

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ

(наименование института полностью)

Кафедра «Промышленная электроника»
(наименование)

11.03.04 Электроника и наноэлектроника
(код и наименование направления подготовки)

Промышленная электроника
(направленность (профиль))

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему «Управление макетом складского комплекса с помощью микроконтроллера»

Обучающийся К.Л. Литвин _____
(Инициалы Фамилия) (личная подпись)

Руководитель Кандидат технических наук, доцент, А. А. Шевцов
(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2023

Аннотация

Выпускная квалификационная работа на тему “Разработка системы управления макетом складского комплекса” содержит: 60 стр., 21 рис., 2 табл., 20 ист., 5 прил..

Ключевые слова: микроконтроллер, ATmega, робот, склад, управление, двигатель, управление движением, транспортирование грузов

Объектом работы является складской комплекс, предметом работы – система управления макетом.

Целью работы является разработка системы управления макетом складского комплекса.

Система управления макетом складского комплекса предназначена для транспортирования грузов в выбранную ячейку склада путем управления направлением и скоростью вращения трех двигателей с встроенными энкодерами макета робота.

Система позволяет делать следующие действия: перемещение по горизонтали к нужной вертикальной группе ячеек, подъем до нужной конкретной ячейки, перемещение вилочного захвата вперед и назад. Команды роботу передаются с помощью сети Wifi от АСУ склада. Для контроля исходной точки используются концевые датчики, для измерения скорости вращения используются встроенные в двигатели энкодеры. Управление скоростью вращения происходит с использованием ШИМ.

Разработаны схемы структурная и принципиальная, блок-схема алгоритма, основные программные функции, а также печатная плата.

Содержание

Содержание	3
Введение	5
1 Обзор состояния рынка.....	7
1.1 Описание объекта управления.....	7
1.2 Обзор типовых решений для управления реальными автоматизированными складскими комплексами.....	11
1.3 Обзор решений для построения систем управления макетами реальных устройств автоматизации	18
2 Разработка системы управления.....	22
2.1 Выбор модели микроконтроллера	22
2.2 Определение и выбор необходимых датчиков	26
2.2.1 Энкодер.....	26
2.2.2 Концевые датчики	27
2.3 Разработка драйверов питания двигателей	30
2.4. Разработка схемы электрической принципиальной системы управления макетом автоматизированного складского комплекса	34
2.4.1 Блок индикации	35
2.4.2 Модуль Wi-Fi	35
2.4.3 Блок питания.....	37
2.4.3 Описание принципиальной схемы	39
3 Разработка управляющей программы микроконтроллера.....	41
3.1 Разработка алгоритма работы.....	41
3.2 ПО для разработки программы	43
3.3 Разработка основных функций ПО	45
4 Разработка конструкции системы управления (трассировка необходимых печатных плат).....	52
4.1 Описание ПО для трассировки печатной платы	52
4.2 Печатная плата системы управления.....	53
Заключение	56

Список используемых источников.....	57
Приложение А Схема электрическая структурная.....	59
Приложение Б Схема электрическая принципиальная.....	60
Приложение В Перечень элементов.....	61
Приложение Г Блок-схема алгоритма.....	62
Приложение Д Плата печатная и сборочный чертеж.....	63

Введение

Актуальность. Современный рынок требует от складских комплексов высокой эффективности и оперативной работы. Для того чтобы удовлетворить потребности клиентов, необходимо иметь надежную систему управления макетом складского комплекса. Это позволяет контролировать процессы приемки, хранения и отгрузки товаров, а также оптимизировать использование пространства склада. Разработка такой системы является сложным и ответственным процессом, который включает в себя множество этапов, начиная от анализа требований и заканчивая внедрением готового продукта. Однако, с помощью современных технологий и инструментов, можно создать эффективную систему, которая поможет увеличить производительность и конкурентоспособность складского комплекса.

В результате разработки и внедрения системы управления макетом складского комплекса можно достичь значительного увеличения эффективности работы склада, оптимизации использования пространства, снижения затрат на хранение и улучшения качества обслуживания клиентов.

Еще одним важным аспектом разработки системы является возможность интеграции с другими системами управления, такими как системы управления производством или управления логистикой. Это позволяет создать единую информационную систему, которая обеспечивает обмен данными между различными звеньями цепи поставок, упрощает процессы принятия решений и повышает уровень автоматизации.

В целом, разработка системы управления макетом складского комплекса является сложным и многопоточным процессом, который требует высокой квалификации специалистов. Однако, правильно разработанная и внедренная система поможет значительно повысить эффективность работы склада, снизить затраты и улучшить качество обслуживания клиентов.

Объект работы – складской комплекс.

Предмет работы – система управления макетом.

Целью работы является разработка системы управления макетом складского комплекса.

В соответствии с поставленной целью, в работе нужно решить следующие задачи:

- Сделать обзор состояния рынка.
- Разработать систему управления складским комплексом.
- Разработать управляющую программу микроконтроллера.
- Разработать конструкцию системы управления (трассировка необходимых печатных плат).
- Сделать выводы по проделанной работе.
- Выполнить 3 чертежа графического материала.

Методами исследования выступают наблюдение, эксперимент, теоретический анализ, сравнительный анализ, технический анализ, корреляционный анализ.

Практическая значимость работы состоит в том, что результаты данного исследования можно в дальнейшем использовать при изучении любых вопросов, связанных с работой и автоматизацией складских комплексов.

Структура работы включает в себя введение, 4 раздела основной части, заключение, список использованной литературы и 3 листа графического материала.

1 Обзор состояния рынка

1.1 Описание объекта управления

Склады - это разнообразные здания и сооружения, которые используются для приемки, обработки и хранения товаров. Они также выполняют функцию подготовки и отгрузки продукции потребителям.

По отношению к основным операциям в логистике склады могут быть приемочными, где товары принимаются и проверяются перед хранением, отгрузочными, где товары подготавливаются и отправляются клиентам, и транзитными, где товары временно хранятся в процессе доставки. Склады также классифицируются по различным критериям, таким как размер, техническое оснащение и уровень автоматизации. Это позволяет эффективно организовать хранение и управление товарами.

Оптимальная организация логистических процессов достигается путем комбинирования транзитного и складского перемещения товаров от источника до потребителя.

Каждый склад должен быть способен обрабатывать и хранить товары в соответствии с их типом и количеством. Для этого необходимо правильно оборудовать каждую функциональную зону склада, включая зоны приема, хранения и отгрузки. Это позволяет создать необходимые условия для проведения всех хозяйственных операций.

Оборудование складов включает различные виды специальной техники для погрузки и разгрузки товаров. В соответствии с нормативами, проходы на складе должны быть достаточно широкими для свободного перемещения и установки следующих видов оборудования[1]:

- телескопические и вилочные погрузчики,
- ленточные и цепные конвейеры,
- штабелеры,
- рольганги,

– ручные и электрические тележки с гидравлическими подъемниками.

Кроме того, на складе должно быть маркировочное оборудование, средства для палетирования и переупаковки грузов, а также системы компьютерного учета для эффективного управления логистикой.

При динамическом развитии предприятия возникает вопрос об автоматизации склада. Один из способов - набрать больше кладовщиков, расширить помещения и ввести круглосуточный график работы. Однако такие изменения приводят к увеличению издержек и замедлению скорости обработки грузов.

Более перспективным методом повышения эффективности складских операций является автоматизация существующего помещения в соответствии с потребностями предприятия. Это позволяет сократить издержки и увеличить скорость обработки грузов.

Автоматизация складов товаров преследует, как правило, две главные задачи: исключение человеческого фактора из технологической цепочки и стабильное, предсказуемое выполнение процессов с точным контролем всех метрик — статистики по перемещаемому грузу за любой промежуток времени, информации по энергопотреблению, простоев системы и причин их наличия и прочего. Прозрачная статистика дает возможность точного прогноза операционных затрат и потенциала роста производительности на годы вперед.

На сегодняшний день в этой отрасли наиболее распространены мануальные решения, в частности внедрение техники с оператором, с использованием системы управления складом. При этом важно четкое понимание того, какова будет окупаемость внедрения автоматизации в существующие процессы и ее сравнительные преимущества. Например, один палетоперевозчик при графике производства 24/7 способен заменить четырех рабочих. В зависимости от предприятия социальные расходы на данных сотрудников могут быть достаточно большими.

Далее следует учитывать человеческий фактор: операционные ошибки, аварийность, невнимательность, перерывы, больничные, эпидемии и пандемии. Кроме того, автоматическое решение всегда дает собственнику прозрачную

статистику производительности и, следовательно, сведения для оценки текущего состояния бизнеса и прогнозов его развития.

Автоматизация складов включает две основные категории: автоматизацию ручных процессов и автоматизацию работы склада.

Автоматизация ручных процессов заключается в цифровом преобразовании ручных складских операций, таких как инвентаризация, и интеграции этих данных в систему управления складом. Обычно автоматизация складских процессов осуществляется с использованием технологии штрихкодирования и радио-терминалов сбора данных, которые позволяют вводить, идентифицировать и учитывать данные, передаваемые в систему управления.

Автоматизация работы склада представляет собой метод организации деятельности с использованием механизированных и робототехнических систем. Этот метод требует больших финансовых вложений и обеспечивает прибыльность инвестиций только на крупных складах и дистрибьюторских комплексах.

Современный подход к автоматизации производственных процессов все чаще включает использование роботизированного оборудования для выполнения различных операций в цикле производства, хранения и отгрузки товаров. Промышленная роботизация на конвейерах позволяет существенно повысить эффективность предприятия и обеспечить непрерывную производительность, высокую скорость работы, точность выполнения операций и безопасность.

Одним из вариантов автоматизации складов является использование роботов и конвейеров.

Роботизация производства на конвейерном оборудовании включает разработку специализированного программного обеспечения, которое обеспечивает взаимодействие между системами управления комплексом оборудования. Это программное обеспечение координирует и синхронизирует работу всех компонентов производственной линии и автоматизированного склада.

Для промышленной роботизации склада также часто используются манипуляторы, так как они обладают более широкими производственными возможностями. Робот-манипулятор на конвейере способен работать как с

мелкими, так и с крупными габаритами и весом продукции, выполняя различные операции. Автоматизация складов является важным шагом в современном бизнесе, позволяющим повысить эффективность и точность работы, сократить затраты на персонал и улучшить общую производительность. Она особенно полезна для крупных складов и дистрибьюторских комплексов, где большой объем товаров требует быстрого и эффективного управления.

Таким образом, в данной работе необходимо разработать систему управления макетом складского комплекса. В качестве такого макета будем использовать модель, имитирующую работу автоматического складского комплекса, оборудованного вертикальным стеллажом, краном-штабелером и конвейерами, приблизительный внешний вид которой представлен на рисунке 1 [2].

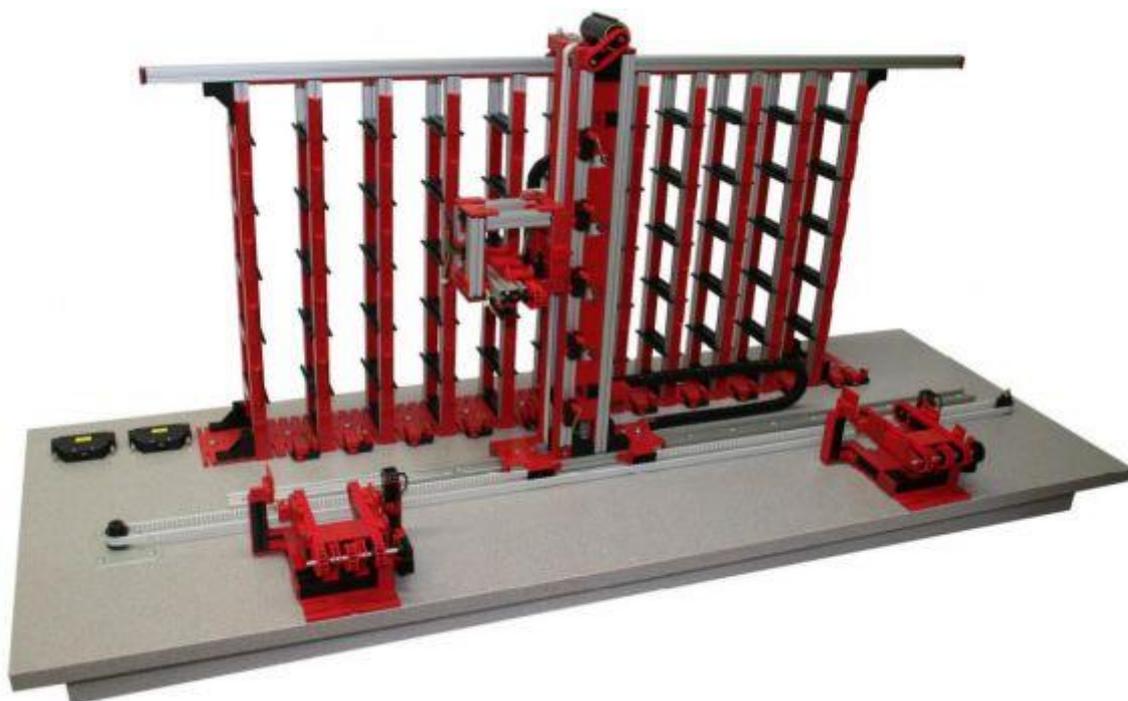


Рисунок 1 - Примерный внешний вид робота для макета складского комплекса

Эта модель позволяет делать следующие действия: перемещение по горизонтали к нужной вертикальной группе ячеек, подъем до нужной конкретной

ячейки, перемещение вилочного захвата (как на погрузчиках, которые перемещают реальные паллеты) вперед и назад.

В действие всё приводят три электродвигателя с встроенными энкодерами, на каждой оси которого есть концевой датчик. Задача системы управления - управлять этими двигателями.

1.2 Обзор типовых решений для управления реальными автоматизированными складскими комплексами

Внедрение роботов в систему управления складом имеет множество преимуществ. Автоматизированные склады приобретают все большую популярность у бизнеса, так как роботы существенно уменьшают долю человеческого труда при обработке грузов.

Исследования показывают, что роботизированные системы склада имеют производительность работы в 4 раза превосходящую на данный момент, производительность людского труда, превосходя людей по критериям скорости, точности и выносливости. Роботизация складских комплексов дают возможность исключить влияние человеческого фактора, более эффективно управлять площадями складов и движение товаров.

Требования к эффективности управлением неизменно становятся все сложнее. Изменения рынков, развитие технологий и специфика потребления покупателей серьезно влияет на специфику управления складами.

Роботы, в том числе складские транспортные, постоянно усложняются и приобретают все новые функции. Интернет вещей, искусственный интеллект, анализ больших данных и блокчейн – дают возможность решать все более сложные технические и управленческие задачи [3].

Раньше роботизация и глубокая автоматизация применялась для обработки и перемещения однородных грузов расположенных в одной ограниченной локации. Но развитие интернета, электронной коммерции создали новые требования к внутрискладской логистике. Стало необходимо перемещать и

фиксировать перемещение товаров разных типов и произвольных (преимущественно малых) объемов.

Сегодня роботы на складах задействованы не только в приеме и транспортировке грузов, но и в комплектации заказов и отправке товаров потребителям. На данный момент роботы участвуют во всей цепочке складской обработки и перемещения товаров. С повышением выполняемых функций и ростом производительность складских систем роботизируются уже средние и мелкие склады. По мере оснащения роботизированными системами своих складов крупнейшими игроками транспортно-логистического рынка, рынка ритейла, промышленными компаниями спрос на подобные системы постоянно растет. Существуют две основные группы роботов, используемых для автоматизации складских процессов: промышленные и коллаборативные.

Промышленные роботы – это программируемые машины, заменяющие ручной труд при сложных повторяющихся действиях. Они оборудованы датчиками для учета данных в реальном времени и используются на складах в виде подъемных механизмов и автоматических транспортных систем.

Коллаборативные роботы, также известные как коботы, представляют собой сотрудничество между человеком и машиной. Они выполняют определенные действия совместно с людьми и могут быть запрограммированы для автономной работы или работы под управлением человека. В складской сфере коботы используются в виде манипуляторов для перемещения грузов и упаковочных машин.

Забор и загрузка грузов на стеллажах, перемещение грузов и комплектация заказов – основные направления применения роботов при автоматизации складов.

- Для забора и загрузки грузов и обслуживания стеллажей используются паллетные шаттлы, штабелеры и манипуляторы
- Для перемещения используются конвейеры и конвейерные системы, управляемые или беспилотные транспортные модули
- Комплектация заказов выполняется при помощи коллаборативных роботов, которые могут автоматически или полуавтоматически собирать заказы. Это включает манипуляторы для обработки тяжелых грузов, упаковочные

машины, роботы-комплектовщики и механические экзоскелеты, сокращающие физические усилия при выполнении движений.

Роботизация складов позволяет сократить расходы на персонал, увеличить скорость и точность выполнения операций, а также снизить нагрузку на человека.

Опыт крупных игроков на рынке показывает, что автоматизированные системы постепенно вытесняют человеческий труд.

1. Автоматизированные склады Amazon

Примером успешной роботизации складов являются складские роботы Amazon. Этот интернет-магазин использует более 200 000 роботов на своих складах по всему миру. Компания AmazonRobotics, ранее известная как Kiva Systems, разрабатывает автоматизированные системы для Amazon с 2012 года.

Компания Kiva Systems является пионером инноваций в области создания мобильных робототехнических систем. Именно эта компания создала передовую систему логистики для складов.

Грузы и товары находятся на складах стандартных модулях. Когда поступает заказ на определенном груз, робот, находящийся ближе всего к модулю, и если он не выполняет другую задачу, забирает груз и перемещает его к зоне выгрузки. Перемещение по территории склада осуществляется с помощью нанесенной на пол разметкой, со штрих-кодовой кодировкой.

Такая система меняла в целом подход к традиционной системе организации складов и существенно сокращала необходимое количество работников, позволяла обходиться без конвейеров.

Сейчас роботизированные склады уже стали рутинным явлением в логистике. В компании Amazon склады используются конвейеры и погрузчики, управляемые людьми. Они перемещают специальные переносные полки. При внесении информации о товаре в информационную систему склада, специальный транспортный робот забирает полку и перемещает ее оператору. Для предотвращения столкновений на пол нанесены QR-коды, сами роботы оснащены датчиками. Они также способны самостоятельно заряжаться.

2. Автоматизированные склады Cainiao (группа Alibaba)

Компания Cainiao, (группа Alibaba) , - крупнейшая логистическая компания, способная обеспечить доставку товара по Китаю в течение суток, по миру в течение трех суток. У нее есть 30 складов общей площадью 1,7 миллиона квадратных метров.

На одном из ее складов в провинции Гуандун используются беспилотные роботы, разработанные компанией Quicktron Intelligent Technology, которые созданы для грузоперемещения. Грузоподъемность данных роботов - 500 кг, также имеется возможность разворота на 360 градусов. Навигация и обеспечение перемещения роботов без столкновений, реализована за счет встроенной системы лазеров. Обмен необходимой информацией с системой управления, в том числе получение заданий, за счет использования Wi-Fi сети.

Роботы имеют алгоритм автоматической зарядки, при падении заряда аккумулятора. Беспилотные роботы, используемые на складе смогли заменить до 70 % работников.

3. Автоматизированные склады Ocado

Ocado – самый крупный в Великобритании сетевой ритейлер продовольственных товаров. Производительность распределительного центра (г. Андовер) составляет до 65 000 заказов. Перемещение роботов осуществляется по рельсам , смонтированным на ячейками, где хранятся товары. Ориентация роботов обеспечивается по специально разметке, выполненной в виде сетки (рисунок 2).



Рисунок 2 – Роботизация складов Ocado

Трафик контролируется посредством 4G сетей, автоматизированная система контролирует положение роботов и предотвращает их столкновения. Скорость роботов составляет 4 метра в секунду. Имеются специальные отсеки, где роботы могут автоматически заряжать аккумуляторные батареи. Ячейки перемещаются роботами на участки сортировки, где заказы собираются сотрудниками. Далее роботы вновь используют пустые ячейки.

4. Автоматизированные склады Sagawa Global

Sagawa Global – крупнейшая японская логистическая компания. Склад компании Sagawa X-Frontier, является наиболее автоматизированным из складов компании. Искусственный интеллект управляет запасами склада, пространством помещений и роботами склада.

1. Автоматизированные склады DHL

Компания DHL использует в своей деятельности автономные роботы LocusRobotics с 2020 года. Эти роботы, называемые Locus-ботами, уже активно применяются на десятках складов в Северной Америке (рис. 1.3). Эти роботы, называемые Locus-ботами, уже активно применяются на десятках складов в Северной Америке (рисунок 3).



Рисунок 3 – Складские роботы DHL

Их технические возможности позволяют автономно перемещаться, находя и доставляя товары для дальнейшей обработки, достигая таким образом экономии времени на выполнении сложных и регулярных задач. Роботизация складов стала неотъемлемой частью современной логистики. Беспилотные роботы значительно упрощают и ускоряют процесс перемещения товаров на складах, а также снижают нагрузку на персонал. Это позволяет компаниям повысить эффективность своей деятельности и обеспечить более быструю доставку товаров клиентам.

Основные параметры рассмотренных примеров роботизации складов сведены в таблице 1.

Таблица 1 Технологии роботизации складов

Компания	Расположение склада	Автоматизация процесса	Особенности системы
Amazon	Филиалы во всем мире	Транспортировка грузов	Доставка роботами товаров с последующей обработкой операторами. QR-кодов на полу определяют алгоритм движения роботов.
Cainiao	Хойян, Китай	Транспортировка грузов	Перемещение товаров мобильными ботами. Контроль по Wi-Fi.

Продолжение Таблицы 1

Ocado	Андовер, Великобритания	Перемещение и комплектация товаров и заказов	Управление движением по 4G технологии. Конечная комплектация операторами. Цикличное использование ячеек роботами .
Sagawa X-Frontier	Токио, Япония	Транспортировка грузов, комплектация заказов	Контроль перемещения роботов с помощью QR-кодов.
DHL	Северная Америка	Транспортировка грузов, комплектация заказов	Роботы доставляют сотрудникам товар, которые затем вносят его при помощи QR-кодов в систему. Доставка товара сборщика, с последующей маркировкой QR- кодами.

Однако 100 процентная роботизация складов на данный момент невозможна. В настоящий момент определенное количество людей остается необходимым. Операторы все еще необходимы для выполнения сложных или вариативных задач.

Как правило автоматизации подлежат отдельные процессы или процедуры. Перспективной разработкой для инженеров является создание «темного» склада – полностью автономных складов, не требующих освещения, где присутствие человека полностью исключено. По мнению специалистов создание таких складов вопрос ближайшего будущего.

Роботизация складов имеет несколько значимых преимуществ [5]. Это включает сокращение затрат на персонал, повышение эффективности и скорости выполнения задач роботами, а также возможность оптимизации использования пространства на складе. Компании, которые уже внедрили роботизацию на своих складах, смогли оценить преимущества автоматизации во время пандемии

COVID-19. Именно в этот период способность решать множество задач с минимальным использованием человеческих ресурсов стала особенно важной.

Как было упомянуто выше, полностью автономная работа складов без участия операторов , в настоящее время невозможна. Но самые крупные транспортно-логистические компании , такие как Amazon, Cainiao, Ocado, Sagawa X-Frontier и DHL инвестируют в подобные разработки огромные средства. Процесс роботизации только набирает обороты, и в будущем управление всеми складскими процессами без вмешательства человека станет реальностью.

1.3 Обзор решений для построения систем управления макетами реальных устройств автоматизации

Существует множество решений для построения систем управления макетами реальных устройств автоматизации, которые включают в себя различные компоненты и технологии. Некоторые из таких решений являются:

- National Instruments (NI) LabVIEW: это популярная среда разработки, которая предоставляет графический интерфейс для программирования и создания приложений, связанных с управлением и измерением данных в реальном времени. NI LabVIEW имеет библиотеки для работы с оборудованием, таким как датчики, исполнительные механизмы и другое.
- Siemens SIMATIC: это промышленный контроллер, который используется для управления и мониторинга производственных процессов. Он имеет широкий спектр функций, включая контроль движения, связь с другими устройствами и сбор данных.
- Allen-Bradley ControlLogix: это еще один промышленный контроллер, который используется для управления автоматическими системами на производстве. Он предоставляет широкие возможности для конфигурирования и подключения к другим устройствам.
- Beckhoff TwinCAT: это программное обеспечение, которое объединяет в себе функциональность контроллера и ПК. Оно позволяет разработчикам

создавать приложения для автоматизации, используя языки программирования на базе IEC-61131.

- Rockwell Automation Studio 5000: это программное обеспечение, используемое для создания приложений управления и мониторинга производственных систем. Оно дает обширный набор инструментов для разработки и тестирования приложений. [8]
- Open Platform Communications (OPC) - это набор стандартов и протоколов для обмена данными между различными устройствами на производстве. OPC может быть использован для подключения к различным устройствам и сбора данных в реальном времени.
- Modbus - это протокол связи, который используется для обмена данными между различными устройствами на производстве. Он может быть использован для подключения к различным устройствам и сбора данных в реальном времени.
- Simple Network Management Protocol (SNMP) - это протокол управления сетевыми устройствами, который может быть использован для мониторинга состояний и сбора данных с различных устройств в сети.
- Programmable Logic Controllers (PLC) - это электронный контроллер, который используется для управления различными производственными процессами и системами. PLC может быть запрограммирован для выполнения различных задач, таких как контроль движения, обработка данных и многое другое.
- Human-Machine Interface (HMI) - это устройство, которое позволяет операторам взаимодействовать с системой управления макетами реальных устройств автоматизации. HMI может использоваться для мониторинга состояния системы, ввода данных и управления настройками.
- Distributed Control System (DCS) - это система управления, которая используется для управления большими и сложными процессами на производстве. DCS может управлять несколькими устройствами и

системами одновременно, что позволяет упростить работу операторов и повысить эффективность работы системы.

- Internet of Things (IoT) - это технология, которая позволяет подключать различные устройства к интернету и обмениваться данными между ними. IoT может быть использован для мониторинга состояния системы и сбора данных в реальном времени. [9]
- Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) - это система управления, которая используется для мониторинга и управления производственными процессами на удаленных объектах. SCADA может быть использован для контроля состояния системы, управления настройками и сбора данных.
- Robotics - робототехника может использоваться для автоматизации различных задач на производстве, таких как сборка, пакетирование, перемещение и т.д. Роботы могут быть запрограммированы для выполнения конкретных задач и работать вместе с другими системами управления макетами реальных устройств автоматизации.
- Augmented Reality (AR) - это технология, которая позволяет добавлять виртуальные элементы в реальную среду. AR может быть использован для управления и мониторинга производственных процессов, например, для представления виртуальной модели на реальном объекте или для обучения операторов.
- Cloud Computing - это технология, которая позволяет хранить и обрабатывать данные на удаленных серверах. Она может быть использована для сбора и анализа данных со всех устройств и систем управления макетами реальных устройств автоматизации, что позволяет повысить эффективность производственных процессов.
- Big Data Analytics - это технология, которая позволяет анализировать большие объемы данных. Она может быть использована для сбора и анализа данных со всех устройств и систем управления макетами реальных устройств автоматизации, что позволяет оптимизировать производственные процессы и повысить эффективность работы системы.

Как мы видим, существует множество различных технологий и решений для построения систем управления макетами реальных устройств автоматизации. При выборе наиболее подходящего решения необходимо учитывать множество факторов, таких как тип производства, характеристики оборудования, доступные бюджет и требуемая производительность.

Большинство из этих технологий являются взаимосвязанными и могут быть использованы вместе для создания комплексной системы управления макетами реальных устройств автоматизации.

Важным аспектом разработки систем управления макетами реальных устройств автоматизации является грамотный выбор специалистов и участие экспертов в этой области. Только компетентные специалисты смогут правильно выбрать и настроить необходимые компоненты и технологии для каждого конкретного случая.

Таким образом, при правильном выборе компонентов и технологий, создание системы управления макетами реальных устройств автоматизации может значительно улучшить производительность на производстве и повысить качество продукции.

Важно также следить за обновлением и совершенствованием существующих систем управления макетами реальных устройств автоматизации, чтобы они соответствовали новым требованиям и возможностям техники. [10]

Можно сделать вывод о том, что необходимо понимать, что создание эффективной системы управления макетами реальных устройств автоматизации - это процесс, который требует времени, ресурсов и взаимодействия между специалистами разных областей. Однако правильная реализация этого процесса может значительно улучшить производственные процессы и повысить конкурентоспособность предприятий.

Кроме того, стоит отметить, что создание систем управления макетами реальных устройств автоматизации может быть полезно не только для производства, но и для других отраслей, таких как здравоохранение, образование, наука, транспорт и многие другие.

2 Разработка системы управления

2.1 Выбор модели микроконтроллера

Разработаем структурную схему проектируемой системы, исходя из функций, которые выполняет макет робота, а именно:

- передвижение по вертикали;
- передвижение по горизонтали;
- передвижение паллеты в ячейку и из нее;
- обмен данными с автоматизированной системой управления (АСУ) склада, которая генерирует команды роботу (в автоматическом режиме или с помощью оператора).

Таким образом, система управления должна содержать следующие блоки:

- микроконтроллер, который предназначен для получения данных от нужных датчиков и АСУ склада, а также генерирования сигналов управления всеми элементами схемы;
- модуль wi-fi, который предназначен для осуществления обмена информацией между системой управления роботом и АСУ склада;
- блок датчиков, предназначенный для получения информации об окружающем пространстве и состоянии робота для последующей обработки и управления его работой.

В этот блок входят следующие датчики:

- энкодер, предназначенный для измерения скорости вращения двигателя, и, соответственно, пройденного расстояния;
- концевой датчик, предназначенный для обнаружения конечной точки передвижения в данном направлении;
- блок управления двигателями, предназначенный для управления работой двигателей с целью изменения их скорости вращения, пуском и остановом;
- блок индикации, предназначенный для отображения необходимых данных в процессе отладки и работы системы;

– блок питания, предназначенный для осуществления питания всех элементов схемы.

Тогда структурная схема системы, представленный на рисунке 4, будет выглядеть следующим образом.

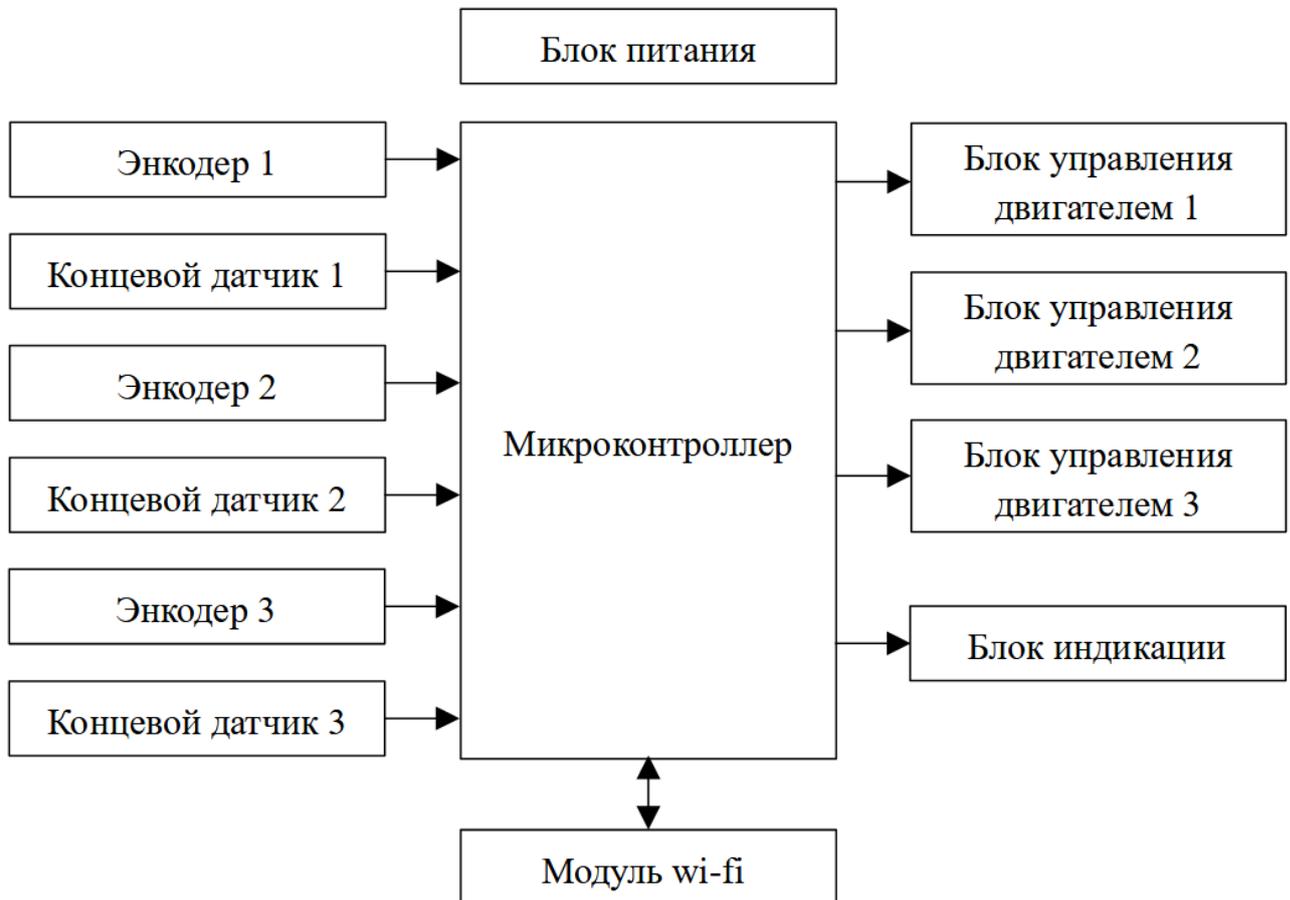


Рисунок 4 – Структурная схема системы управления

Анализируя структурную схему и входящие в нее элементы, можем сделать вывод, что для реализации разработки подойдет практически любой микроконтроллер со встроенным ШИМ. Выберем микроконтроллер ATmega128 [11], как один из наиболее распространённых и недорогих. Рассмотрим его технические характеристики (рисунок 5).

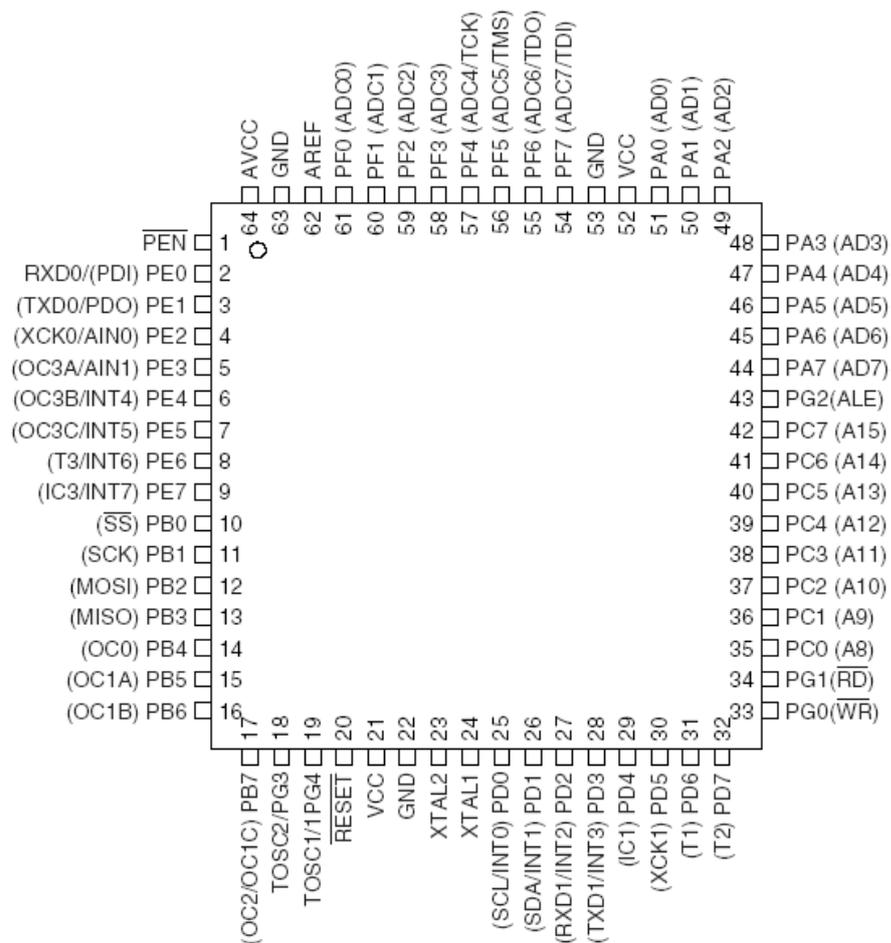


Рисунок 5 – Расположение выводов микроконтроллера ATmega128

Особые характеристики микроконтроллера ATmega128:

Микроконтроллер ATmega128 обладает рядом особенностей, которые делают его высокопроизводительным и энергоэффективным устройством: 8-разрядный AVR-микроконтроллер оснащен развитой RISC-архитектурой, которая включает 133 мощные инструкции, большинство из которых выполняются за один машинный цикл. Он также имеет 32 регистра общего назначения и регистры управления встроенной периферией. ATmega128 работает полностью статически, что означает, что он не требует постоянного обновления данных. Это позволяет достичь производительности до 16 миллионов операций в секунду при тактовой частоте 16 МГц. Кроме того, встроенное умножающее устройство позволяет выполнять умножение за 2 машинных цикла. Он также обладает энергонезависимой памятью программ и данных.

Внутрисистемно перепрограммируемая флэш-память имеет впечатляющую износостойкость в 128 килобайт - 1000 циклов записи/стирания. Есть также опциональный загрузочный сектор с отдельной программируемой защитой. Микроконтроллер поддерживает внутрисистемное программирование с помощью встроенной загрузочной программы, что обеспечивает гарантированную двухоперационность.

ATmega128 также имеет интерфейс JTAG, совместимый со стандартом IEEE 1149.1. Это позволяет проводить граничное сканирование и обеспечивает обширную поддержку функций встроенной отладки. Флэш-память, ЭСППЗУ, биты конфигурации и защиты можно программировать через интерфейс JTAG. Кроме того, микроконтроллер оснащен различными периферийными устройствами.

В нем есть два 8-разрядных таймера-счетчика с отдельными предделителями и режимами сравнения, а также два расширенных 16-разрядных таймера-счетчика с отдельными предделителями, режимами сравнения и режимами захвата. Он также имеет счетчик реального времени, каналы ШИМ и аналогово-цифровое преобразование.

Микроконтроллер ATmega128 также обладает специальными возможностями, такими как сброс при подаче питания и программируемая схема сброса при снижении напряжения питания. Он имеет встроенный калиброванный RC-генератор, внешние и внутренние источники прерываний и шесть режимов снижения энергопотребления.

Микроконтроллер ATmega128 имеет 53 программируемые линии ввода-вывода и доступен в корпусе TQFP с 64 выводами. Рабочее напряжение составляет 2.7-5.5 В для ATmega128L и 4.5-5.5 В для ATmega128.

Есть различные градации по быстродействию, в зависимости от модели, от 0 до 8 МГц для ATmega128L и от 0 до 16 МГц для ATmega128. Микроконтроллер ATmega128 предлагает широкий набор функций и возможностей, что делает его привлекательным выбором для различных приложений, требующих высокой производительности и низкого энергопотребления.

Из данных характеристик нам очень пригодится ШИМ для управления силовым оборудованием с целью повышения его КПД и избавления от пусковых перегрузок.

2.2 Определение и выбор необходимых датчиков

2.2.1 Энкодер

Энкодер - это устройство, для измерения угла поворота. Он фиксирует несколько параметров, такие как - скорость вращения, угловое положение относительно нулевой метки и направление вращения. Энкодера работает на основании алгоритма обратной связи - формирование сигнала, изменяемого в зависимости от угла поворота. Полученный сигнал затем преобразуется и детектируется на контроллере или устройстве индикации.

Существуют два основных типа энкодеров: инкрементальные и абсолютные.

Инкрементальные энкодеры, которые наиболее распространены, имеют более простую конструкцию. Они представляют собой диск с прорезями, через которые проходит оптический датчик. При вращении диска фиксирует или не фиксирует сигнал, что определяется положением датчика относительно отверстий энкодера.. В результате формируется последовательность импульсов, частота последних определяется разрешением устройства и скоростью вращения.

Для определения начального положения используется нуль-метка (выход Z), фиксация которой соответствует одному обороту. Для определения направления вращения энкодеры обычно имеют два выхода (A и B), где импульсы имеют сдвиг по фазе на четверть периода. Разница фаз позволяет однозначно определить направление вращения вала. Основным качеством, определяющим работу инкрементального энкодера является необходимость непрерывно обрабатывать и фиксировать сигналы контроллером и установленным программным обеспечением.. Кроме того, для определения положения после подачи питания необходима отстройка энкодера по нуль-метке.

Абсолютные энкодеры по конструкции более сложно устроены, и именно в силу особенностей конструкции дают возможность детектировать угол поворота и при выключении питания независимо от наличия или отсутствия вращения двигателя или редуктора.. Выход абсолютного энкодера представляет собой параллельный код Грея, разрядность которого определяет разрешение и точность показаний. Ключевой параметр для энкодера - разрешение, то есть количество импульсов на один оборот (для абсолютных энкодеров это разрядность или количество бит). Часто используются преобразователи с разрешением 1024 импульса на оборот.

Кроме того, учитываются такие параметры, как:

- напряжение питания (от 5 до 24 В), тип вала (сплошной, полый или без вала),
- диаметр вала или отверстия, тип выхода (обычно транзисторный выход с открытым коллектором),
- размер корпуса,
- тип крепления и степень защиты.

Энкодеры играют важную роль в различных промышленных и автоматизированных системах, обеспечивая точность измерений и управления вращением. Они широко применяются в многих отраслях, включая производство, робототехнику, автомобильную промышленность и другие. Благодаря своей надежности и точности, энкодеры стали неотъемлемой частью современных технологий и повышают эффективность работы многих устройств и систем.

В соответствии с техническим заданием, в данной системе используются импульсные энкодеры, встроенные в двигатели. Нам остается только принимать сигналы от него и обрабатывать с помощью микроконтроллера.

2.2.2 Концевые датчики

Концевые выключатели - это коммутационные аппараты, посылающие сигнал управления, когда подвижный элемент системы достигает крайнего положения. Используются для контроля и ограничения движения устройств и

механизмов и применяются в быту и на производстве: в конвейерных линиях, в системах сигнализации и освещения, при монтаже автоматических ворот.

Концевики - это одна из разновидностей путевых выключателей, которые используются для открытия и закрытия электрических цепей в системах автоматического управления электроприводами. Они активируются при достижении определенных точек на заданной траектории движения, что приводит к замыканию или размыканию соответствующих контактов выключателя. Это, в свою очередь, генерирует электрические сигналы и запускает устройства управления автоматизированным электроприводом. Концевики являются важными компонентами в системах автоматизации и контроля движения, таких как промышленные роботы, конвейеры, лифты и другие устройства. Они обеспечивают точное определение положения подвижных элементов и позволяют контролировать их движение в соответствии с заданными параметрами. Концевики могут быть механическими или электронными. Механические концевики активируются физическим воздействием на их подвижные элементы, например, при соприкосновении с объектом или при достижении предельной точки движения. Электронные концевики используют электронные сенсоры для обнаружения положения и генерации соответствующих сигналов. Важно отметить, что концевики не только обеспечивают безопасность и контроль в системах автоматического управления, но и способствуют повышению эффективности и надежности работы электроприводов. Они позволяют точно определить начало и конец движения, предотвращают перегрузку и повреждение оборудования, а также обеспечивают правильное функционирование всей системы.

Так как диапазон применения очень широкий, производят всевозможные типы концевиков, которые дифференцируются по:

- конструктивному исполнению,
- габаритам,
- используемым материалам (применяют металлы, пластмассу, резину),
- скорости размыкания контактов и их количеству,

- различной степени защиты от воздействий окружающей среды: открытые, пыле,- брызго,- водо- и взрывозащищенные.

Независимо от вида и назначения, концевой датчик должен обладать рядом характеристик: надежностью срабатывания, безопасностью применения для людей и механизмов, прочностью и высокой механической и электрической износостойкостью.

Концевые датчики производятся различными приводами:

- с роликом (может быть реверсивный, продольный, на рычажке или с угловым действием);
- с кнопкой;
- с рычагом;
- с вращающейся трубкой, кольцом или петлей;
- и пр.

Выбор концевика определенного типа зависит от его назначения и сферы применения. Необходимо учесть тип привода, количество и тип контактов («НО» - нормально открытый и/или «НЗ» - нормально замкнутый), номинальный ток устройства и допустимую частоту коммутаций (циклов в минуту).

Конструктивно датчик состоит из двух частей. Первая - круглая металлическая пластина фиксированной высоты (обычно 20 мм), вторая - зажим, который крепится к перемещаемому объекту. К обеим частям подсоединяются провода, подключаемые к блоку управления. При касании объектом пластины определяется нулевое положение.

Для разрабатываемой системы будем применять концевые датчики L5K13SOP103 (рисунок 6) [13] с такими параметрами:

- допустимая частота коммутаций: 1800/3000 циклов/ч;
- механическая износостойкость: 10 млн циклов;
- электрическая износостойкость: 1 млн циклов;
- степень пылевлагозащиты: IP65;
- диапазон рабочих температур: от -5 до +40°C;
- высота: 64мм;

– ширина: 30мм.



Рисунок 6 - Концевые датчики L5K13SOP103

2.3 Разработка драйверов питания двигателей

Для управления тремя двигателями макета по трем осям необходимо использовать драйвер питания двигателя.

В соответствии с техническим заданием, в данной системе напряжение питания управляемых двигателей на осях перемещения 9 В. Встроенный в двигатели энкодер: импульсный, напряжение питания энкодера 9В, выход энкодера – открытый коллектор. Максимальный потребляемый двигателями осей ток: 1А.

В качестве драйвер питания двигателя будем использовать электрический привод с Н-мостом L293D в корпусе DIP16 (рисунок 7) [14]. Данный компонент включает в себя два драйвера, которые необходимы для коммутации напряжения питания маломощных двигателей постоянного тока. В случае необходимости реализовать управление тремя электродвигателями используется вторая аналогичная микросхема.

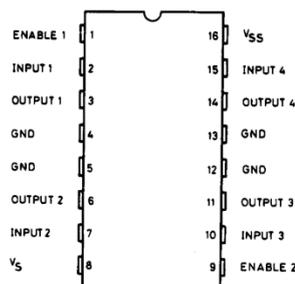


Рисунок 7 – Обозначение выводов драйвера L293D

Это устройство имеет важную особенность - возможность отделения питания микроконтроллера от управляемых им двигателей. Такой подход позволяет подключать приводы с более высоким напряжением, чем у самого микроконтроллера. Разделение электропитания между микроконтроллером и двигателями также необходимо для уменьшения помех, возникающих из-за скачкообразных изменений напряжения, возникающими при работе двигателей.

Характеристики микросхемы L293D:

- напряжение питания двигателей (V_s) - 4,5 - 36V;
- напряжение питания микросхемы (V_{ss}) - 5V;
- допустимый ток нагрузки - 600mA (на каждый канал);
- пиковый (максимальный) ток на выходе - 1,2A (на каждый канал);
- логический "0" входного напряжения - до 1,5V;
- логическая "1" входного напряжения - 2,3...7V;
- скорость переключений до 5 kHz;
- защита от перегрева.

Схема из документации на микросхему, показывающая принцип работы каждого из драйверов, входящих в состав, показана на рисунке 8.

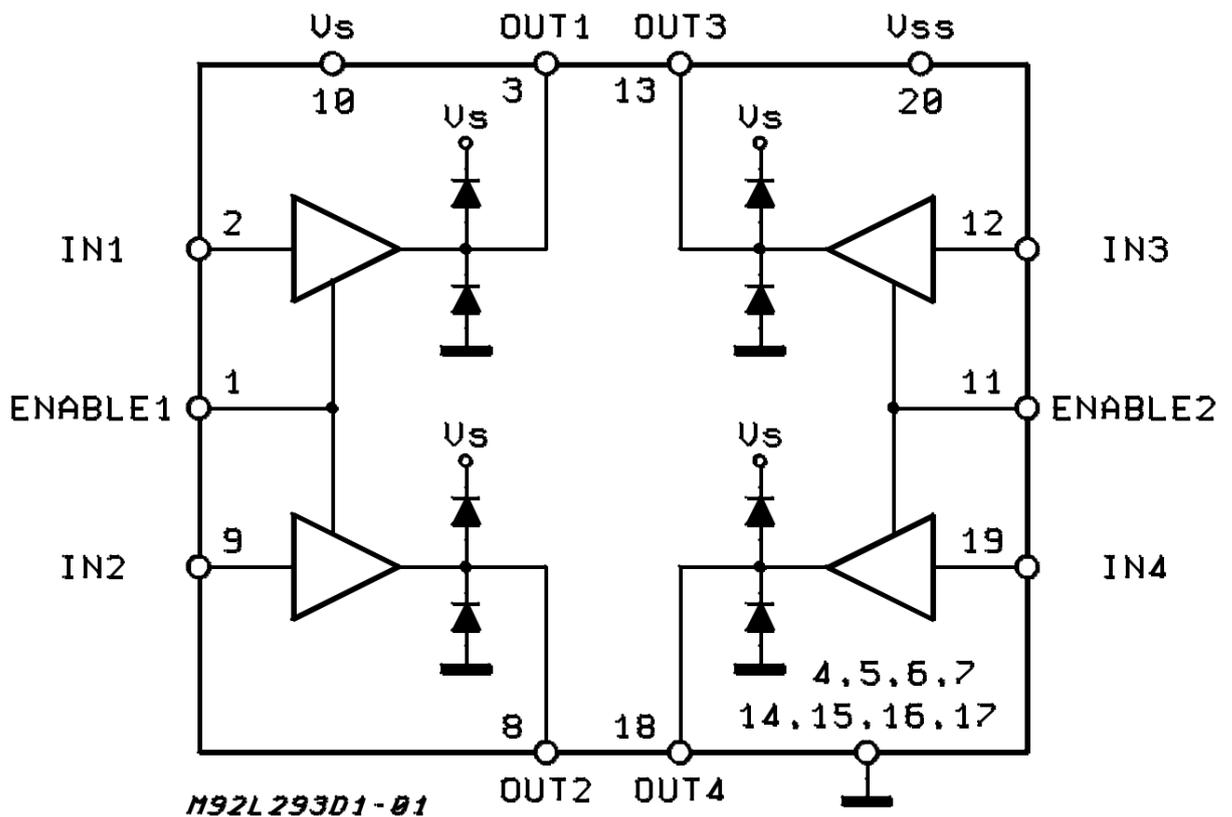


Рисунок 8 - К объяснению принципа подключения электродвигателей

L293D - это интегральная микросхема, которая служит для управления двигателями. Устройство имеет входы INPUT1, INPUT2 (INPUT3 и INPUT4 для второго двигателя), через которые фиксируются сигналы управления, выходов OUTPUT1, OUTPUT2 (OUTPUT 3 и OUTPUT 4 для второго двигателя), для передачи сигнала управления. Помимо этого имеются входы ENABLE1 и ENABLE2. Подача сигнала на них включает драйвера. С помощью этих входов обеспечивается ШИМ-управление электродвигателями. ШИМ - это метод модуляции, при котором скорость вращения может быть изменена путем изменения ширины импульсов управляющего сигнала. Это позволяет достичь более плавного и точного управления скоростью двигателей. Чтобы лучше понять принцип работы драйвера двигателя L293D, можно обратиться к таблице 2, где представлена подробная информация о входных и выходных состояниях микросхемы в зависимости от комбинации управляющих сигналов.

Таблица 2 Схема выбора направления вращения

ENABLE1	INPUT1	INPUT2	OUTPUT1	OUTPUT2
1	0	0	0	0
1	1	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	1	1	1

Таким образом, если на INPUT1 подать 1, а на INPUT2 0 (вторая строчка таблицы), то на выходе OUTPUT1 будет плюс питания, а на OUTPUT2 – минус. Другими словами, комбинацией INPUT1, INPUT2 можно задавать направление вращения. При этом если ENABLE1 – ноль, то двигатель вращаться не будет. Подачей на ENABLE1 ШИМ можно регулировать скорость вращения.

ШИМ (широтно-импульсной модуляции) - процесс управления мощности методом пульсирующего включения и отключения прибора.

ШИМ-сигнал имеет две основные характеристики, которые можно выделить. 1. частота импульсов, от которой зависит рабочая частота преобразователя. Обычно частоты составляют более 20 кГц, чаще всего от 40 до 100 кГц.

2. коэффициент заполнения и скважность. Эти две величины связаны между собой.

Коэффициент заполнения обозначается буквой S, а скважность - буквой D. Коэффициент заполнения вычисляется как обратное значение периода сигнала ($S = 1 / T$), где T - период сигнала, а скважность равна обратному значению коэффициента заполнения ($D = 1 / S$). Коэффициент заполнения представляет собой долю времени в течение периода, когда на выходе контроллера формируется управляющий сигнал, и всегда меньше 1. Скважность, напротив, всегда больше 1. При частоте 100 кГц период сигнала составляет 10 мкс, а ключ открыт в течение 2.5 мкс. Тогда коэффициент заполнения будет равен 0.25 или 25% (в процентах), а скважность составит 4 (см. рисунок 9).

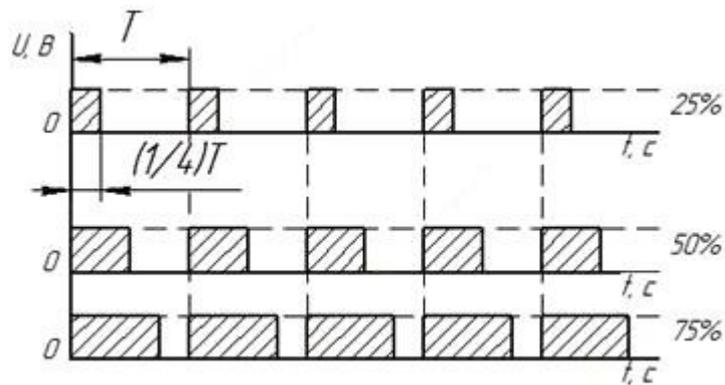


Рисунок 9 – ШИМ-сигналы при различных значениях S

Преимущество применения импульсного управления перед линейным это более высокий КПД (более 80, а в настоящее время и 90%).

Энкодер двигателя является отдельным датчиком со своим питанием. Он имеет два канала, которые подключают к выходам контроллера. По сигналам с энкодера можно определять программным путем направление или скорость вращения двигателя. Для этого подсчитывают количество импульсов по каждому каналу. Если в течение определенного времени сигнал на выходе энкодера изменился по сравнению с тем, что был при старте, значит, двигатель вращается. По количеству импульсов за единицу времени определяют скорость вращения, а по разнице сигналов с каналов определяют направление вращения.

2.4. Разработка схемы электрической принципиальной системы управления макетом автоматизированного складского комплекса

При разработке принципиальной схемы также нужно будет еще определиться с оставшимися элементами структурной схемы - блок индикации, модуль WI-FI и блок питания.

2.4.1 Блок индикации

Блок индикации предназначен для отображения необходимых данных в процессе отладки и работы системы. Для его реализации целесообразно использовать жидкокристаллический индикатор LCD LM016L (рисунок 10), который широко применяется вместе с микроконтроллерами для преобразования сигналов от контроллеров и датчиков в графическую информацию [16]. Управление им осуществляется от МК через соответствующие выводы.

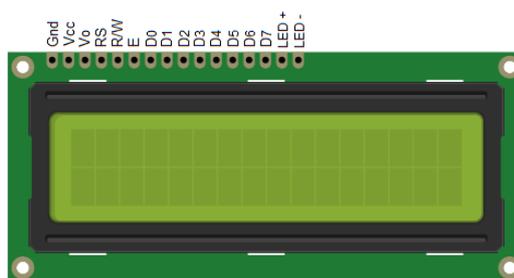


Рисунок 10 – ЖКИ LM016L

4-битный интерфейс HD44780 данного ЖКИ имеет 16 выводов:

5-Vss – общий GND; Vdd – питание; VO – настройка контрастности; RS – данные и команды; RW – чтение и запись; E (Enable) – включение; D0 – D7 линии данных; LED+ – анод подсветки; LED- – катод подсветки.

Питание модуля осуществляется от внешнего источника питания (блока питания, батареи). Напряжение питания данного модуля составляет 5 В.

2.4.2 Модуль Wi-Fi

Для беспроводной связи с использованием WiFi мы будем использовать модуль ESP-01 с чипом ESP8266 (см. рисунок 11) [17].

ESP-01 - это плата-модуль WiFi, на чипсете ESP8266EX. Состав модуля: Flash-память объемом 2 МБ, чип ESP8266EX, кварцевый резонатор, светодиоды для индикации и антенна.

Flash-память загружает ПО в чип ESP8266EX при каждом включении питания. Модуль при работе использует "AT-команды". Контроллер транслирует команды, Wi-Fi модуль обеспечивает выполнение команд.

Он предлагает удобное и надежное решение для подключения устройств к Интернету. Благодаря наличию Flash-памяти объемом 2 МБ, модуль способен хранить необходимое ПО. Команды, отправляемые с управляющей платы, позволяют легко управлять Wi-Fi модулем и выполнять различные операции. Благодаря своей компактности и удобной антенне, модуль ESP-01 с чипом ESP8266 является популярным выбором для различных проектов, требующих беспроводной связи.

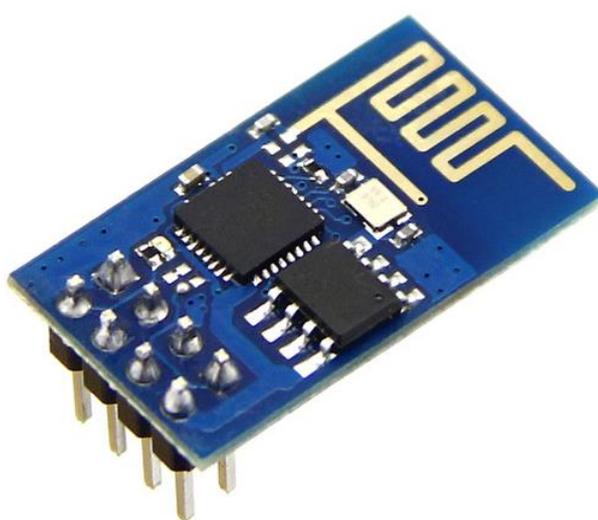


Рисунок 11 - Модуль ESP-01 с чипом ESP8266

ESP8266 - это микроконтроллер с встроенным WiFi-интерфейсом, с возможностью исполнять программы непосредственно из Flash -памяти.

- Технические характеристики ESP8266 включают в себя следующее: поддержка Wi-Fi протоколов 802.11 b/g/n с поддержкой WEP, WPA и WPA2;

- 14 портов ввода-вывода, SPI, I2C, UART
- аналого-цифровой преобразователь (АЦП) с разрешением 10-битного;
- подключаемый внешний носитель емкостью до 16 МБ.

Рабочее напряжение микроконтроллера - 2,2 - 3,6 В, ток – до 300 мА.

В ESP8266 отсутствует встроенная энергонезависимая память. Программа загружается с внешней SPI-Flash -памяти.

Для доступа к внутренним периферийным устройствам контроллера необходимо использовать API набор библиотек, а не просто документацию. Производитель указывает, что микроконтроллер имеет примерно 50 кБ оперативной памяти (ОЗУ).

2.4.3 Блок питания

В соответствии с техническим заданием, в данной системе используется источник питающего напряжения: сетевое напряжение 220В 50Гц.

Для питания блока управления с микроконтроллером требуется источник питания 5 В. Кроме того, драйвер питания двигателей требует напряжение 9 В. Следовательно, необходимо обеспечить питание от сети переменного напряжения 220В 50 Гц.

Для выбора блока питания требуемой мощности, необходимо определить потребляемую суммарную мощность. Определить потребляемую мощность можно как сумму мощностей элементов схемы, которые требуют питания, причем почти все элементы схемы требуют 5В постоянного тока. Таким образом далее приведем мощности элементов схемы в соответствии с документацией на устройства:

- максимальная мощность, потребляемая микроконтроллером Atmega8 – $5\text{В} \times 0,0036\text{А} = 0,018\text{ Вт}$;
- мощность, потребляемая ESP-01 – $5\text{В} \times 0,001\text{А} = 0,005\text{ Вт}$;
- мощность, потребляемая LM016L – $5\text{В} \times 0,0024\text{А} = 0,012\text{ Вт}$;
- максимальная мощность, потребляемая микросхемой L293D (на один канал) – $9\text{В} \times 1,2\text{А} = 10,8\text{ Вт}$.

Определим суммарную мощность:

$$P = 0,018 + 0,005 + 0,012 + 10,8 * 3 = 32,4 \text{ Вт}$$

В качестве мощности источника питания необходимо взять значение с небольшим запасом, которое будет равняться:

$$P_{\text{БП}} = 40 \text{ Вт}$$

В итоге выбираем блок питания на 40Вт / 9 В.

Подойдет блок АМЕ40-9 SCJZ, АС/DC преобразователь, 9В, 4,44А, 40Вт (рисунок 12) на 9В постоянного тока, производства АІМТЕС [19].



Рисунок 12 - Блок питания АМЕ40-9 SCJZ

Параметры:

- мощность: 40Вт;
- выходной ток: 4,44А;
- КПД: 84%;
- внешние размеры: 89x63,5x25мм;
- монтаж: РСВ;
- защита: от короткого замыкания SCP, от перегрузок OPP, от перенапряжения OVP;

- напряжение изоляции: 3кВ;
- рабочая температура: -40...70°C;
- потребляемая мощность без нагрузки: <0,5Вт;
- выходное напряжение: 9В DC.

Для того, чтобы из 9 В получить напряжение 5 В для питания цифровой части схемы, используем микросхему LM7805, которая представляет собой трехтерминальную ИС линейного стабилизатора напряжения, работающая с переменным током. Это распространенный компонент в схемах, где требуются положительные регуляторы напряжения. Типовая схема подключения показана на рисунке 13.

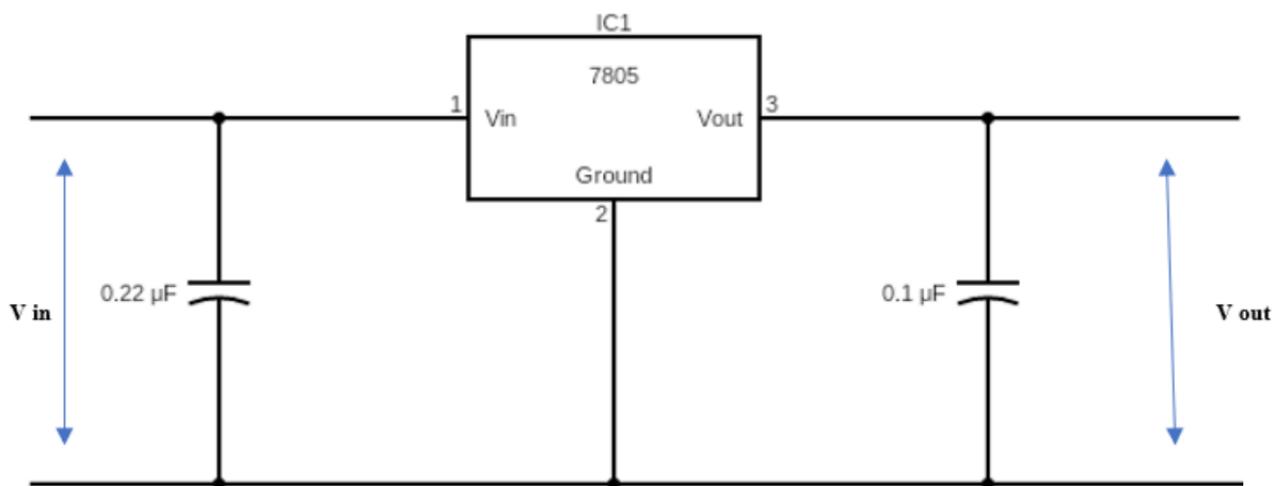


Рисунок 13 - Типовая схема подключения LM7805

Для оптимального функционирования ИС минимальное входное напряжение должно составлять 7 В, а максимальное - 25 В.

2.4.3 Описание принципиальной схемы

Схема электрическая принципиальная представлена в Приложении Б.

Основным элементом схемы является микроконтроллер ATmega128 (DD1).

К его портам подключены сигналы от датчиков, ЖК дисплей, модуль Wi-Fi и выходы на усилительные устройства для управления двигателями:

- PA0-PA2 - концевые датчики (сигналы KD1-KD3);

- PA3-PA5 - входы энкодеров двигателей (сигналы ENC1-ENC3);
- PC0-PC5 - выходы управления двигателями (сигналы IN1-IN6);
- PB5-PB7 - выходы управления скоростью двигателей (сигналы EN1-EN3);
- PE0-PE2 - входы и выходы для обмена информацией с модулем Wi-Fi (сигналы Tx, Rx, Res);
- PD - выходы для управления передачей информацией на ЖКИ (сигналы RS, RW, E, D1-D4).

Модуль Wi-Fi (DD2) дает возможность обмениваться данными с управляющей программой склада, получать команды на выполнение, отчитываться о выполненном задании, перемещенном грузе и прочих текущих событиях.

ЖК дисплей (HL1) нужен для отображения текущей информации в отладочном режиме, а также для отображения данных при прохождении маршрута роботом в процессе работы для наблюдения оператором.

Также схема содержит драйверы двигателей (DD3 DD4) и стабилизатор напряжения DA1.

Данные концевых датчиков поступают на разъем X1, а управление двигателями осуществляется через разъем X2, туда же приходят и сигналы с энкодеров двигателей для последующей обработки их в микроконтроллере.

3 Разработка управляющей программы микроконтроллера

3.1 Разработка алгоритма работы

Работа системы управления роботом описывается алгоритмом, представленным на рисунке 14.

В начале работы происходит инициализация микроконтроллера, при которой устанавливаются необходимые параметры программы, библиотек и подключённых устройств.

Затем происходит загрузка данных от программного обеспечения АСУ склада по беспроводной сети по WiFi. Если есть задание и погружен груз, то робот обрабатывает полученные данные, определяет скорость и время работы двигателей и точки останова.

После этого запускает первый двигатель, который, вращаясь в одну из сторон, передвигает платформу по горизонтали в нужное положение.

Когда конечная точка будет достигнута, подаётся управляющее воздействие на второй двигатель, перемещающий платформу по вертикали на нужную высоту. Высота определяется скоростью вращения двигателя, измеряемую соответствующим энкодером, и временем его работы. После перемещения в заданную точку, осуществляется управление третьим двигателем, который перемещает платформу в выбранную ячейку склада, оставляя там груз.

После этого, осуществляя управления двигателями в обратном направлении, платформа перемещается в исходную точку, заданную концевыми выключателями как нулевую, и снова ожидает команду от программного обеспечения АСУ склада.

Блок-схемы алгоритмов функций управления вращением двигателя представлены на рисунке 15. В них выдаются управляющие сигналы на входы IN1, IN2, EN драйвера L293D для изменения направления и скорости вращения двигателя или его останова.

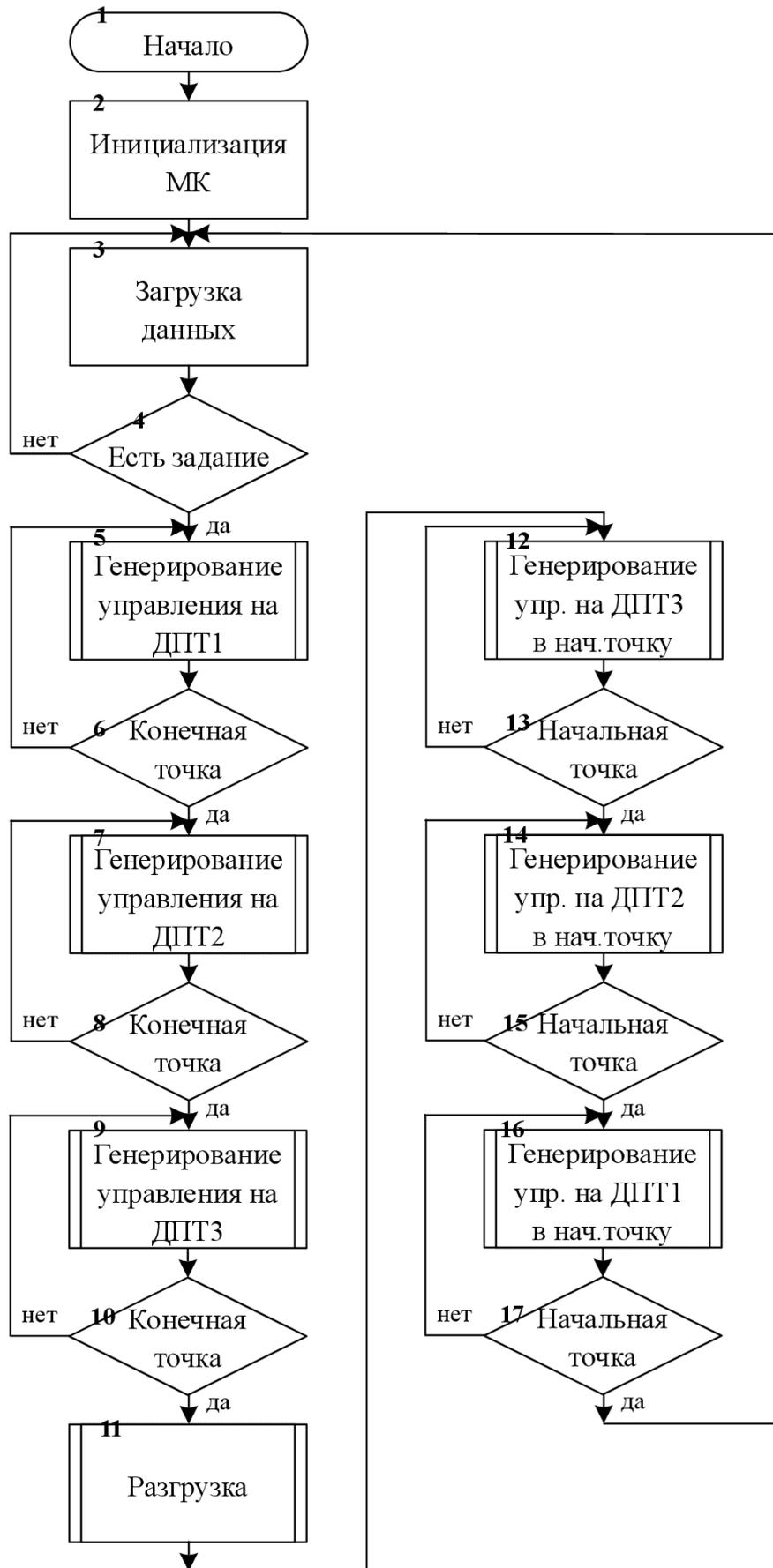


Рисунок 14 – Блок-схемы алгоритма работы системы управления роботом

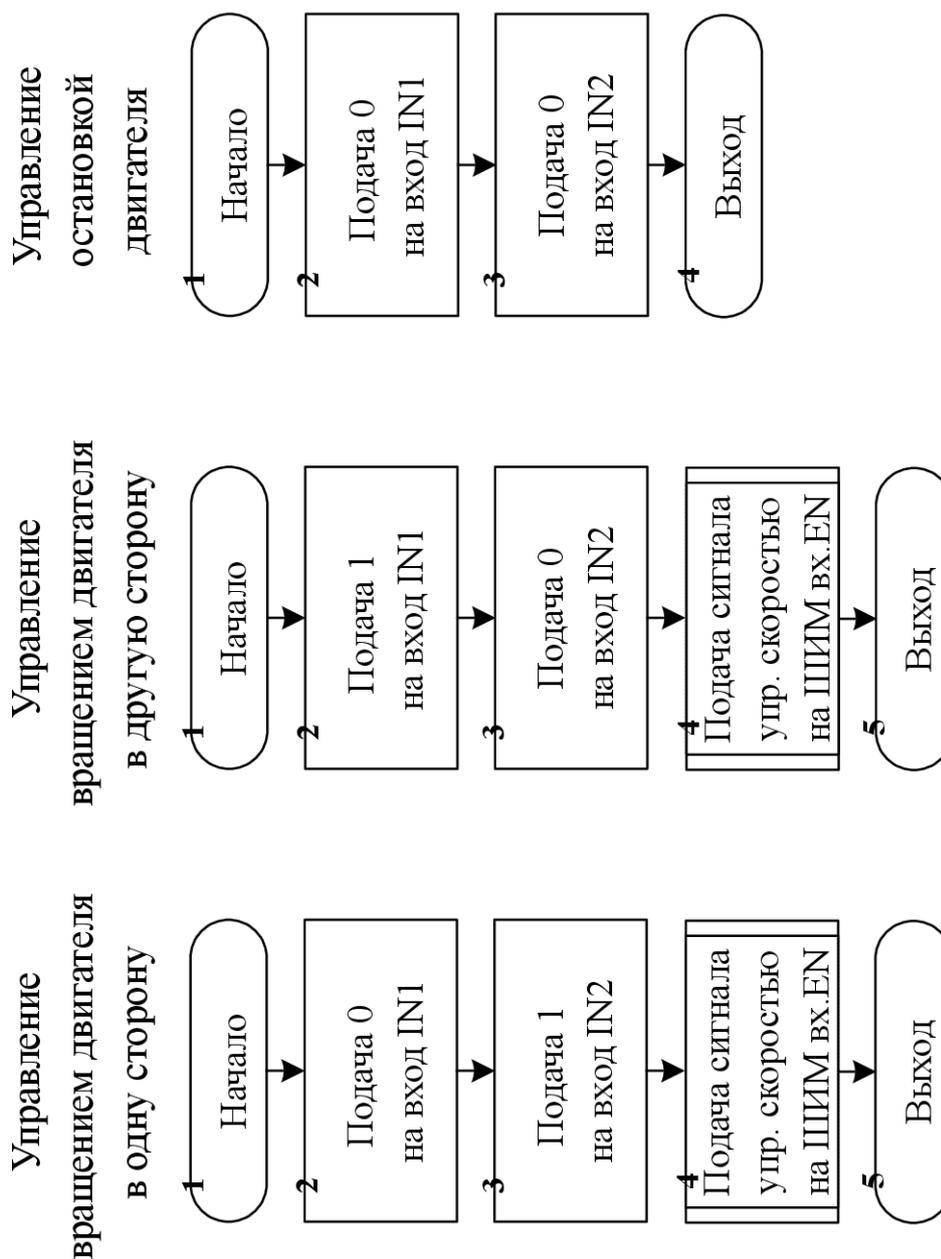


Рисунок 15 – Блок-схемы алгоритмов функций управления вращением двигателя

3.2 ПО для разработки программы

Программа разрабатывается и компилируется с помощью редактора CodeVisionAVR C Compiler Evaluation (рисунок 16). Данная программа представляет собой интегрированную среду разработки ПО для AVR микроконтроллеров.

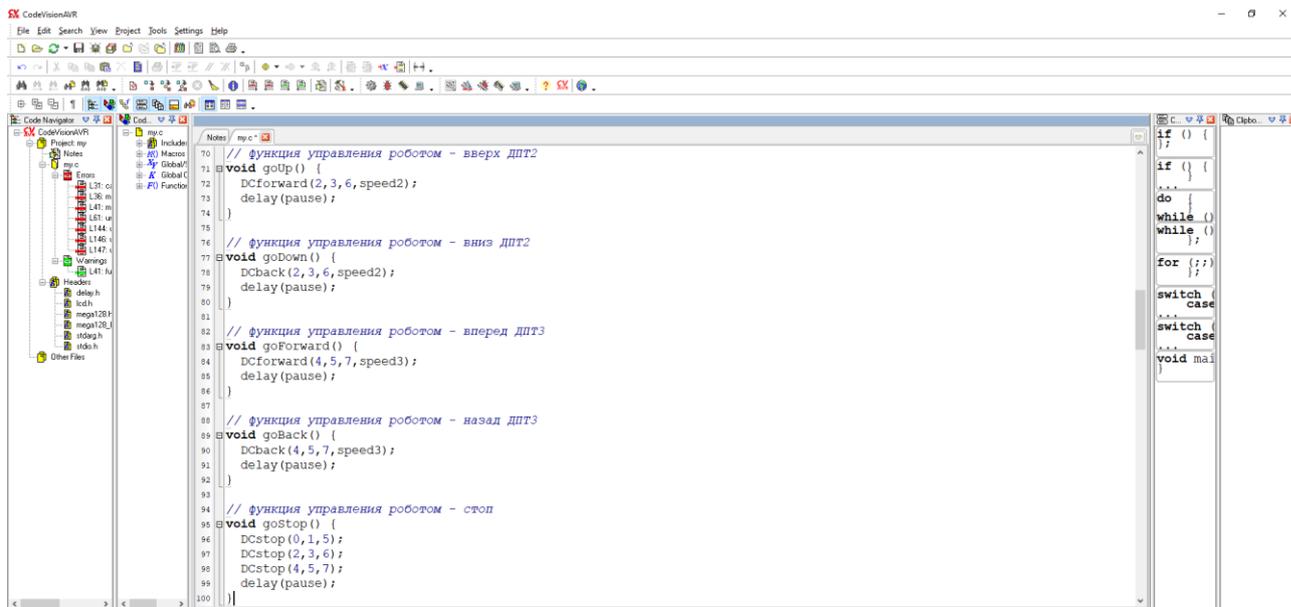


Рисунок 16 - Окно редактора CodeVisionAVR C Compiler Evaluation

CodeVisionAVR - это среда разработки кода для микроконтроллеров AVR, которая обладает рядом преимуществ.

- Легкость использования и эксплуатации
- Поддержка всех типов микроконтроллеров AVR, в том числе ATxmega
- Формирование эффективного программного кода
- Непосредственная запись в память микроконтроллера
- Модули для трансляции кода на языках C и ассемблере в машинный код
- Подключение программаторов AVR910, STK200/300, STK 500 и т.д.
- Формирование выходных файлов в формате BIN, HEX, ROM с возможностью прошивки сторонним программатором, и файлы формата COFF или OBJ
- Модуль взаимодействия с внешними программаторами
- Терминальный модуль

Библиотеки CodeVisionAVR регулярно пополняются и поддерживает изделия основных производителей, таких как Philips, National Semiconductor, Maxim-Dallas Semiconductor и других. CodeVisionAVR отличается своим синтаксисом,

поддержкой большого количества микроконтроллеров и высокой производительностью генерируемого кода.

3.3 Разработка основных функций ПО

В начале программы подключаем библиотеку для работы с ЖКИ, а также описываем необходимые константы и переменные:

```
#define F_CPU 8000000UL
#include <mega128.h>
// подключение ЖКИ
#asm
    .equ __lcd_port=0x12 ;PORTD
#endasm
#include <lcd.h> // библиотека для работа с ЖКИ
#include <delay.h> // библиотека системных функций
#include <stdio.h> // библиотека для преобразования данных
int d, go, p, i=0, speedR=0, speedL=0,
pause = 500, pauseDC = 1000, // время паузы
speed_intr = 0, // подсчет числа импульсов датчика скорости
distance; // переменная для расчета пути
volatile byte rotation; // переменная для прерываний
timetaken,rpm,dtime,v; // переменные для подсчета скорости
long pr, pr2;
unsigned long pevtime;
char msg[17]; // переменная для вывода сообщений на индикатор
```

В основной функции main() выполняется ряд подготовительных действий по инициализации микроконтроллера, например, таких как установка портов

ввода-вывода, инициализация двигателей постоянного тока, индикатора, а также запуск функции тестирования системы и вывод начальных сообщений:

```
// Input/Output Ports initialization
PORTA=0x00;
DDRA=0x00;
PORTB=0x00;
DDRB=0xff;
PORTC=0x00;
DDRC=0xff;
PORTD=0x00;
DDRD=0xff;
PORTE=0x00;
DDRE=0x00;
PORTF=0x00;
DDRF=0x00;
PORTG=0x00;
DDRG=0x00;
// настройка ШИМ
TCCR1A|=(1<<WGM10);
TCCR3A|=(1<<WGM30);
//no-inverting PWM
TCCR1A|=(1<<COM1A1)|(1<<COM1B1)|(1<<COM1C1);
TCCR3A|=(1<<COM3A1);
// настройка ЖКИ
lcd_init(16);
lcdPrint("Ready", 0,0);
test(); // запуск тестирования
```

В функции main() есть бесконечный цикл, в котором выполняется основная работа. В нем будет весь код программы, соответствующий разработанному выше алгоритму.

В качестве дополнительных функций выступают следующие функции:

void lcdMsg(char msg[17], int x, int pause) – функция вывода информации на ЖКИ с указанием номера позиции и паузы для отображения сообщения;

void WayCalcIntr() – функция для измерения скорости по прерыванию;

void WayCalc() – функция для вычисления пройденного пути;

void DCforward(int in1, int in2, int en, int sp) – функция управления ДПТ – вперед;

void DCback(int in1, int in2, int en, int sp) – функция управления ДПТ – назад;

void DCstop(int in1, int in2, int en, int sp) – функция управления ДПТ – стоп;

void goRight() – функция управления роботом – вправо;

void goLeft() – функция управления роботом – влево;

void goUp() – функция управления роботом – вверх;

void goDown() – функция управления роботом – вниз;

void goForward() – функция управления роботом – вперед;

void goBack() – функция управления роботом – назад;

void goStop() – функция управления роботом – стоп;

void sendMsg(int msgCode) - функция передачи сообщения;

void loadData() – функция загрузки данных;

void test() – функция для тестирования всех элементов системы;

Рассмотрим основные функции:

```
// функция вывода информации на ЖКИ с указанием номера позиции и паузы для  
отображения сообщения
```

```
void lcdMsg(char msg[17], int x, int pause) {  
    if (x==0) {  
        lcd.clear(); // очистка экрана  
    }  
}
```

```

lcd.setCursor(x, 0); // установка курсора в нужную позицию
lcd.print(msg); // вывод сообщения
if (pause>0){
    delay(pause); // пауза
}
}

```

Вычисление пройденного расстояния осуществляется с помощью функции, которая вызывается по прерыванию от энкодера двигателя, который за полный оборот отправляет 40 импульсов, т.е. состояние на входной линии энкодера изменяется с 0 на 1 и наоборот. Прерывания настроены на изменение состояния. Подсчёт импульсов происходит все время, а расчёт расстояния – только при вызове нужной функции.

```

// функция для измерения скорости по прерыванию
void WayCalcIntr()
{
    speed_intr++; delay(10);
    rotation++;
    dtime=millis();
    if(rotation>=40)
    {
        timetaken = millis()-pevtime;
        rpm=(1000/timetaken)*60;
        pevtime = millis();
        rotation=0;
    }
}

```

```

// функция для вычисления пройденного пути
void WayCalc()
{
  if(millis()-dtime>500) //если не было ни одного прерывания за 500 мс
  {
    rpm = 0; // скорость и число оборотов вала приравниваем нулю
    v = 0;
    dtime=millis();
  }
  v = radius * rpm * 0.104; // скорость в м/с
  distance = (2*3.141*radius)*(speed_intr/40); // пройденное расстояние
}

```

Управление двигателями постоянного тока платформы осуществляется с помощью следующих функций. Входными параметрами этих функций являются входы управления микросхемы L293, предназначенными для управления нужным двигателем (in1, in2, en), а также скорость, которую ему нужно задать посредством сигнала ШИМ (sp):

```

// функция управления ДПТ - вперед
void DCforward(int in1, int in2, int en, int sp) {
  PORTB &= ~(1<<in1); // подаем 0
  PORTB |= 1<<in2; // подаем 1
  SetPWI(en, sp);
}
// функция управления ДПТ - назад
void DCback(int in1, int in2, int en, int sp) {
  PORTB |= 1<<in1; // подаем 1
  PORTB &= ~(1<<in2); // подаем 0
}

```

```

    SetPWI(en, sp);
}
// функция управления ДПТ - стоп
void DCstop(int in1, int in2) {
    PORTB &= ~(1<<in1); // подаем 0
    PORTB &= ~(1<<in2); // подаем 0
}

```

Тогда с их помощью можно запрограммировать режимы движения робота – вправо или влево (ДПТ1), вверх или вниз (ДПТ2), вперед или назад (ДПТ3) и стоп (все ДПТ):

```

// функция управления роботом - вправо ДПТ1
void goRight() {
    DCforward(0,1,5,speed1);
    delay(pause);
}

```

```

// функция управления роботом - влево ДПТ1
void goLeft() {
    DCback(0,1,5,speed1);
    delay(pause);
}

```

```

// функция управления роботом - вверх ДПТ2
void goUp() {
    DCforward(2,3,6,speed2);
    delay(pause);
}

```

```
// функция управления роботом - вниз ДПТ2
void goDown() {
    DCback(2,3,6,speed2);
    delay(pause);
}

// функция управления роботом - вперед ДПТ3
void goForward() {
    DCforward(4,5,7,speed3);
    delay(pause);
}

// функция управления роботом - назад ДПТ3
void goBack() {
    DCback(4,5,7,speed3);
    delay(pause);
}

// функция управления роботом - стоп
void goStop() {
    DCstop(0,1,5);
    DCstop(2,3,6);
    DCstop(4,5,7);
    delay(pause);
}
```

4 Разработка конструкции системы управления (трассировка необходимых печатных плат)

4.1 Описание ПО для трассировки печатной платы

При разработке печатной платы системы управления будем использовать ПО DipTrace.

Первый модуль - Схемотехника. В DipTrace Schematic Capture позволяет создавать многолистовые и многоуровневые иерархические схемы. Программа устанавливает связи между выводами компонентов, как визуально, так и логически, используя имена, сетевые порты и шины. Есть возможность проверки связей (ERC) и проверки иерархии. DipTrace обеспечивают импорт и экспорт данных из других электронных САПР, таких как PCAD, OrCAD, PADS и многих других.

Второй модуль - Редактор Плат. DipTrace PCB Layout дает инструменты для ручного трассирования и позиционирования компонентов на печатной плате. Программа имеет автотрассировщик, поддержку дифференциальных пар и возможность копирования готовых узлов между блоками. Также продвинутые функции проверки проекта, такие как Real-Time DRC, обеспечивают возможность обнаруживать возможные ошибки еще до их возникновения.

DipTrace обеспечивает импорт: файлов проекта, списков соединений и производственных файлов, обеспечивая использования ранее созданные наработки.

Третий модуль - Создание Библиотек. В программной среде DipTrace имеются редакторы компонентов и корпусов.

Четвертый модуль - 3D Предпросмотр. Этот модуль работает внутри PCB Layout и Редактора Корпусов. Пользователь может вращать модель во всех плоскостях, менять масштаб, цвета и многое другое. Кроме того, плату можно экспортировать в механические САПР-системы. В DipTrace представлено более 6,5 тысяч моделей, а также есть возможность импортировать модели корпусов в форматах STEP, IGES, VRML и 3DS.

4.2 Печатная плата системы управления

Используя выбранное ПО, составляем схему для разработки платы печатной (рисунок 17).

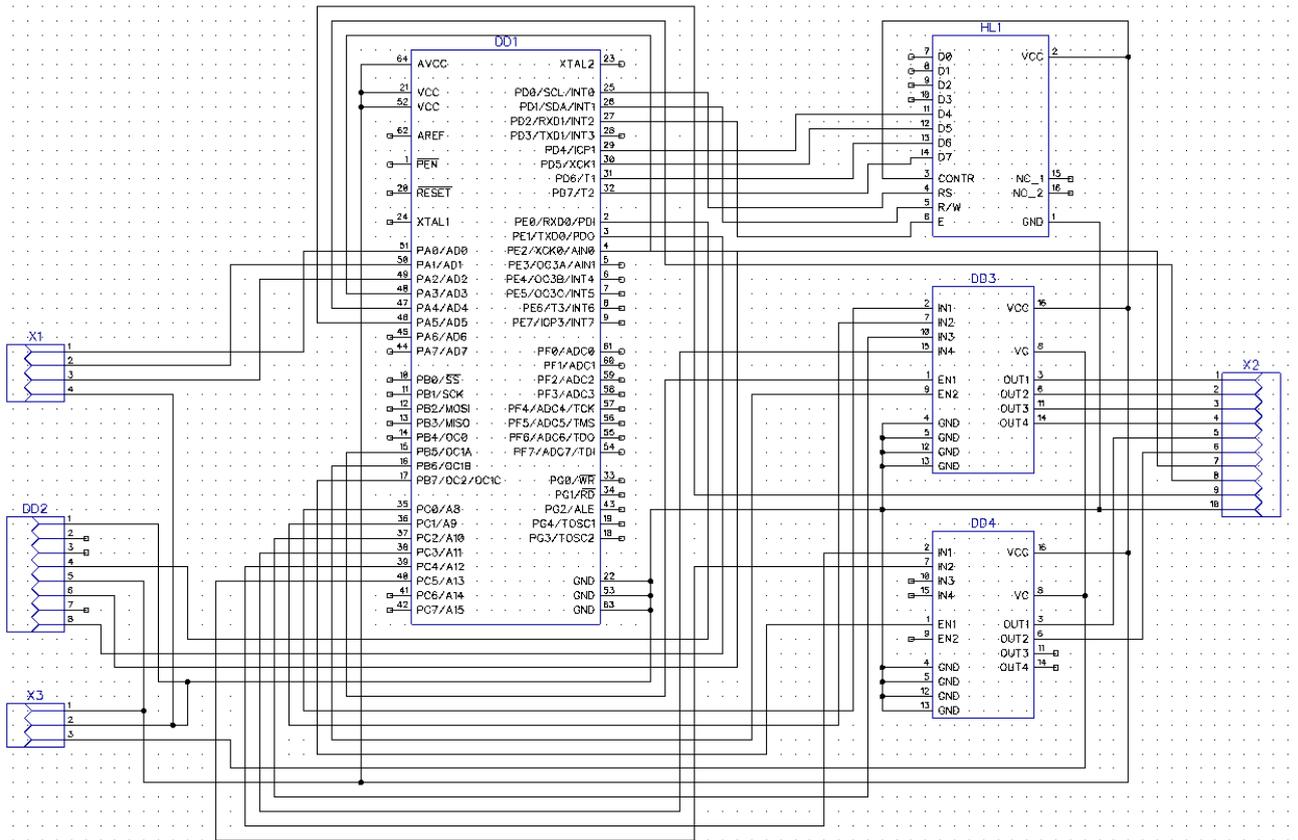


Рисунок 17 - Схема в САПР Diptrace

На схеме предусматриваем разъем для подключения модуля Wi-Fi (DD2), а также разъем для подключения питания в схему (X3).

Плата печатная представлена на рисунках 18 - 20. Ее размер 100x90мм.

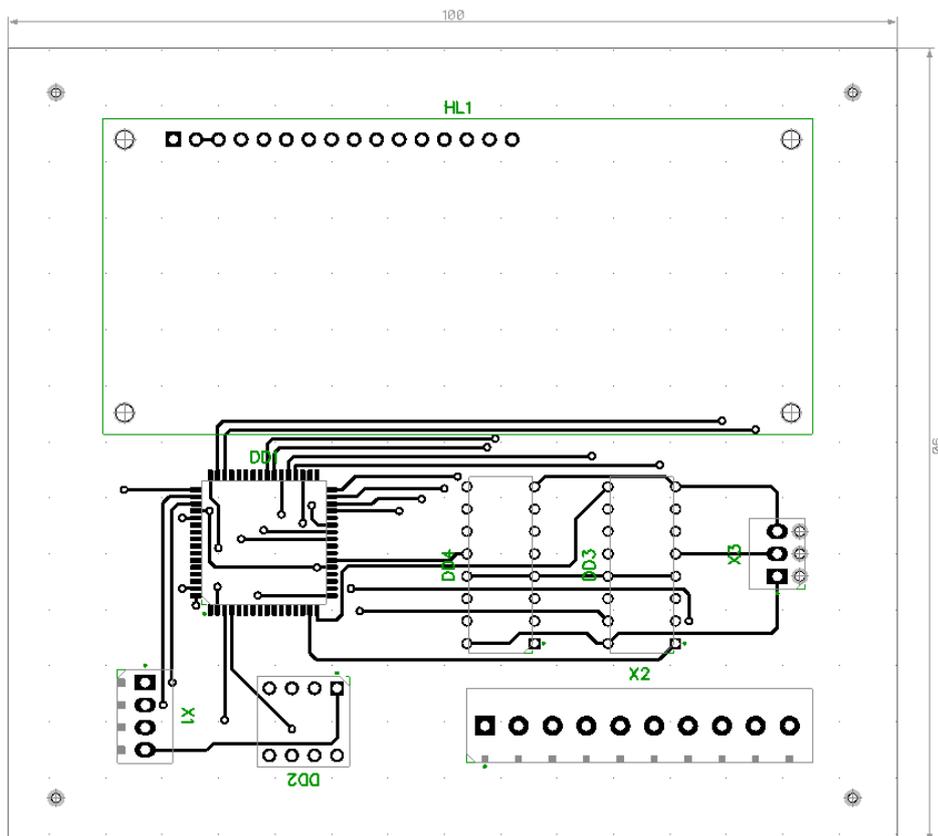


Рисунок 18 - Плата печатная (верхняя сторона)

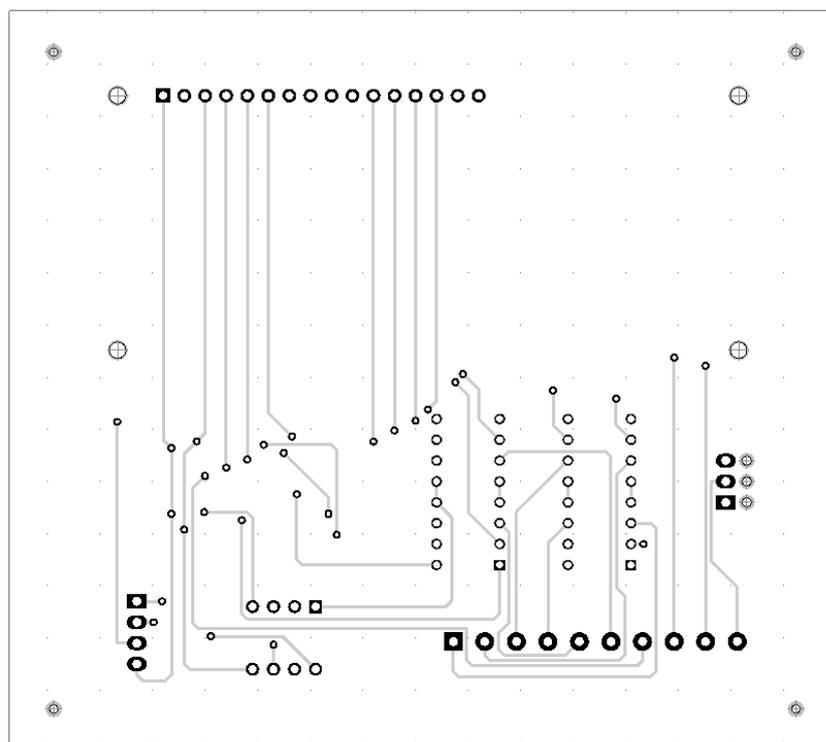


Рисунок 19 - Плата печатная (нижняя сторона)

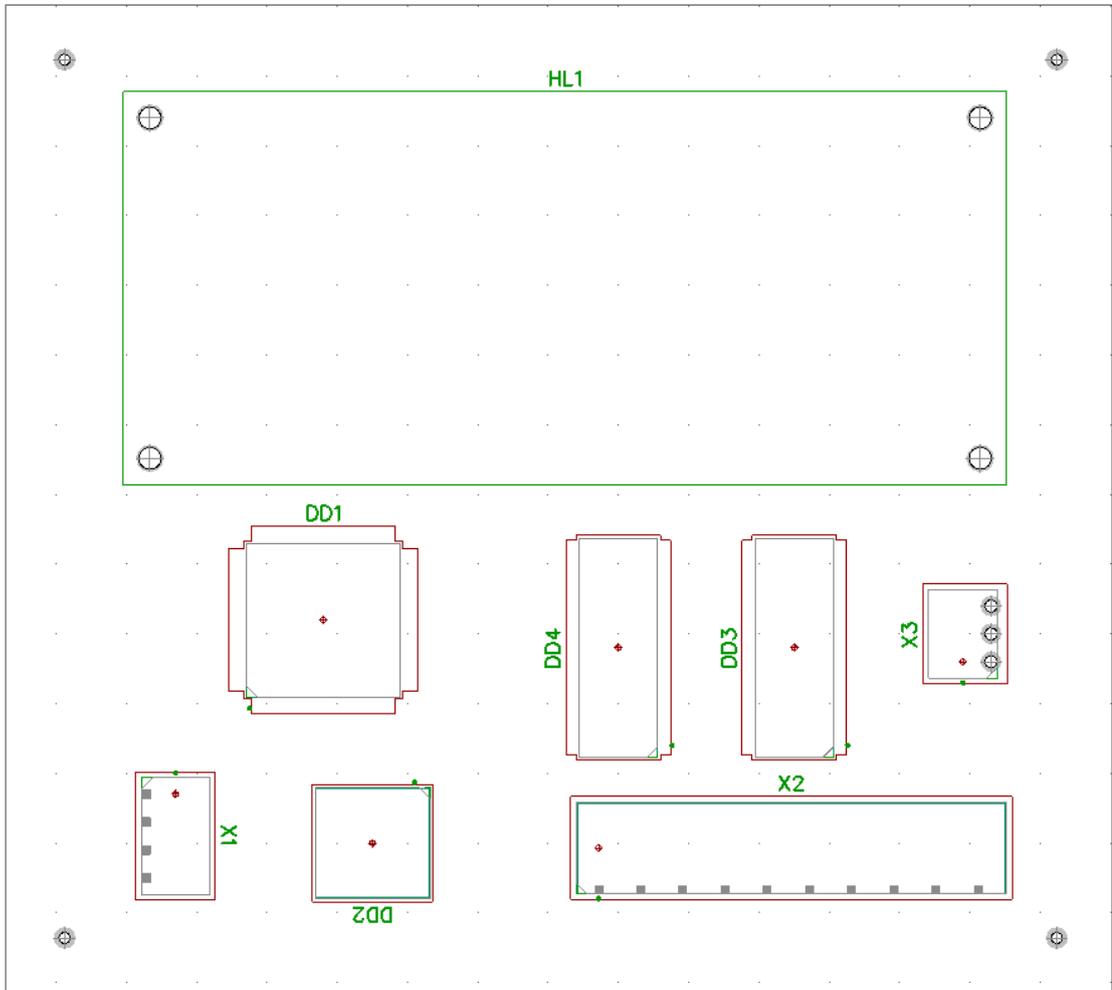


Рисунок 20 - Сборочный чертёж

Заключение

В процессе выполнения работы была разработана система управления макетом складского комплекса, которая предназначена для транспортирования грузов в заданную ячейку в складском помещении.

Объектом работы выступал складской комплекс, предметом работы – система управления макетом.

Целью работы являлась разработка системы управления макетом складского комплекса.

В соответствии с поставленной целью, в работе были решены следующие задачи:

- Сделан обзор состояния рынка.
- Разработана система управления складским комплексом.
- Разработана управляющая программа микроконтроллера.
- Разработана конструкция системы управления (трассировка необходимых печатных плат).
- Сделаны и оформлены выводы по проделанной работе.
- Выполнены 3 чертежа графического материала.

Разработанная система позволяет управлять движением платформы складского робота, а именно:

- передвижение по вертикали;
- передвижение по горизонтали;
- передвижение паллеты в ячейку и из нее;
- обмен данными с автоматизированной системой управления (АСУ) склада, которая генерирует команды роботу (в автоматическом режиме или с помощью оператора).

Практическая значимость работы состоит в том, что результаты данного исследования можно в дальнейшем использовать при изучении любых вопросов, связанных с работой и автоматизацией складских комплексов.

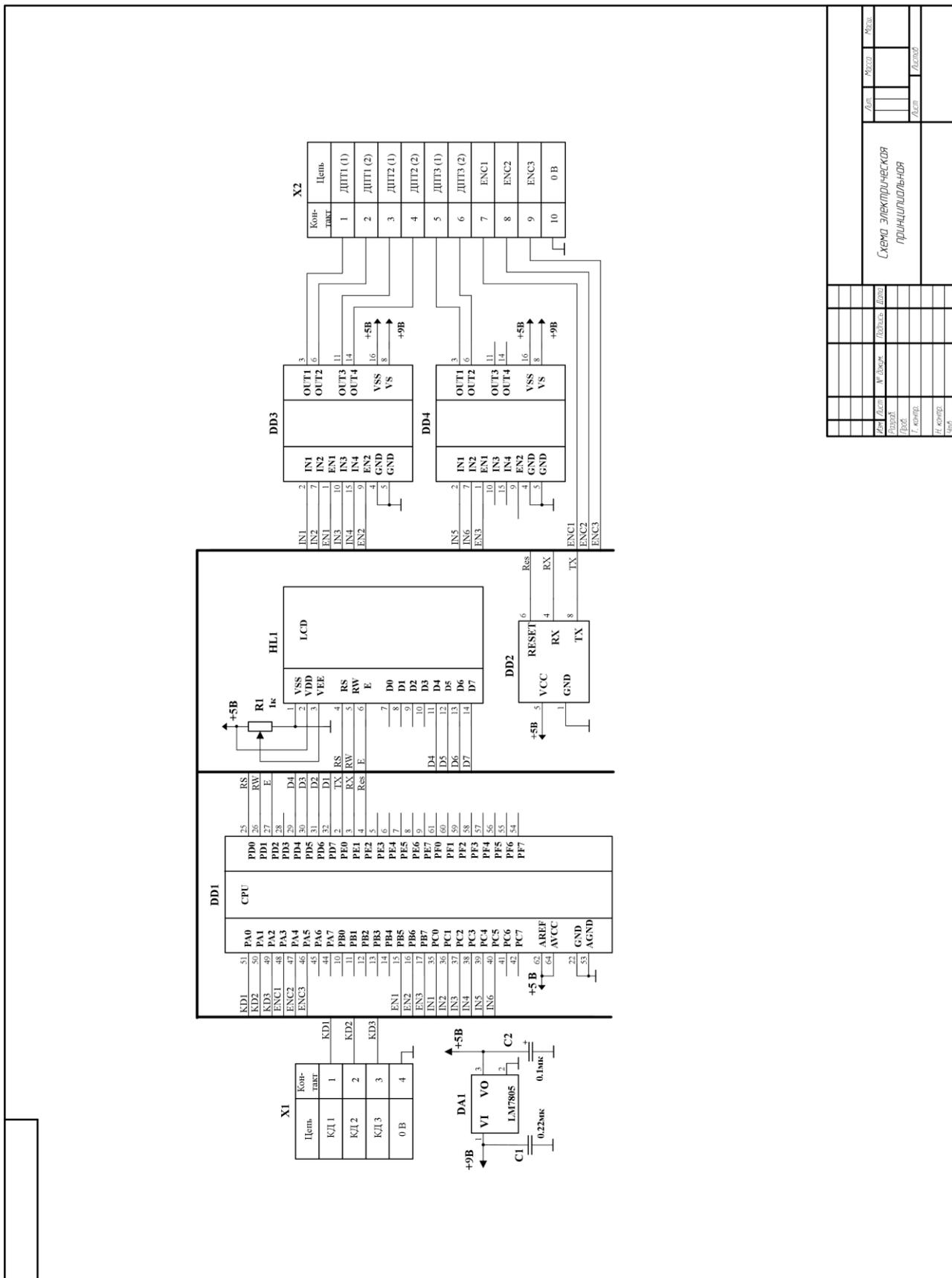
Список используемых источников

1. Автоматизация склада как метод оптимизации бизнес-процессов [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.ekam.ru/blogs/pos/avtomatizatsiya-sklada>
2. Робо-проекты для потребительской сферы [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://sdelanounas.ru/blogs/38705/>
3. Путь автоматизации складов [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://agbz.ru/articles/avtomatizatsiya-skladov/>
4. Автоматизация производства с применением промышленных роботов на конвейерах [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://normativ.spb.ru/services/robotizacija-proizvodstva-i-sklada/>
5. Автоматизация и роботизация складов [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://top3dshop.ru/blog/warehouse-and-logistics-robots-review.html>
6. Роботы для склада [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://www.ablcompany.ru/news/roboty-dlya-sklada>
7. Складские роботы - участники рынка [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://robotrends.ru/robopeia/skladskie-roboty---uchastniki-rynka>
8. Адресное хранение товара на складе [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://mywms.ru/blog/sklad/adresnoe-hranenie-tovara-na-sklade>
9. Беспалов, Р.С. Инструментарий разработчика бизнес-процессов. / Р.С Беспалов - М.: Актион-Медиа, 2006. - 136 с.
10. Информационное обеспечение АСУ [Электронный ресурс] - Режим доступа: http://cyclowiki.org/wiki/Информационное_обеспечение_АСУ
11. Гребнев В.В. Микроконтроллеры семейства AVR фирмы Atmel – М.: ИП.РадиоСофт, 2012.
12. Белов А.В. Конструирование устройств на микроконтроллерах. – СПб.: «Наука и техника, 2005 – 256 с.
13. Выключатели концевые [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://axiomplus.com.ua/koncevye-vyklyuchateli/product-63908/#descr>

- 14.L293x Quadruple Half-H Drivers [Электронный ресурс]. - Режим доступа:
https://www.ti.com/document-viewer/L293D/datasheet/detailed_description#SLRS0084675
- 15.Двигатель постоянного тока (DC Motor) [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://developer.alexanderklimov.ru/arduino/dc-motor.php>
- 16.LM041L [Электронный ресурс]. - Режим доступа:
<https://www.saelig.com/supplier/saelig/LM041L.pdf>
- 17.Модуль ESP-01 с чипом ESP8266 [Электронный ресурс]. - Режим доступа:
<https://arduinomaster.ru/platy-arduino/arduino-esp8266/>
- 18.Самарин А.В. Жидкокристаллические дисплеи. Схемотехника, конструкция, применение. – М.: СОЛОН, 2002. – 304 с.
- 19.Преобразователь напряжения [Электронный ресурс]. - Режим доступа:<https://www.tme.eu/ua/ru/details/ame40-9scjz/preobrazovатели-ac-dc-dlia-pcb/aimtec/>
- 20.ГОСТ 2.743-91 «Обозначения условные графические в схемах. Элементы цифровой техники»

Приложение Б

Схема электрическая принципиальная



Приложение Д

Плата печатная и сборочный чертеж

