnt_TH = 0 конец обмотки
; breq lo3
; dec cnt_TH
; rjmp lo1 ;cnt_TH !=0 еще мотаем
;lo3:

ldi temp,0xe8
out DDRA,temp ;port PA7,6,5..PA3 - OUT - Step,Dir,SND,
реле
cbi PORTA,snd
cbi PORTA,3
cbi PORTA,step
cbi PORTA,dir

mov TR_add,zero ;указатель на таблицу TP в начало

ser temp ;
out DDRC,temp ;port C - Outputs
ldi temp,0x0F ;port B0-B3 as Outputs
out DDRB,temp ;port B4-B7 - as Inputs
ldi temp,0xFF
out portb,temp ; +5V на вход PB4-PB7 , AC1-4 - off,
ldi temp,80 ;загрузили в TMP2
out OCR2,temp ;скорость 0,5 Гц

; ldi temp,0x0f ; TC2 -СТС режим CLK/1024
; out TCCR2,temp
sbi porta,4 ;+5V на выходы
sbi porta,7 ;+5V на выходы
sbi porta,6 ;+5V на выходы
ldi temp,0x05 ; CLK/1024
out TCCR0,temp ; 1 мик 250 мкс

```

Инв. № подл.	Подп. и дата			
	Взам. инв. №			
Инв. № дубл.	Подп. и дата			
	Инв. № подл.			
Инв. № подл.	Подп. и дата			
	Инв. № подл.			
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

```

ldi temp,236 ;таймер на 5 мСек - 20 тиков (236) (176 -20
mSec)

mov TM,temp

; ldi temp,255 ;отладка
; mov FQ,temp ;отладка

out TCNT0,TM ;
ldi temp,0x81 ;размаскировали прерывание по OVF TMR0
и COMP TMR2

out TIMSK,temp
ldi temp,0xE0 ;внутр. Uref канал =0 ADLAR=1
out ADMUX,temp
ldi temp,0xcе ;включили ADC CLK/64 одноразовый запуск
out ADCSRA,temp ;разрешение прерывания
ldi ZH,high(DG1) ;занесли в Z адрес DG1
ldi ZL,low(DG1)
sei ;вкл прерывания
;***** отладка
rcall LD_TR1 ;отладка загрузка тран-са 10-20-30

clt ;T-0 режим ПГН -программной
намотки
;T-1 режим ППН -простой намотки
ldi YH,high(tbl_tr) ; указатель на начало таблицы
трансформатора

ldi YL,low(tbl_tr)
ld cnt_TL,Y+ ;загрузили 1-ю обмотку
ldi temp,1
mov NUM_TUR,temp ; в регистр номера обмотки - 1
rcall DYS_TUR ; индикация
ldi temp,0b00000010 ;FE -1
or WB,temp ;FE -1

lp:
;rjmp lp
ldi cnt_del,20 ;задержка 0,6 сек

del15: sei
nop
nop
nop
nop
nop

```

Ине. № подл.	Подп. и дата
Ине. № дубл.	
Взам. инв. №	
Подп. и дата	
Ине. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

76

```

nop
nop
nop
nop
nop
cli
cp          cnt_del,zero    ;задержка 0,6 сек
brne del15
sei
;  rjmp lp
sbic PINB,K1                ;кнопка
;  rjmp lp
rjmp KEY2                    ; не нажата
                        rcall LD_TR1                ;нажата - загрузка следующего
                                                трансформатора
rjmp del

KEY2: sbic PINB,K2          ;кнопка K2 - переход к следующей обмотке
rjmp KEY3

k2_2:
inc NUM_TUR
ld cnt_TL,Y+                ;загрузили следующую обмотку,на
                                                следующую

cpi cnt_TL,0
brne k2_1                    ; если конец тран-са
ldi temp,1                   ; то в номер обмотки - 1
mov NUM_TUR,temp
ldi YH,high(tbl_tr)         ; указатель на начало таблицы
                                                трансформатора

ldi YL,low(tbl_tr)
ld cnt_TL,Y+                ;загрузили первую обмотку

k2_1:
rcall DYS_TUR                ;вывод на экран
rjmp del
KEY3:sbic PINB,K3
rjmp KEY4
inc cnt_TL
st -Y,cnt_TL                ;записали обмотку в таблицу
ld temp,Y+                  ;указатель на следующую
                                                обмотку
rcall DYS_TUR                ;вывод на экран

rjmp del

KEY4: sbic PINB,K4

```

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

```

rjmp lp
dec cnt_TL
st -Y,cnt_TL ;записали обмотку в таблицу
ld temp,Y+ ;указатель на следующую обмотку

rcall DYS_TUR ;вывод на экран
rjmp del
rjmp lp

```

```

del:
ldi cnt_del,35 ;задержка 0,7 сек
del3: sei

```

```

nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
cli

```

```

cp cnt_del,zero ;задержка 0,7 сек
brne del3
sei
rjmp lp

```

DG1:

; Вывод 1-й цифры

```

out TCNT0, TM
sbi portb,A4 ;выключили AC4
out led,dig1
cbi portb,A1 ;включили AC1
ldi ZH,high(DG2) ;занесли в Z адрес DG2
ldi ZL,low(DG2)
dec cnt_del ;счетчик задержек - DEC
sei
reti

```

DG2:

; Вывод 2-й цифры

```

out TCNT0, TM
sbi portb,A1 ;выключили AC1
out led,dig2

```

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Инв. № инв.	Лист	78
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат			

```

cbi    portb,A2      ;включили AC2
ldi    ZH,high(DG3) ;занесли в Z адрес DG2
ldi    ZL,low(DG3)
sei
reti

```

DG3:

; Вывод 3-й цифры

```

out    TCNT0, TM
sbi    portb,A2      ;выключили AC2
out    led,dig3
cbi    portb,A3      ;включили AC3
ldi    ZH,high(DG4) ;занесли в Z адрес DG4
ldi    ZL,low(DG4)
sei
reti

```

DG4:

; Вывод 4-й цифры

```

out    TCNT0, TM
sbi    portb,A3      ;выключили AC3
out    led,dig4
cbi    portb,A4      ;включили AC4
ldi    ZH,high(DG1) ;занесли в Z адрес DG1
ldi    ZL,low(DG1)
sbi    ADCSRA,ADSC   ;запустили ADC
sei
reti

```

******Подпрограмма перевода 2-ного кода в BCD******

***** возвращает число с 4 десятичными цифрами BCD_H, BCD_L*

***** двоичное число передается в temp и tempH*

LBCD:

```

clr    BCD_h
clr    BCD_L

```

```

ldi    DECC,0x10

```

thous:

```

cpi    temp,low(1000) ;сравниваем с 1000

```

```

ldi    c_tmp,high(1000)

```

```

cpc    tempH,c_tmp

```

```

brlo   hundr

```

*;меньше -> переход на
сотни*

```

subi   temp,low(1000) ;вычитаем 1000

```

```

sbci   tempH,high(1000)

```

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

79

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

```

                add          bcd_h,decc                ;в старшую тетраду
                BLCD_H прибавляем одну тысячу
hundr:  rjmp    thous
        ldi     decc,1
hundr1:

        cpi    temp,low(100)                ;сравниваем с 100
        ldi    c_tmp,high(100)
        cpc    temp,c_tmp
        brlo   ten                          ;меньше -> переход на десятки
        subi   temp,low(100)                ;вычитаем 100
        sbci   temp,high(100)
                add          BCD_h,DECC                ;в младшую тетраду
                BLCD_H прибавляем сотню
        rjmp   hundr1

ten:
        ldi    DECC,0x10

ten1:

        cpi    temp,10                      ;в старшую тетраду
                BLCD_L прибавляем

        brlo   one
        subi   temp,10                      ; один десяток
        add    BCD_1,DECC
        rjmp   ten1

one:
        add    BCD_L,temp                ;в младшую тетраду BLCD_L прибавляем
                остаток от вычитания

        ret

                ;***** ПП возвращает в TEMP 7-сегментный код
                ; старшей тетрады

hitet:

        push  ZH
        push  ZL
        andi  temp,0xf0
        swap  temp
        ; rcall  LBCD
        ldi   ZH,high(2*seven)
        ldi   ZL,low(2*seven)
        add   ZL,temp

```

Ине. № подп	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Ине. № инв.	Подп. и дата
Ине. № инв.	Подп. и дата

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

80

```

lpm
mov temp,r0
pop ZL
pop ZH
ret

```

*;***** ПП возвращает в TEMP 7-сегментный код
; младшей тетрады*

lotet:

```

push ZH
push ZL
andi temp,0x0f
; rcall LBCD

ldi ZH,high(2*seven)
ldi ZL,low(2*seven)
add ZL,temp
lpm
mov temp,r0
pop ZL
pop ZH
ret

```

*; Обработка прерывания по сравнению в режиме CTC TMR2 - 1 20 мС
; Выдача импульса ШАГ , проверка на конец оборота, изменение счетчика оборотов*

TMR2:

```

push temp
sbi porta,step ; - ШАГ - 1

```

```

nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop

```

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

81

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

nop
nop
nop
nop
nop
nop

cbi porta,step ;выдали импульс "шаг"- ШАГ- 0

tm1:

sbrs WB,0 ;иначе если флаг F - 1 - OFF
rjmp tm3
out TCCR2,zero ;то выкл TM2
ldi temp,0xfe
and WB,temp ; F <- 0 - ON
rjmp ret_TM2

tm3:

;иначе - продолжаем работу

sbrs WB,1 ; если FE -1 (флаг изменения Q)
rjmp nxt36
sbis PINA,Q ; то если Q=0
rjmp ret_TM2 ; FE-1 Q-0 то возврат из прер
ldi temp,0b1111101 ;FE - 1 Q-1 -> FE-0
and WB,temp ;FE - 0
rjmp ret_TM2 ; возврат из прер

nxt36:

sbic PINA,Q ; если Q=1
rjmp ret_TM2 ; FE-0 Q-1 то возврат из прер

brc nxt35 ;если T-0 (режим прямой намотки) то перешли FRD

rjmp FRD

nxt35:

;иначе (режим ПГН)

ldi temp,0b00000010 ;FE -1
or WB,temp ;FE -1
dec cnt_TL

breq tm4 ; если cnt_TL=0
rjmp tm2 ;cnt_TL!=0 еще мотаем

tm4:

and cnt_TH,cnt_TH ; то если cnt_TH = 0 конец обмотки
breq nxt34
dec cnt_TH
rjmp tm2 ;cnt_TH !=0 еще мотаем

nxt34:

*;***** КОНЕЦ ОБМОТКИ*

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

82

Инв. № подл. Подп. и дата. Инв. № дубл. Инв. и в. №. Взам. инв. №. Подп. и дата.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----


```

out    TCCR2,zero           ;то выключили TMP2
ldi     temp, 0b00000100
or     WB,temp             ;флаг КОНЕЦ ОБМОТКИ =
                                     1
sbi     PORTA,5             ;Конец обмотки 1 СИРЕНА

ldi     cnt_del,10         ;задержка 0,6 сек
del5: sei
nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
cli
cp      cnt_del,zero       ;задержка 0,6 сек
brne   del5
sei
cbi    PORTA,5             ;ВЫКЛЮЧИЛИ СИРЕНА
sbrc   WB,3               ;ЕСЛИ не флаг КОНЕЦ ТРАНСФОРМАТОРА
rjmp   nxt31
ld     cnt_TL,Y+           ;ТО в счетчик оборотов следующая
                                     обмотка

ld     cnt_TH,Y+
inc   NUM_TUR
sbrs   cnt_TH,7           ;ПРОВЕРИЛИ ПРИЗНАК КОНЦА
                                     ТРАНСФОРМАТОРА

rjmp   TM2                 ;то индикация витков
ldi    temp,0b00001000
or     WB,temp             ;УСТАНОВИЛИ ФЛАГ КОНЦА
                                     ТРАНСФОРМАТОРА
andi   cnt_TH,0x3f        ;обнулили разряды признака конца
                                     трансформатора в обмотке
                                     ; sbrs cnt_TH,1

nxt31: rjmp   TM2           ;индикация витков
                                     ;КОНЕЦ ТРАНСФОРМАТОРА
ldi    cnt_del,20         ;задержка 0,6 сек ;Задержка от
                                     первого

del7: sei

```

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подл.	

```

nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
cli
cp cnt_del,zero ;задержка 0,6 сек ПАУЗА
brne del7
sei
sbi PORTA,5 ;Конец
;трансформатора еще
ldi cnt_del,20 ;задержка 0,6 сек
del6: sei

```

```

nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
nop
cli
cp cnt_del,zero ;задержка 0,6 сек
brne del6
sei
cbi PORTA,5 ;ВЫКЛЮЧИЛИ
ldi temp,0b11110111 ;сбросили флаг КОНЕЦ
;ТРАНСФОРМАТОРА
and WB,temp
ldi YH,high(tbl_tr) ; указатель на начало таблицы
;трансформатора
ldi YL,low(tbl_tr)
ld cnt_TL,Y+
ld cnt_TH,Y+ ; в счетчик оборотов первая
;обмотка
ldi temp,1
mov NUM_TUR,temp ; в регистр номера обмотки - 1
rjmp TM2

```

Ине. № подп	Подп. и дата
Ине. № дубл.	Взам. инв. №
Ине. № инв.	Подп. и дата
Ине. № инв.	Подп. и дата

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

FRD:

```
inc cnt_TL ;прибавили 1
tm2:
; rcall DYS_FQ ;отладка
; rjmp ret_tm2 ;отладка
;*** Индикация оставшегося кол-ва витков обмотки
mov temp,cnt_TL
rcall LBCD ;преобразовали счетчик витков в BCD
mov temp,BCD_L ;записали в цифры 1 2 3
rcall hitet
mov dig3,temp
mov temp,BCD_L
rcall lotet
mov dig4,temp
mov temp,BCD_H
rcall lotet
mov dig2,temp
mov temp,NUM_TUR ;преобразовали счетчик обмоток в BCD
rcall LBCD ;преобразовали счетчик обмоток в BCD
mov temp,BCD_L
rcall lotet
andi temp,0x7f ;поставили точку
mov dig1,temp ;номер обмотки в 1 цифру
```

ret_TM2:

```
pop temp
sei
reti
```

ADCIN:

```
push temp
; brts f1 ;T=1
in CAN,ADCH ;считали старший байт младший не надо
CAN ~50-250
; lsr CAN
; ldi CAN,90
cpi CAN,ADC_RUN ;если меньше минимальное
значение АЦП 84
brlo TM2_off ;то выключаем таймер вращения
```

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

85

Инд. № подл. Подп. и дата Инв. № дубл. Инв. № Взам. инв. № Подп. и дата

Ли Изм. № докум. Подп. Дат

```

nxt1:
    sbrc    WB,2          ;проверили флаг КО (конец обмотки)
    rjmp   ADEND        ;если 1 то вышли из ADCIN
    cpi    CAN,230
    brlo   eq230        ;если больше
    ldi    CAN,230      ;то CAN =230
eq230:
    cpi    CAN,180      ;точка перегиба
    brsh   cross
    mov    temp,CAN     ;
    ldi    CAN,200      ;
    sub    CAN,temp     ;вычли CAN
    lsl    CAN          ;умножили на 2
    rjmp   mincan
cross:
    mov    temp,CAN     ;
    lsr    temp        ;поделили на 2
    ldi    CAN,131     ;
    sub    CAN,temp     ;вычли CAN
mincan:
    cpi    CAN,16
    brcc   eq22        ;если меньше
    ldi    CAN,16      ;то CAN =20
    rjmp   eq22
eq22:
    ;rcall DYS_ADC
    ;rjmp  ADEND
    out    OCR2,CAN
    in     temp,TCCR2  ;если TMP2 вкл
    cpi    temp,0
    brne   ADEND      ;то не включаем выходим
nxt10:
    ldi    temp,0x0b   ; иначе - включаем его TC2 -CTC режим
                                CLK/32
    out    TCCR2,temp  ;
    rjmp   ADEND
TM2_off:
    ldi    temp,1
    or     WB,temp     ;Флаг "намотка" - 1 - OFF

```

Инв. № подл.	Подп. и дата
	Взам. инв. №
Инв. № дубл.	
	Подп. и дата
Инв. № подл.	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

86

```

ldi    temp,0
out    TCCR2,temp          ;TMP2 OFF
ldi    temp,0b1111011
and    WB,temp           ;флаг начала обмотки сбросили

```

ADEND:

```

;rcall DYS_ADC

pop    temp
sei
reti

```

;****Подпрограмма вывода ADC -отладка

DYS_ADC:

```

mov    temp,CAN
rcall  LBCD           ;преобразовали счетчик витков в BCD
mov    temp,BCD_L    ;записали в цифры 1 2 3
rcall  hitet
mov    dig3,temp
mov    temp,BCD_L
rcall  lotet
mov    dig4,temp
mov    temp,BCD_H
rcall  lotet
mov    dig2,temp
ret

```

;****Подпрограмма заполнения таблицы тран-са - отладка из ОЗУ

LD_TR:

```

ldi    YH,high(tbl_tr) ;указатель на начало таблицы
; трансформатора

ldi    YL,low(tbl_tr)
ldi    temp,220
st     Y+,temp
ldi    temp,0
st     Y+,temp
ldi    temp,43
st     Y+,temp
ldi    temp,11
st     Y+,temp
ldi    temp,00
st     Y+,temp
ldi    temp,26
st     Y+,temp
clr    temp
st     Y,temp
ret

```

;****Подпрограмма вывода кол-ва витков

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

87

Подп. и дата
Взам. инв. №
Инв. № дубл.
Подп. и дата
Инв. № подп

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

DYS_TUR:

```
mov temp,cnt_TL ;счетчик витков занесли для отображения
rcall LBCD ;преобразовали счетчик витков в BCD
mov temp,BCD_L ; записали в цифры 2 3 4
rcall hitet
mov dig3,temp
mov temp,BCD_L
rcall lotet
mov dig4,temp
mov temp,BCD_H
rcall lotet
mov dig2,temp
mov temp,NUM_TUR ;номер обмотки индицируем в 1 цифру
rcall LBCD ;преобразовали счетчик обмоток в BCD
mov temp,BCD_L
rcall lotet
andi temp,0x7f ;поставили точку
mov dig1,temp ;номер обмотки в 1 цифру
ret
```

YS_FQ:

```
mov temp,dig1
rcall LBCD ;преобразовали FQ в BCD
mov temp,BCD_L ; записали в цифры 1 2 3
rcall hitet
mov dig3,temp
mov temp,BCD_L
rcall lotet
mov dig4,temp
mov temp,BCD_H
rcall lotet
mov dig2,temp
ret
```

```
del150: ldi cnt_del,195
del1: dec cnt_del
brne del1
ret
```

;****ППЗ загрузки данных транс-са из ППЗУ в ОЗУ
;**** Считывает данные трансформатора из РПЗУ в ОЗУ
;**** конец транс-са кодируется старшим битом в слове-обмотке
;**** Конец таблицы в РПЗУ кодируется 2мя нулевыми байтами

LD_TR1:

```
push XL
push XH
```

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

88

Инд. № подл. Инв. № дубл. Взам. инв. № Подп. и дата

Ли Изм. № докум. Подп. Дат

```

ldi          YH,high(tbl_tr)          ;указатель на начало таблицы
                                              трансформатора в ОЗУ

ldi          YL,low(tbl_tr)
clr          XH
mov          XL,TR_add                 ;указатель на
                                              трансформатор из таблицы трансформаторов в РПЗУ

clc
rol        XL
rol        XH

ltr:          ;Считываем младший байт обмотки

sbic        EECR,EEWE                 ;ожидаем готовности EEPROM
rjmp        ltr
out        EEARH,XH                 ;выдали адрес
out        EEARL,XL                 ;выдали адрес
sbi         EECR,EERE                 ;выдали строб
in         temp,EEDR                 ;считали из EEPROM
st         Y+,temp                   ;записали в ОЗУ

adiw        X,1                       ;в X следующий адрес
ltr1:          ;Считываем старший байт обмотки
sbic        EECR,EEWE                 ;ожидаем готовности EEPROM
rjmp        ltr1
out        EEARH,XH                 ;выдали адрес
out        EEARL,XL                 ;выдали адрес
sbi         EECR,EERE                 ;выдали строб
in         temp,EEDR                 ;считали из EEPROM
sbrc        temp,7
rjmp        ltr2                       ;конец трансформатора ?
st         Y+,temp                   ;нет - считали след обмотку
adiw        X,1                       ;в X следующий адрес
rjmp        ltr

ltr2:
; andi    temp,0x7f                 ; старший разряд обнулили
st         Y+,temp                   ; записали в память
adiw        X,1                       ;в X следующий адрес
; st         Y+,zero                 ;запись признака конца транса в память
; st         Y+,zero
end_tr:
sbic        EECR,EEWE                 ;ожидаем готовности EEPROM
rjmp        end_tr
out        EEARH,XH                 ;выдали адрес
out        EEARL,XL                 ;выдали адрес
sbi         EECR,EERE                 ;выдали строб
in         temp,EEDR                 ;считали из EEPROM
adiw        X,1                       ;в X следующий адрес

end_tr1:

```

Подп. и дата
 Взам. инв. №
 Инв. № дубл.
 Подп. и дата
 Инв. № подл.

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат
----	------	----------	-------	-----

```

sbic    EECR,EEWE    ;ждедем готовности EEPROM
rjmp   end_tr1
out   EEARH,XH      ;дали адрес
out   EEARL,XL      ;дали адрес
sbi    EECR,EERE    ;дали строб
in    temp,EEDR    ;читали из EEPROM
adiw   X,1           ;в X следующий адрес
      or    temp,temp    ;проверяем конец таблицы тран-сов два
                               нулевых байта

brne   tr1          ;
clr    TR_add;да - регистр адреса тран-са = 0
rjmp   tr2

tr1:
sbiw   X,2
clc
ror   XH
ror   XL
      mov   TR_add,XL    ;нет - вернули в регистр TR адрес
                               следующего тр-са

tr2:
      ldi    YH,high(tbl_tr)    ;указатель на начало таблицы
                               трансформатора в ОЗУ

ldi    YL,low(tbl_tr)
ld     cnt_TL,Y+      ;загрузили 1-ю обмотку, Y адрес следующей
                               обмотки

ld     cnt_TH,Y+
ldi    temp,1
mov   NUM_TUR,temp    ; в регистр номера обмотки - 1
rcall  DYS_TUR       ; индикация

pop   XH
pop   XL
ret

```

Подп. и дата	
Взам. инв. №	
Инв. № дубл.	
Подп. и дата	
Инв. № подп	

Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат

270304.2020.047.00.00.ПЗ.

Лист

90

ПРИЛОЖЕНИЕ В
Схема электрическая принципиальная

Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Лист
Инв. № подл.	Подп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. инв. №	Подп. и дата	Лист
Ли	Изм.	№ докум.	Подп.	Дат	

