

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

Институт энергетики и электротехники

(наименование института полностью)

Кафедра « Промышленная электроника »

(наименование кафедры)

27.03.04 Управление в технических системах

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Системы и технические средства автоматизации и управления

(направленность (профиль)/специализация)

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему Система питания и управления лабораторным стендом
«Автоматизированная складская система»

Студент	<u>О.И. Синичкин</u>	_____
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
Руководитель	<u>Е.С. Глибин</u>	_____
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
Консультанты	<u>Д.Г Токарев</u>	_____
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)
	<u>Н.В. Яценко</u>	_____
	(И.О. Фамилия)	(личная подпись)

Допустить к защите

Заведующий кафедрой к.т.н., доцент, А.А. Шевцов _____
(ученая степень, звание, И.О. Фамилия) (личная подпись)

« » 20 г.

Тольятти 2018

Аннотация

В данной бакалаврской работе разработана электрическая часть учебного стенда "Автоматизированная складская система" на основании приведённых исходных данных. Была разработана система питания и управления комплексом. Представлен обзор и выбор по параметрам датчиков системы управления и драйверов двигателей. Помимо этого, разработана электрическая функциональная и структурная схемы комплекса, отражающие в себе основные элементы и электрические связи между. На базе этих материалов была собрана и протестирована модель учебного стенда "Автоматизированная складская система". Приведён технико-экономический разбор создания системы питания и управления учебным стендом «Автоматизированная складская система».

Бакалаврская работа выполнена на 82 страницах машинописного текста, и графическая часть в объеме 6 листов А1.

Abstract

The title of the graduation work is The Control and Power Supply System of the Laboratory Stand «The Automated Warehouse System». The object of the graduation work is the automation of the warehousing process. The subject of the graduation work is the development control and power supply system of laboratory stand for real automated warehouse system. The issues of technological process designing and equipment choosing for warehousing system highlighted in the work's general part. The graduation work describes in details the electrical part of the laboratory stand. The electrical part of the laboratory stand «The Automated Warehouse System» was developed on the basis of the given initial data in the graduation work. The power supply and control system of the stand were developed. The review and a choosing of sensors' parameters for a control system and drivers' parameters of engines are presented. In addition, the design functional and structural scheme of the complex, reflecting the basic elements and their electrical connections. Based on these materials, the model of the training stand «The Automated Warehouse System» was collected and tested. In conclusion we'd like to stress all the tasks for the development of the power supply system and the control of the laboratory stand were performed.

Содержание

Введение	6
1.1. Обзор транспортно-складских систем и учебных стендов.....	7
1.1.1. Транспортно-складские системы	7
1.1.2. Автоматизированные комплексы компании «DAIFUKU».....	7
1.1.3. Роботизированные складские системы компании Amazon.....	10
1.2. Учебные стенды автоматизированных складских систем.....	13
1.2.1. Автоматизированные транспортно-складские решения на основе конструктора Lego «Mindstorms EV3».....	14
1.2.2. Учебный лабораторный стенд PASKAL AC-1 OMEGA 1-3L.....	18
2. Разработка структурной схемы стенда «Автоматизированная складская система»	21
2.1. Датчики обратной связи	22
2.2. Блок модулей системы управления.....	23
2.3. Блоки, изображающие ОУ (объекты управления).....	24
3. Обзор и выбор источника питания системы управления	30
3.1. Преобразователь напряжения типовой.....	30
3.2. Самостоятельная разработка схемы.....	32
3.3. Источник питания LC-B250ATX.....	33
4. Обзор и выбор драйверов системы управления	35
4.1. Управление шаговыми двигателями.....	35
4.2. Управление двигателем постоянного тока.....	40
5. Обзор и выбор датчиков системы управления (СУ)	42
5.1. Обзор существующих датчиков	42
5.2. Выбор датчиков системы управления	47
5.2.1. Цветовой датчик на микросхеме TCS3200.....	47
5.2.2. Датчик линейный на базе оптической пары	51
5.2.3. Концевой выключатель KW12-3	53
6. Разработка электрической схемы соединений.....	55

6.1.	Подключение Arduino Mega2560	55
6.2.	Источник питания	57
6.3.	Шаговые двигатели.....	59
6.4.	Сервоприводы	61
6.5.	Двигатель постоянного тока	64
6.6.	Концевой переключатель KW12-3L	66
6.7.	Оптическая пара TCRT5000L	67
6.8.	Датчик цвета на микросхеме TCS3200	69
7.	Технико-экономическая часть разработки учебного стенда.....	72
7.1.	Описание лабораторного стенда сортировочно-складской системы	72
7.2.	Комплектующие для реализации проекта	73
7.2.1.	Микроконтроллер Arduino	73
7.2.2.	Драйвер CNC Shield v3.0.....	74
7.2.3.	МОП-транзистор IRF540N.....	75
7.2.4.	Датчик цвета TCS3200.....	77
7.2.5.	Концевые выключатели – 2 шт.....	77
7.2.6.	Блок питания.	78
7.2.7.	Провода ПВС 0,75 мм ² – 16 м.	79
	Заключение	80
	Список используемой литературы	81

Введение

За последние годы в вычислительной технике и электронике в целом произошёл колоссальный скачок. Огромное многообразие различной техники плотно вошло в нашу жизнь. Вычислительные мощности всего мира изо дня в день многократно увеличиваются и позволяют создавать сложные инженерные комплексы и системы, намного облегчающие и оптимизирующие жизнь и работу человека. Благодаря увеличению производительности микроэлектроники, стало возможным человеку освободиться от участия в технологических процессах или в тяжелых операциях на производствах.

Автоматизация. Именно такое название носит это направление научно-технического прогресса. В настоящее время она всё больше и больше проникает во многие сферы жизни современного человека.

Для нас стала интересной автоматизация промышленных предприятий и транспортных потоков. Простор для полёта фантазии огромный: всевозможные захваты и подъемные механизмы, сортирующие устройства и транспортные линии, станки с системами числового программного управления (СЧПУ), системы технического зрения, а также системы дистанционного управления всем этим и многое другое.

Перед нами была поставлена задача изготовить учебный стенд автоматизированной складской системы, который должен включать в себя особенности и свойства полноценной автоматизированного транспортно-складского комплекса.

1.1. Обзор транспортно-складских систем и учебных стендов

1.1.1. Транспортно-складские системы

Задачами транспортно-складских систем является автоматизация процесса складирования различных грузов, будь то заготовки, детали, устройства либо же конечный продукт. Всё это необходимо с минимальными время- и трудозатратами разместить на ограниченной территории, и как можно компактнее. Именно поэтому вопросы оптимизации процесса складирования продукции рассматривают очень тщательно. А сама оптимизация достигается установкой автоматизированных транспортно-складских систем. Речь о некоторых из них пойдёт далее.

1.1.2. Автоматизированные комплексы компании «DAIFUKU»

В настоящее время на мировом рынке существует большое многообразие автоматизированных складских и транспортных систем. Отличаются они как по масштабам транспортировки и хранения, так и по уровню автоматизации. Поближе рассмотрим некоторые уже существующие решения для транспортно-складских систем.

Основным видом деятельности компании DAIFUKU является предоставление автоматизированных систем складирования, различных систем хранения и транспортировки, систем сортировки и комплектации, оптимизированных под каждого клиента, а также предоставление систем транспортировки и хранения в чистых помещениях, играющих важную роль в производстве полупроводников, плоскопанельных дисплеев для смартфонов и планшетов, а также автоматизация автомобилестроительных производств.

Для таких систем складирования характерны следующие качества:

- большая плотность складирования;
- хорошая пропускная способность;
- повышенная эффективность при эксплуатации.

Автоматизированные транспортно-складские системы самостоятельно способны справляться с задачами, выполнение которых требует работы целого штата сотрудников.

В 1957 году компания Daifuku поставила первые цепные конвейеры в Японии для транспортирования кузовов на автомобильном заводе. С той поры они достигли очень больших результатов почти во всех процессах автомобилестроения. На производстве сборочных линий, помимо новейших внедрённых конвейерных систем, были опробованы различные решения, усовершенствующие производительность работы с комплектующими на линиях, а также при поставке комплектующих на линии. Но системы приёмки и хранения комплектующих поставщиков и своевременное извлечение со склада согласно производственным планам в основном требовали человеческого труда. Чтобы улучшить эту ситуацию компания Daifuku разработала и в декабре 2014-го года выпустила на рынок инновационную систему временного хранения и сортировки «SPDR» (произносится как «спайдер» по аналогии с английским словом «spider», означающим «паук»), изображённую на рисунке 1.1.



Рисунок 1.1 - система временного хранения и сортировки «SPDR»

Система SPDR состоит из автоматически опускающегося и поднимающегося для захвата ящиков с комплектующими манипулятора, балочной конструкции, которая обеспечивает перемещение в четырех направлениях и рельс с опорными колоннами для балочной конструкции. Система даёт возможность складировать ящики на пол открытой зоны внутри опорных колонн. Захват на манипуляторе представляет собой собственную фирменную разработку, которая стала первой в мире технологией, предназначенной для захвата объектов различных размеров. Функциональные возможности системы облегчают выполнение многих работ, например, комплектовочного извлечения или группового извлечения деталей, в зависимости от требований со стороны производственной линии.

Спрос на механизированную логистику комплектующих.

На автомобильных заводах часто существует необходимость во временном складировании комплектующих перед их транспортировкой на производство. Зачастую на производствах детали временно размещают на полу, после чего вручную извлекают и сортируют. Это создает высокую нагрузку на

рабочих, так как ящики с комплектующими имеют вес около 20 кг. Кроме того, чаще всего у потребителей формируется ряд пожеланий и требований к системе складирования:

- ✓ более эффективное задействование ограниченного пространства;
- ✓ быстрая автоматизированная работа с различными размерами ящиков;
- ✓ ввод и установка системы в эксплуатацию за короткий временной промежуток;
- ✓ минимизация времени, затрачиваемого на перемещение или изменение размещения системы после монтажа;
- ✓ увеличение эффективности сортировки по направлениям и времени;
- ✓ разработка и внедрение адаптивных гибких автоматизированных систем;
- ✓ возможность извлечения ящиков в случае отключения системы.

1.1.3. Роботизированные складские системы компании Amazon

Компания Amazon занимается поставкой различных видов товаров для конечного потребителя. Это и B2B (англ. «Business to business» — рус. «бизнес для бизнеса»), и B2C (англ. «Business to consumer» — рус. «Бизнес для Потребителя») сектор. Работают они, в основном, в сети интернет. До недавнего времени заказ на складах этого интернет-магазина собирался вручную. Сотрудник получал заказ на складе, после чего начинал объезжать весь складской комплекс, подбирая нужные товары, а как только заказ формировался, он отправлял его на отгрузочный контейнер. На это, конечно же, уходило колоссальное количество времени. Использование роботизированных систем Kiva позволило уменьшить время на подготовку

заказа в среднем в 4 раза. Такая роботизированная система Kiva показана на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 – Система Kiva роботизированная

Работает Kiva следующим образом: электронная система получает и обрабатывает заказ, после чего автономный робот-погрузчик подъезжает под необходимый стеллаж, выдвигает домкрат и поднимает его. Далее робот подъезжает к сотруднику и лазером ~~убивает его~~ подсвечивает расположение необходимого товара на стеллаже. Рабочему склада необходимо сверить комплектацию, сложить требующиеся элементы в лоток и сопроводить к доставке. Для навигации этих автономных роботов-погрузчиков используют QR-разметку, нанесенную на пол складского помещения. Сам QR-код представляет собой двумерный рисунок с закодированной информацией. Примером такого кода может служить изображение на рисунке 1.3.



Рисунок 1.3 – QR-код

Считывая информацию, робот может определить своё местоположение. Также по всему периметру корпуса робота есть датчики, которые позволяют ему избегать столкновения с другими роботами или препятствиями. Помимо этого, частью такого роботизированного складского комплекса Kiva являются системы погрузки-разгрузки грузовых трейлеров. Основа данной системы – роботизированные манипуляторы, которые представлены на рисунке 1.4. С их помощью можно многократно ускорить сортировку и разгрузку поступившего товара.



Рисунок 1.4 – Роботизированный манипулятор

Такие внедрения позволили Amazon существенно сократить временные затраты на обработку заказов и их доставку конечному покупателю. Работа, которая раньше выполнялась часами, теперь происходит в считанные минуты.

1.2. Учебные стенды автоматизированных складских систем

Имеющиеся системы автоматизации зачастую предъявляют высокие требования к квалификации работников. Простому рабочему без глубоких знаний в программировании и электронике сложно обслуживать этот комплекс, а тем более самостоятельно создавать такие сложные автоматизированные

системы. Поэтому всё чаще в рамках подготовки инженеров создаются учебные стенды таких систем. Задачи лабораторных учебных стендов, имитирующих работу автоматизированных транспортно-складских комплексов, состоят в том, чтобы на практике продемонстрировать работу системы склада, увидеть её слабые места, более детально рассмотреть все методы решения задач, выполняемых автоматизированными складскими системами на реальном объекте, и по возможности удешевить и ускорить процесс их работы, а также отточить навыки расчёта и создания таких систем и управления ими.

1.2.1. Автоматизированные транспортно-складские решения на основе конструктора Lego «Mindstorms EV3»

Ситуацию с низкой квалификацией рабочих решили исправить в компании Lego. Они спроектировали простой, но достаточно интересный конструктор, который в составе имеет двигатели, датчики и удобную систему управления. На основе этого конструктора любой человек способен собрать собственного робота и поработать им.

Рассмотрим, из чего же состоит «Lego Mindstorms EV3».

Орган управления конструктора – блок управления программируемый, изображён на рисунке 1.5.



Рисунок 1.5. – блок управления «Lego Mindstorms EV3»

Технические характеристики:

- 1) 16 Мб flash-памяти;
- 2) процессор – ARM9;
- 3) 64 Мб оперативной памяти;
- 4) Linux в роли операционной системы;
- 5) слот для расширения SD;
- 6) Bluetooth V2.1;
- 7) USB V2.0;
- 8) динамик;
- 9) 4 порта для входа и 4 порта для выхода.

Блок управления контролирует сервоприводы и датчики конструктора, которые изображены на рисунке ниже.



Рисунок 1.6 – Компоненты конструктора

На рисунке 1.6 сверху показаны два сервопривода, снизу (слева направо) – кнопка, акселерометр-гироскоп, датчик цвета и датчик расстояния ультразвуковой.

Также в комплекте есть стандартные блоки Lego-Technics (от 500 до 1000 в зависимости от комплектации конструктора), которые позволяют быстро и без особых усилий (благодаря своей модульной конструкции) собрать механизм любой сложности и формы.

Контроллер EV3 программируется на специально написанном языке блочного типа, больше напоминающий блок-схему алгоритма работы программы или языка IEC61131-3 (SFC, CFC, FBD). Окно программирования с частью программы приведены на рисунке ниже.

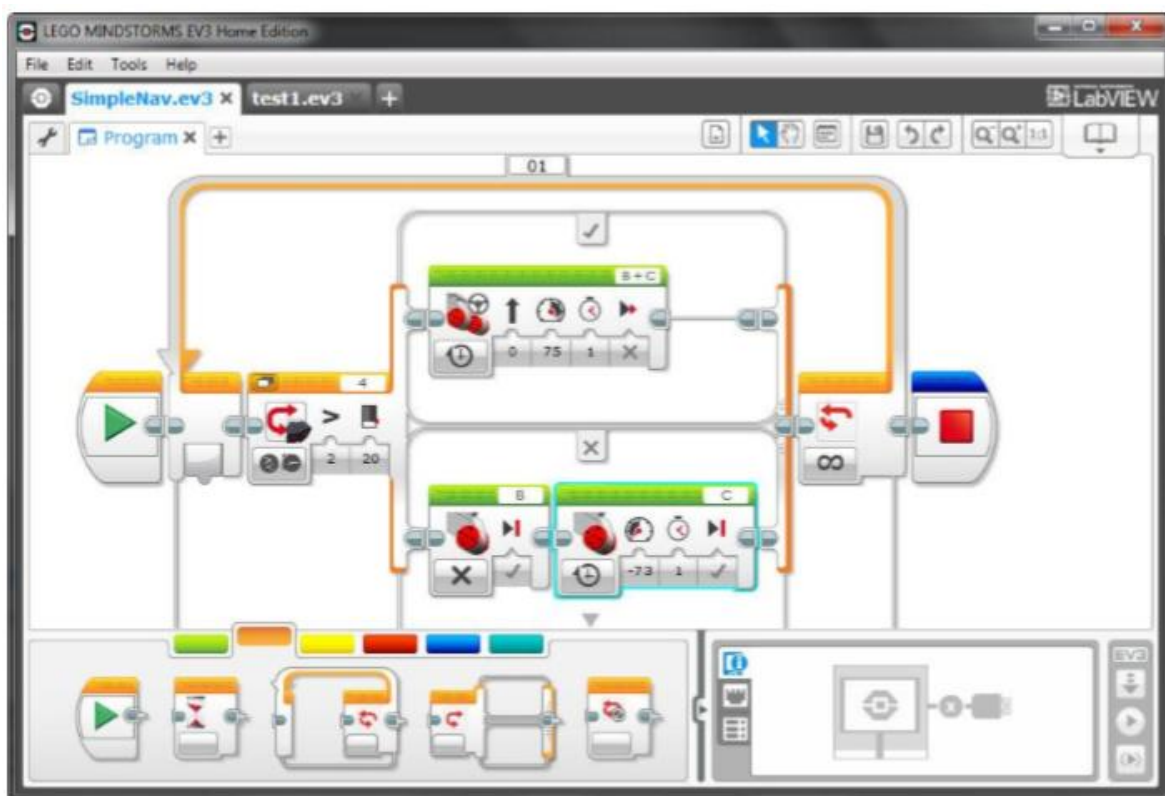


Рисунок 1.7 – «Lego Mindstorms EV3». Графическая оболочка

Эта программа даёт возможность обучать азам программирования и алгоритмизации не только взрослых, но и детей. Используя различные блоки действий и расставляя их в нужной последовательности, можно сформировать программу-алгоритм работы механизма. Повсеместно в мире с помощью конструктора Lego «Mindstorms EV3» и дети, и взрослые воплощают в жизнь интересные проекты. Примером стоит привести интересный в этой работе конвейер, который сортирует кубики по цвету, конвейер изображён на рисунке 1.8.

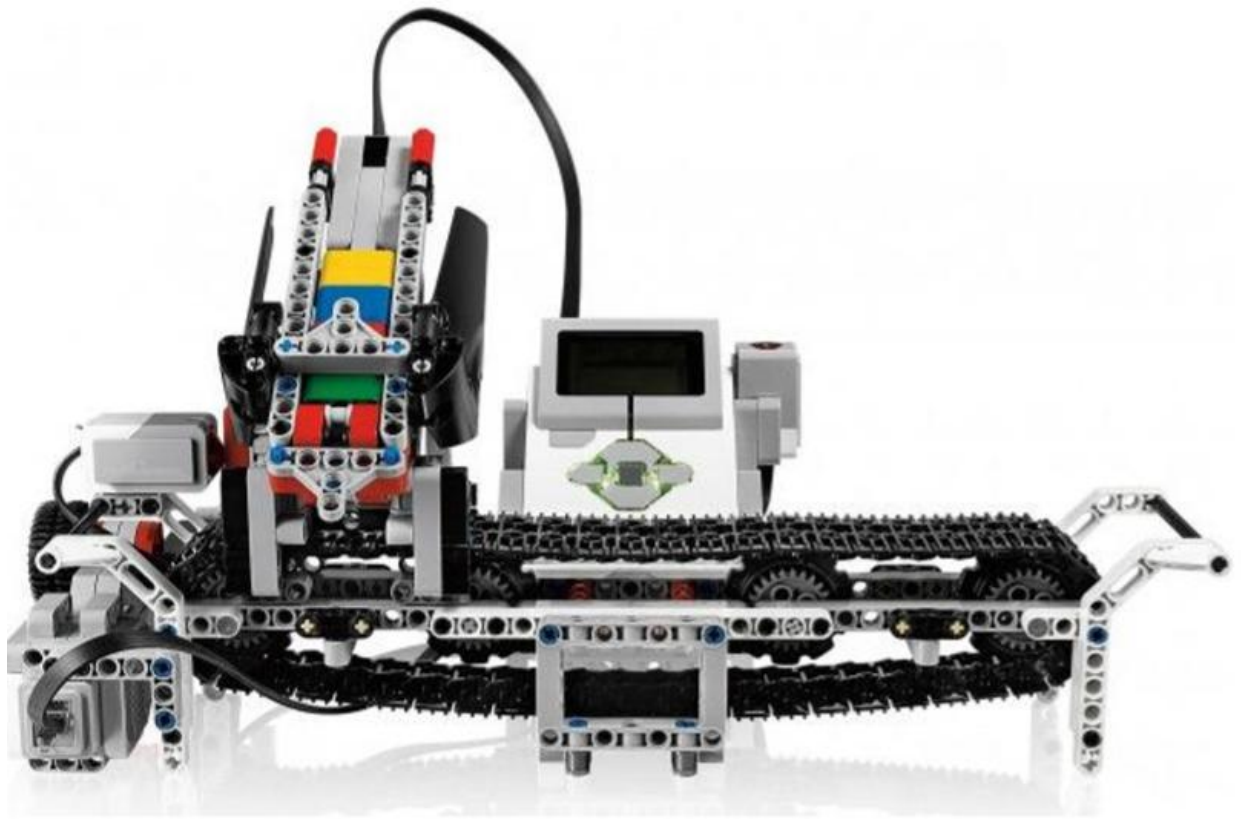


Рисунок 1.8 – Конвейерная лента с сортировкой кубиков по цвету

Данный конструктор открывает хорошие возможности для людей, которые, не обладая специальными знаниями в области техники, хотят заниматься автоматизацией и робототехникой.

1.2.2. Учебный лабораторный стенд PASKAL AC-1 OMEGA 1-3L

Зачастую бывает так, что проходящий обучение человек имеет необходимую теоретическую базу знаний, однако в его жизни не хватает практики, и он не ведает, где и как применить полученные им знания в области автоматизации и проектирования производства. Именно в этом и может помочь учебный лабораторный стенд «мехатронный модуль - автоматизированный склад с роботом-штабелером» PASKAL AC-1 OMEGA 1-3L, приведённый на рисунке 1.9.



Рисунок 1.9 – лабораторный стенд «мехатронный модуль – автоматизированный склад с роботом-штабелером»

Учебный стенд PASKAL AC-1 OMEGA 1-3L широко используется для получения полезных на производстве навыков по управлению и программированию промышленных роботов и понимания и изучения принципов программирования, разработки и наладки автоматизированных систем управления пневмо- и электроприводами поточных линий, выполненных на основе ПЛК (программируемых логических контроллеров).

В учебном стенде применен электропривод (вместо пневмопривода) и, при этом, полностью сохранены принципы подключения, работы и управления различными пневматическими компонентами.

Плюсы электропривода очевидны:

- ✓ Учебный стенд бесшумен в работе;
- ✓ Отсутствуют расходные материалы;
- ✓ Высокая скорость введения в учебный процесс за счет отсутствия необходимости монтажа однотипных трубок и фитингов;
- ✓ Доступная цена по сравнению с пневматическими аналогами

Также преимуществами такого учебного стенда является возможность выбрать комплект с наиболее подходящим промышленным программируемым логическим контроллером.

На выбор ПЛК фирмы SIEMENS или OВЕН, как самые используемые на реальных производствах промышленные контроллеры, а также имеется возможность использования с учебным стендом контроллеров других производителей.

Учебный стенд PASKAL AC-1 OMEGA 1-3L может использоваться как автономно, так и при интеграции его в единую систему с другими мехатронными модулями и стендами PASKAL.

2. Разработка структурной схемы стенда «Автоматизированная складская система»

Общая структурная схема в упрощённом виде учебного стенда «Автоматизированная складская система» показана на рисунке 2.1

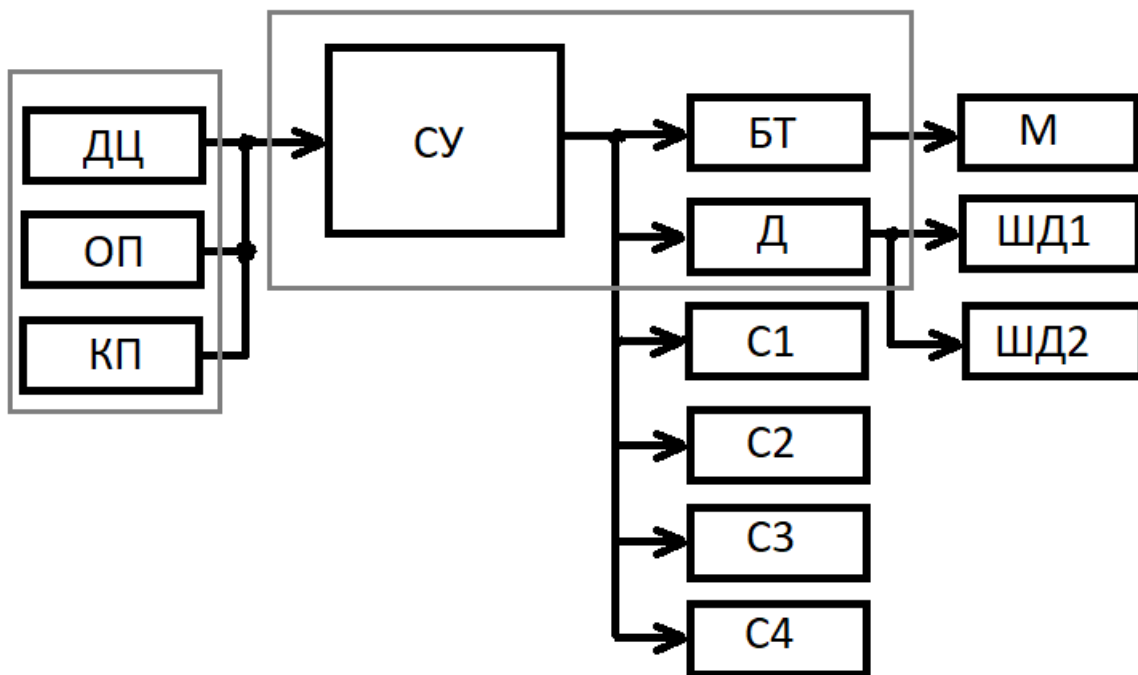


Рисунок 2.1 – Упрощённая структурная схема

где ДЦ – датчик цвета TCS3200,

КП - Концевой переключатель KW12-3,

СУ – система управления Arduino Mega2560,

ОП – оптическая пара TCRT5000L,

БТ – биполярный транзистор IRF540N,

Д – драйвер двигателей CNC shield V3.0,

С1-С3 – сервоприводы TowerPro MG995R,

С4 - сервопривод TowerPro MG946R,

М – двигатель постоянного тока 6В,

ШД1-ШД2 – шаговые двигатели EM-188.

На структурной схеме отдельно объединены блок, содержащий датчики обратной связи и блок, содержащий модули системы управления. Датчики передают информацию о воздействиях извне на систему управления, а модули системы управления реагируют на это воздействие.

2.1. Датчики обратной связи

- ДЦ – датчик цвета TCS3200;
- ОП – оптическая пара TCRT5000L;
- КП - Концевой переключатель KW12-3.

Датчик цвета, состоящий из микросхемы TCS3200 и четырёх светодиодов для подсветки детали нужен для определения её цвета. При прохождении заготовки или детали в поле зрения датчика цвета, свет, отраженный от поверхности материала, попадает на фотодиоды с разными типами цветных фильтров. После этого датчик преобразует интенсивность светового потока в частоту, и полученный таким образом сигнал прямоугольной формы поступает уже на вход микроконтроллера. Этот сигнал интерпретируется системой управления по заданному алгоритму, и основываясь на полученных значениях цветовой шкалы RGB, микроконтроллер делает вывод, какого цвета деталь.

Оптическая пара TCRT5000L нужна для обнаружения детали или заготовки на заданном участке конвейерной ленты. TCRT5000L есть оптический сенсор рефлексивного типа, состоящий из посылающего некий сигнал инфракрасного светодиода, а также принимающего отражённый сигнал инфракрасного транзистора. Эта оптическая пара работает по принципу диффузионного датчика: испускаемый светодиодом инфракрасный сигнал, отражаясь от детали, попадает на инфракрасный фототранзистор. При

попадании луча на фототранзистор, последний открывается, и сигнал поступает на вход системы управления.

Концевой переключатель KW12-3 нужен для информирования о том, что манипулятор приехал в нужное положение и готов к захвату детали, подаваемой конвейерной лентой.

2.2. Блок модулей системы управления

- СУ – система управления Arduino Mega2560;
- БТ – биполярный транзистор IRF540N;
- Д – драйвер двигателей CNC shield V3.0.

Главное звено системы управления – контроллер Arduino Mega2560. Его задачами являются анализ и обработка поступающих с датчиков сигналов, а также формирование и передача на драйверы двигателей или на объекты управления (ОУ) управляющих сигналов.

Биполярный транзистор здесь выполняет функцию включения/выключения двигателя постоянного тока, который управляет конвейерной лентой. Так при подаче сигнала высокого уровня на транзистор, последний открывается, и питание со входа поступает на двигатель.

Драйвер двигателей CNC shield V3.0 является полноценным драйвером управления станком с числовым программным управлением (ЧПУ). Драйвер способен управлять четырьмя независимыми шаговыми двигателями (у станка с ЧПУ это двигатели осей X, Y, Z и A), а также имеет возможность подключения концевых переключателей.

2.3. Блоки, изображающие ОУ (объекты управления)

- С1-С3 – сервоприводы TowerPro MG995R,
- С4 - сервопривод TowerPro Micro Servo 9g,
- М – двигатель постоянного тока GM37B-520 6В,
- ШД1-ШД2 – шаговые двигатели EM-188.

EM-188 (MINEBEA 17PM-K041-P3) – униполярный шаговый электродвигатель (рисунок 2.3)



Рисунок 2.3 – EM-188

Один такой двигатель перемещает манипулятор по направляющим, обеспечивая манипуляторной системе обширную рабочую зону. Другой такой двигатель обеспечивает плоскопараллельное движение стеллажа складской системы, тем самым оптимизируя место, отведённое под зону складирования. Шаговые двигатели в данной конструкции выбраны из-за того, что движения манипулятора и стеллажа с деталями должны быть точными, а также момент

вращения двигателя должен быть большим в связи с немалым весом представленных конструкций.

Использование коллекторного двигателя постоянного тока оказалось невозможным из-за невозможности отслеживания его положения без дополнительной системы обратной связи, а сервопривод не используется в данной системе ввиду его ограниченного угла поворота.

GM37B-520 – электродвигатель коллекторный постоянного тока, представлен на рисунке 2.4.



Рисунок 2.4 – Коллекторный двигатель GM37B-520

В стенде электродвигатель GM37B-520 используется в конвейерной ленте. Он выполняет вращение ведущих ленточных валов, что приводит к движению конвейерной ленты и перемещению по ней деталей или заготовок. Электродвигатель оснащен понижающим планетарным редуктором, который имеет передаточное отношение 1/7.5, это позволяет несколько повысить

момент силы непосредственно на валу и уменьшить частоту и угловую скорость. Этот вид двигателя выбран на основе особенностей его использования и расположения. В модуле конвейерной ленты не особенно важно, на какой угол будет повернут вал двигателя, основными характеристиками являются его частота вращения и крутящий момент. Поэтому использовать более сложные в управлении и дорогие шаговые двигатели или серводвигатели, чтобы выполнить простую задачу по перемещению деталей и заготовок линейно из точки в точку нецелесообразно.

TowerPro MG995R – сервопривод с углом поворота в 180 градусов, представлен на рисунке 2.5.



Рисунок 2.5 – Сервопривод MG995R

В рассматриваемой складской системе три таких сервопривода осуществляют повороты различных частей двухзвенного манипулятора. Один сервопривод отвечает за поворот манипулятора вокруг своей оси, второй за качание его первого звена, а третий – за качание второго звена манипулятора.

Стоит отметить, что этот серводвигатель имеет в составе редуктор с металлическими (а не пластиковыми, как в предыдущих моделях) шестернями, а это крайне положительно для его прочности и долговечной исправной работы

его двигателя. Изображение такой металлической системы редуктора сервопривода представлено на рисунке 2.6.

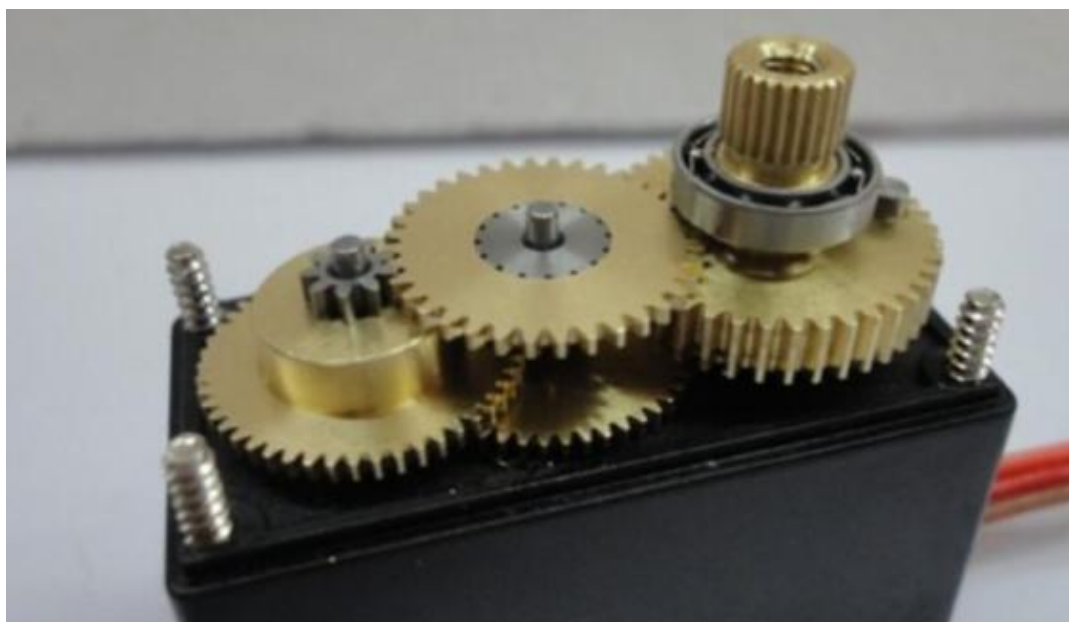


Рисунок 2.6 – металлический редуктор сервопривода

Рассмотрим подробнее устройство сервопривода и управление им. Устройство сервопривода представлено на рисунке 2.7.

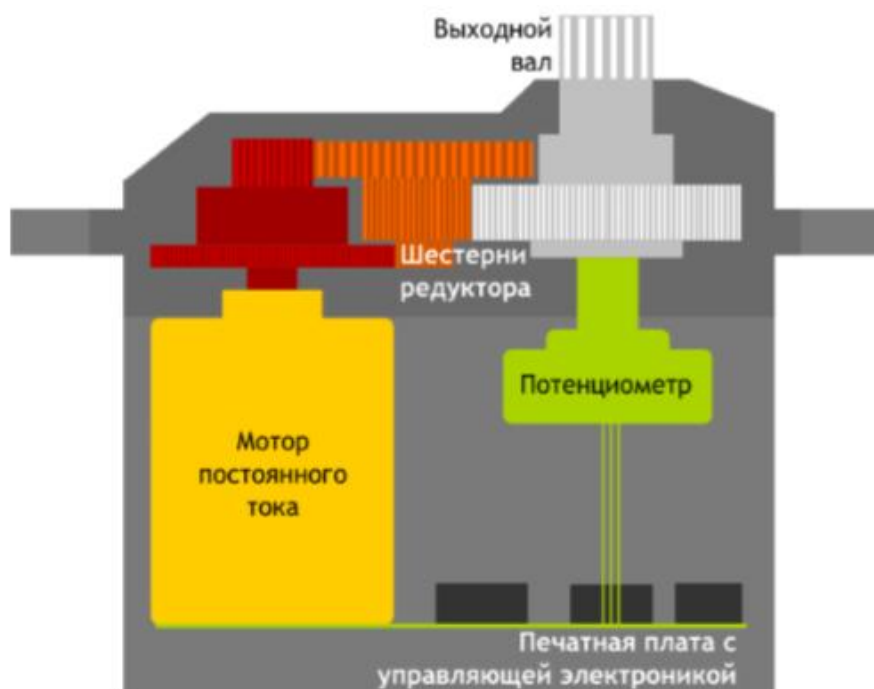


Рисунок 2.7 – Внутреннее устройство сервопривода

Внутри серводвигатель достаточно просто устроен. В нем находятся:

- двигатель постоянного тока, который преобразует электроэнергию в механическую энергию и вращает выходной вал;
- редуктор с шестернями, он уменьшает обороты и повышает момент силы на выходном валу;
- плата печатная, включает управляющую электронику;
- круговой потенциометр, он нужен для управления датчиком с обратной связью и преобразования угла поворота в электросигнал.

Когда выходной вал поворачивается, движок потенциометра тоже поворачивается, и пропорционально углу поворота меняется его сопротивление. Печатная плата вместе с электроникой на борту нужна для приема внешних сигналов (управляющих) и считывания поступающих данных с потенциометра, для их сравнения, а также включения и выключения двигателя.

Электронная управляющая плата, которая установлена внутри сервопривода, обеспечивает обратную связь (отрицательную) с микроконтроллером. Такой тип двигателя выбран с учетом всех особенностей конструкции манипулятора.

TowerPro Micro Servo 9g – сервопривод с углом поворота 180 градусов, но с меньшей мощностью. Показан на рисунке 2.8.



Рисунок 2.8 – Сервопривод Micro Servo 9g

Данный серводвигатель по конструкции отличается только материалом редуктора. Помимо этого, он менее мощный, нежели предыдущий. Если для поворота и качания звеньев манипулятора требовалось выбрать достаточно двигатель с большим моментом и редуктором, то для захвата, где и используется Micro Servo 9g, нужен достаточно лёгкий двигатель с небольшим моментом и гибкой настройкой угла поворота. Несомненно, схема управления, встроенная в сервопривод, оказалась отличным решением и сильно упростила задачу.

3. Обзор и выбор источника питания системы управления

Так как описанным в п.2 элементам системы управления для питания нужно +5В и +12В, где 5В используется для работы логических элементов и серводвигателей, а 12 – для силовых элементов комплекса, принято решение использовать блок питания с выходами именно такого номинала напряжения (5 и 12 вольт соответственно).

3.1. Преобразователь напряжения типовой

Источник питания системе необходим простой, надёжный и недорогой, с выходными токами 3А для напряжения 5В, так как питать придётся как минимум 4 серводвигателя, и 1А для 12В, потому как 12-вольтовых элементов достаточно мало.

Выбор пал на понижающий преобразователь напряжения, использующийся обыкновенно для питания светодиодных лент, приведенный на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1 – Преобразователь напряжения

Преобразователь напряжения преобразует (неожиданно!) переменное сетевое напряжение потребительской сети, которое составляет 220В, в постоянное питающее напряжение. Выходные токи такого источника – 3А для 5 и 12В.

Принципиальная схема преобразователя приведена на рисунке 3.2.

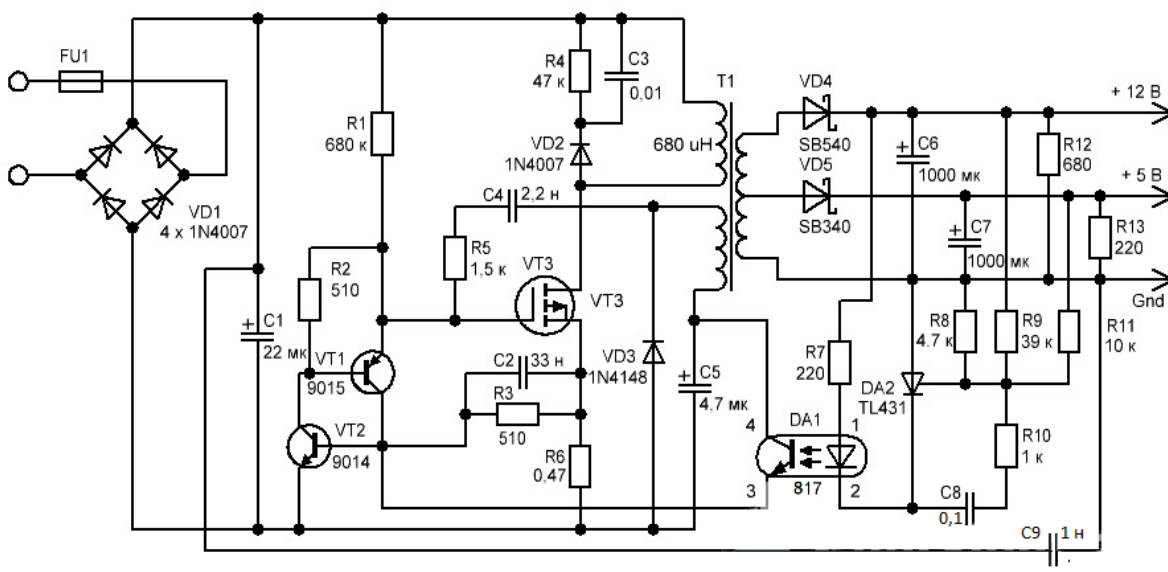


Рисунок 3.2 – Принципиальная схема преобразователя

Как видим, в схеме присутствует гальваническая развязка, что даёт дополнительную степень защиты, однако схема достаточно сложная, а на практике показывает плохую помехоустойчивость, а потому устранить какие-либо неполадки (например, помехи, показанные на рисунке 3.3, проблематично).

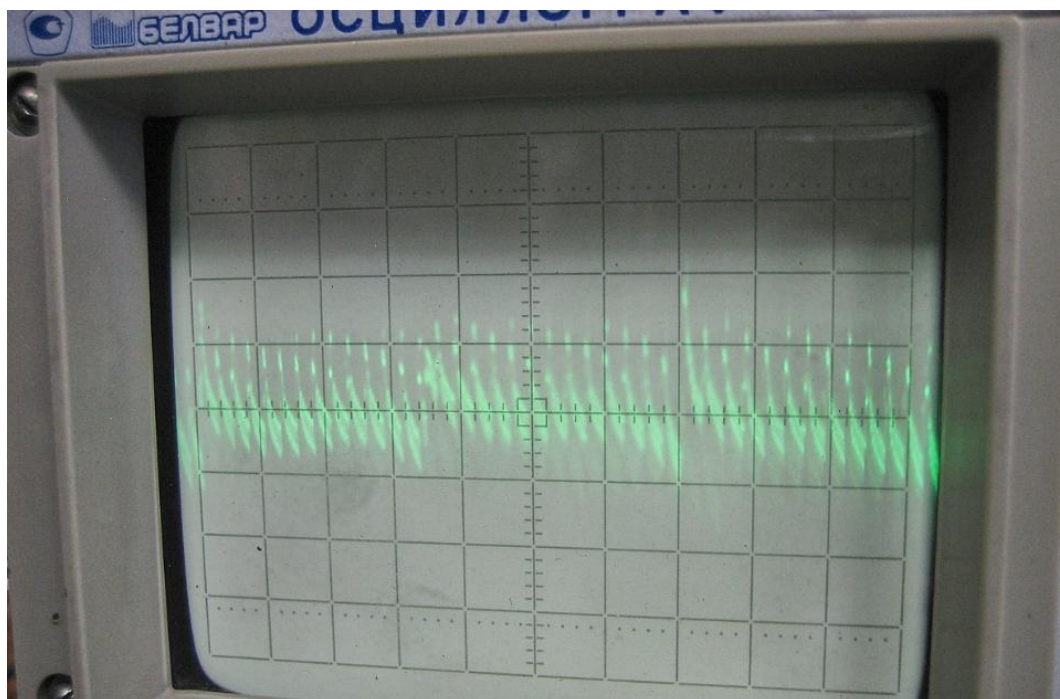


Рисунок 3.3 – Осциллограмма напряжения источника при 12В в нагрузке

Так как помехоустойчивость играет важную роль в работе всей системы, такой блок питания неприемлем.

3.2. Самостоятельная разработка схемы

Для целей преобразования переменного тока сети 220В в постоянный ток номиналом 12В целесообразно самостоятельно собрать схему питания.

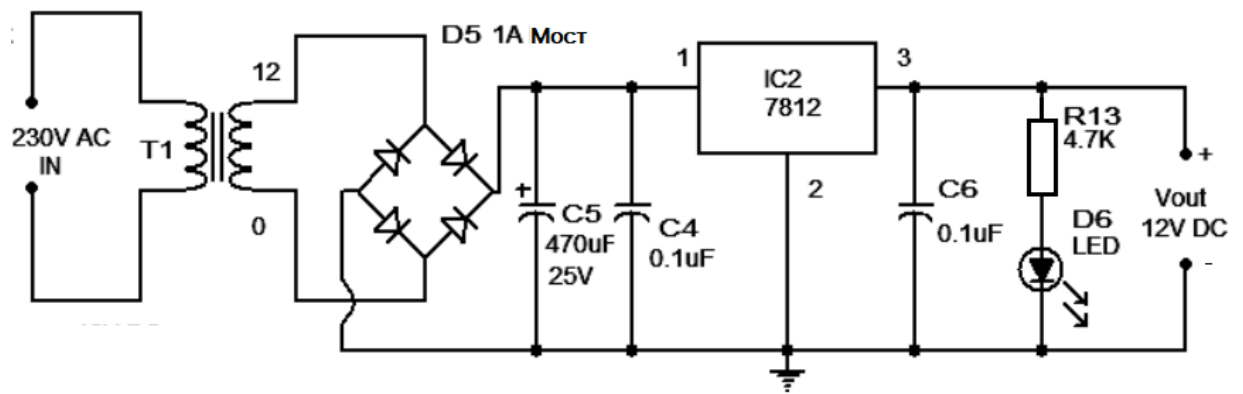


Рисунок 3.3 – Схема питания для 12В постоянного тока

Поменяв стабилизатор LM7812 на LM7805 можно получить 5-вольтовое стабилизированное напряжение. Светодиод D6 здесь показывает работоспособность схемы, а резистор R13 ограничивает его ток.

Однако, пожалуй, наиболее благоприятное условие при всех прочих данных – это блок питания компьютера, потому как необходимое напряжение и ток в нём присутствуют, а найти его можно в абсолютно любом компьютере, а стало быть, такой источник питания самый доступный.

3.3. Источник питания LC-B250ATX

Рассмотрим блок питания компьютера мощностью 250 Вт модели LC-B250ATX. Этот блок питания способен выдавать разные значения напряжений, его распиновка выводов приведена на рисунке 3.4.

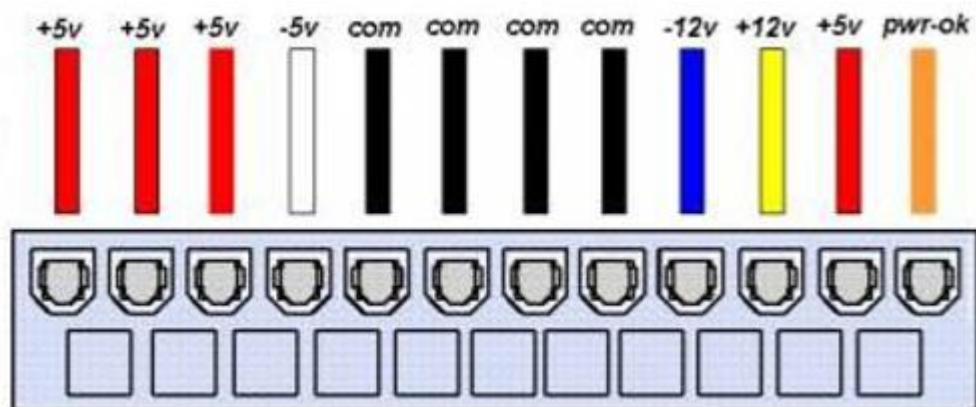


Рисунок 3.4 – Распиновка выводов источника питания LC-B250ATX

Общий провод GND (земля) блока питания соединяется с выходом GND микроконтроллера Arduino Mega2560. Это необходимо для корректной работы датчиков обратной связи и драйверов двигателей.

Такой блок питания обладает высокой надёжностью и нужными характеристиками, поэтому для питания системы управления выбираем именно его.

4. Обзор и выбор драйверов системы управления

Для того, чтобы питать мощные потребители энергии, например, электродвигатели, необходимы значительные токи, которые использующаяся в проекте плата Arduino Mega2560 не способна выдавать. Этим обусловлено использование специальных драйверов с микросхемой управления и силовыми ключами.

4.1. Управление шаговыми двигателями

В качестве драйвера управления двумя униполярными шаговыми двигателями, входящими в состав складской системы, было решено использовать плату расширения CNC Shield v3.0. Обычно эта плата используется для возможности создания на её базе станка с числовым программным управлением (ЧПУ), однако ввиду её доступности и меньшей стоимости относительно других драйверов управления её целесообразно использовать в нашем проекте для управления двумя шаговыми двигателями. Сама плата совместно с платой Arduino Uno представлена на рисунке ниже.

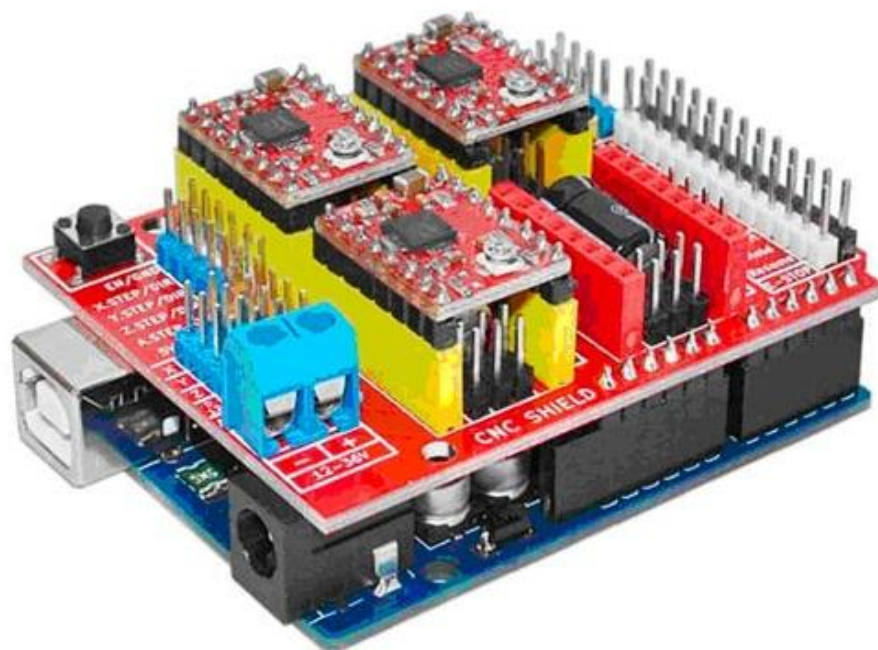


Рисунок 4.1 – Плата расширения CNC Shield v3.0

CNC Shield v3.0 имеет четыре слота, для подключения четырех драйверов двигателей. Самые распространённые – это драйверы A4988, или же драйверы DRV8825, которые можно видеть на рисунке 4.1 в жёлтых слотах. Слоты, которые обозначены желтым цветом, отвечают за оси X, Y, Z, красный слот за ось A (рисунок 4.2).

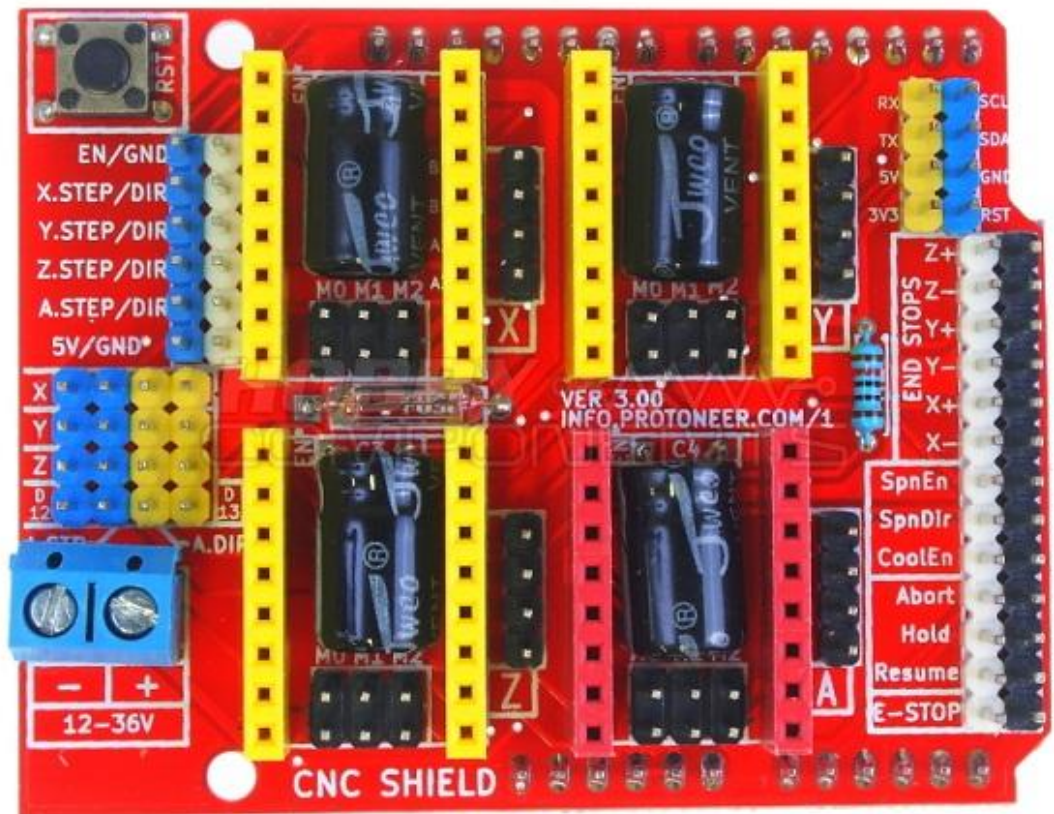


Рисунок 4.2 – CNC Shield v3.0. Вид сверху

Характеристики платы:

- Модель - CNC Shield version 3.0;
- Напряжение питания логической части - 5 В;
- Напряжение питания силовой части - 12–36 В;
- Размер - Arduino UNO и другие совместимые платы;
- Количество шаговых двигателей (осей) - 4 (X, Y, Z, A);
- Интерфейсы - UART, I2C;
- Драйверы - A4988 или DRV8825 и другие;
- Прошивка - Arduino GRBL;
- Вес - 32 г.;
- Размеры - 65 x 55 x 20 мм.

Контактов и различных кнопок на плате расширения довольно много, поговорим о них (рисунок 4.3):

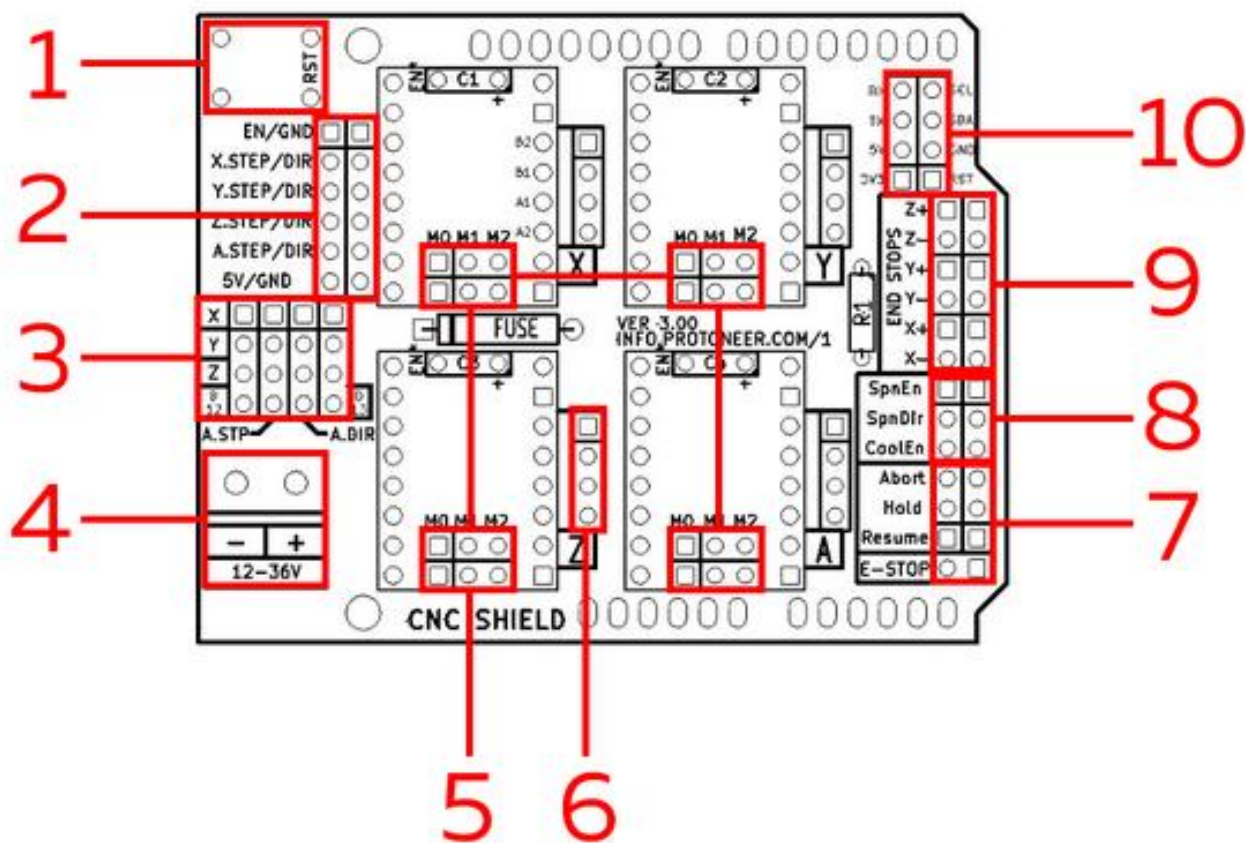


Рисунок 4.3 – Структурная схема платы расширения CNC Shield v3.0

1 – кнопка Reset. Позволяет перезагружать плату в случае сбоя. Дублирует такую же кнопку платы Arduino;

2 – колодка, которая в составе имеет выводы типа "X.step/Dir", предназначенные для подключения внешних драйверов ШД, а это иногда очень полезно. Тут же находится вывод на 5 вольт и землю. Направление вращения двигателя изменяется сменой контактов В- и В+ двигателя или изменением маски в прошивке;

3 – колодка, предназначенная для дублирования осей. Здесь можно указать, какую ось будет дублировать ось А, либо же для работы этой оси независимо от остальных осей установить перемычки. Очень полезно для 3d принтера для управления экструдером, а также это позволяет обеспечить движение какого-либо объекта при недостатке мощности одного шагового двигателя включением дополнительного;

4 – разъем питания. Тут все достаточно тривиально, плюс и минус. Главное не подавать более 36 и менее 12 вольт;

5 – колодки управления микрошагом для драйверов шаговых двигателей. В зависимости от установленных перемычек можно добиться точности вплоть до 1/32 шага на драйверах DRV8825 и 1/16 шага на драйверах A4988;

6 – колодка для подключения биполярного шагового двигателя. Подключаются контакты А+, А-, В- и В+ сверху вниз соответственно;

7 – колодка мануального управления станком. В эту часть вынесены все кнопки и выключатели. Пауза, отмена, возврат и аварийная остановка. Выносятся кнопки зачастую на основную панель и служат они для ручного управления станком;

8 – выводы управления шпинделем и насосом для СОЖ (если таковой имеется). Данные пины подают сигналы на реле управления оборотами и реле включения шпинделя, а также управляют насосом для СОЖ;

9 – концевые выключатели;

10 – колодка внешних интерфейсов и питания. Здесь находятся пины: RxTx (UART), SCL (clock line), SDA (data line), питание – 3,3 и 5 В, кнопка Reset и вывод на землю.

Наличие таких контактов позволяет подключить к данной плате расширения и некоторые другие узлы складской системы помимо шаговых двигателей, например, концевики или экран.

4.2. Управление двигателем постоянного тока

Управление двигателем постоянного тока, который питает конвейерную ленту, осуществляется N-канальным МОП (MOSFET) транзистором IRF. Из сокращения МОП (Метал-Оксид-Полупроводник) становится понятна структура этого транзистора. Принципиальная схема транзистора приведена на рисунке 4.4.

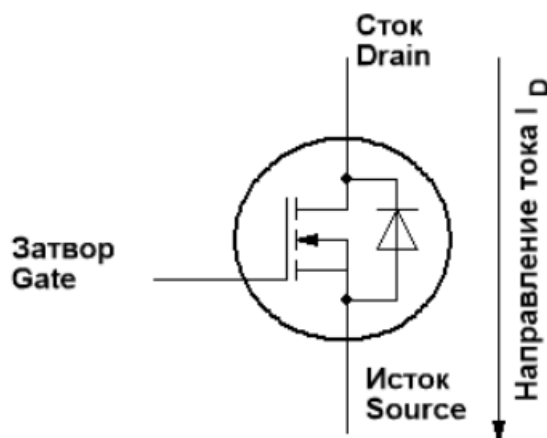


Рисунок 4.4 – МОП транзистор IRF540N

Работает МОП-транзистор следующим образом: в нем есть полупроводниковый канал, который служит одной обкладкой конденсатора, вторая обкладка — металлический электрод, ну а между ними расположен тонкий слой оксида кремния, который является диэлектриком. Когда на затвор подают напряжение, этот конденсатор заряжается, при том электрическое поле затвора подтягивает к заряды каналу, в результате чего в канале возникают

подвижные заряды, которые способны образовать электрический ток, а это значит, что сопротивление сток-исток резко падает, т.е. ток течёт.

Достоинство такого вида транзисторов, по сравнению с биполярным, очевидно: на затвор надо подавать напряжение, а не ток, а так как там (в затворе) диэлектрик, ток будет нулевым, что означает, что мощность, которая необходима для управления этим транзистором, требуется мизерная. Фактически такой транзистор потребляет ток только в момент переключения.

Недостаток же вытекает из его емкостного свойства: емкость на затворе требует огромного зарядного тока при его открытии. Теоретически, равного бесконечности за бесконечно малый период времени. Если ток ограничить резистором, конденсатор будет заряжаться очень медленно.

Однако, при использовании транзистора в нашей складской системе для управления двигателем ленты, этот недостаток является незначительным ввиду того, что лента за цикл включается всего один раз, а значит и время перезарядки конденсатора допускается делать почти равным времени цикла работы системы.

Также в складской системе присутствуют четыре серводвигателя различных мощностей. К счастью, серводвигатели не требуют для своего управления дополнительных драйверов или плат расширения, микросхема управления уже вшита в корпус двигателя. Конечно же, стоит сказать, что для их питания мощности одной лишь платы Arduino Mega недостаточно. Однако эта проблема решается подведением питания (5 В и земли) к каждому серводвигателю по отдельности.

5. Обзор и выбор датчиков системы управления (СУ)

5.1. Обзор существующих датчиков

В любой системе автоматического управления есть датчики обратной связи. Их цель – преобразовывать неэлектрические воздействия на систему в электрические сигналы и обеспечивать точное согласованное взаимодействие рабочих и исполнительных органов комплекса с системой управления.

Обыкновенно, датчики обратной связи в составе имеют воспринимающий чувствительный элемент и один или несколько промежуточных преобразователей. Датчики обратной связи существуют нескольких типов. Выбор типа датчика обусловлен особенностями применения его в конкретной системе управления. Основных показателей датчиков обратной связи есть несколько:

- 1) Чувствительность датчика – это коэффициент передачи, показывающий отношение приращения выходного параметра к приращению входного.
- 2) Погрешность датчика – это точность выполнения преобразований и изменение выходной величины при перемене внутренних свойств самого датчика или же внешних условий его работы.
- 3) Инерционность датчика – это время, которое необходимо для того, чтобы выходная величина приняла значения, которые соответствуют входной величине.

Классификация датчиков обратной связи. В зависимости от входной величины по типам различают следующие датчики:

- датчики угловых и линейных механических перемещений;
- датчики электрические;

- датчики температуры;
- датчики усилия;
- датчики скорости;
- расходомеры;
- датчики ускорения;
- датчики давления.

В зависимости от выходной величины различают два типа датчиков: неэлектрические и электрические датчики, например, датчик частоты тока (переменного), датчики постоянного тока, сопротивления и другие. Неэлектрические датчики в наше время почти нигде не используются, обуславливается это большими достоинствами электрических видов измерений: сигналы, передающиеся посредством электричества, универсальны, их удобно передавать на расстоянии, а также они могут быть преобразованы и в другие величины, электрические сигналы достаточно точно могут преобразовываться в цифровой код, что даёт возможность увеличить точность и быстродействие всей системы. Существует три больших класса датчиков:

- 1) аналоговые датчики. Они вырабатывают аналоговый сигнал, пропорциональный входной величине.
- 2) цифровые датчики. Эти датчики генерируют последовательность импульсов ака двоичный код.
- 3) бинарные датчики, их иногда называют двоичные датчики. Сигнал, вырабатываемый ими, бывает только двух уровней: низкий или высокий.

Различные типы датчиков обратной связи:

- 1) Параметрические. Датчики этого типа преобразовывают входной параметр в изменение внутренней электрической величины датчика. Разрабатывая параметрические датчики, учитывают многие

физические закономерности и эффекты, которыми обладают различные материалы.

- 2) Контактные. Эти датчики преобразуют перемещение некоего элемента в изменение сопротивления электрической цепи. К данным датчикам можно отнести концевые и путевые переключатели, которые изображены на рисунке 5.1.



Рисунок 5.1 – Концевой переключатель

Недостаток контактных датчиков – ограничение срока службы механических контактов, которые быстро изнашиваются.

- 3) Реостатные. Они представляют собой переменный резистор. Пример такого датчика приведён на рисунке 5.2.



Рисунок 5.2 – Реостатный датчик

Объект, перемещение которого требуется преобразовать, механически связан с ползунком датчика. Входной параметр есть перемещение ползунка. Выходной параметр – изменение сопротивления датчика пропорционально перемещению ползунка.

- 4) Тензометрические. Такие датчики используются при наличии вибрирующих деталей для измерения уровня вибраций, механических напряжений в деталях и малых деформаций подвижных частей механизмов. Действие тензометрических датчиков основывается на тензоэффекте, который заключается в пропорциональном изменении сопротивления проводящих и полупроводниковых материалов под действием усилий, приложенных к ним. Пример тензометрического датчика – датчик веса, который изображен на рисунке 5.3.



Рисунок 5.3 – Датчик веса тензометрический фирмы Scaime

Давление, которое действует на датчик, изменяет его внутреннее сопротивление, которое даёт возможность определить силу нажатия на датчик.

- 5) Термометрические датчики ака терморезисторы. Принцип их действия строится на изменении электрического сопротивления проводника при изменении температуры. Материал термометрического датчика обратной связи должен обладать большим температурным коэффициентом удельного сопротивления, хорошей воспроизводимостью свойств и высокой инертностью к воздействиям окружающей среды;
- 6) Индуктивные. В датчиках этого типа перемещение подвижного элемента преобразуется в изменение индуктивности этого датчика. Принцип действия здесь основан на том, что в зависимости от положения составляющих элементов магнитопровода, сердечника или якоря, например, происходит изменение индуктивности обмотки на магнитопроводе. Индуктивный датчик реагирует на все без исключения токопроводящие материалы, и чаще всего он служит для

бесконтактного получения информации о положении рабочего органа или иного механизма, или узла.

7) Фотоэлектрические. Датчики этого типа регистрируют малейшие изменения светового потока в подконтрольной области. Они могут использоваться для фиксирования присутствия или отсутствия объекта, а также для отслеживания положения в пространстве исполнительных органов. Бесконтактный оптический датчик состоит из приемника и излучателя. В зависимости от расположения этих узлов, существует несколько методов, позволяющих обнаруживать объект:

- пересечение луча объектом;
- отражение от рефлектора;
- отражение от объекта.

Это лишь некоторая часть широко используемых в промышленности и быту датчиков. Помимо перечисленных, их существует огромное количество, однако используются они реже, а на их описание уйдёт ещё не один десяток страниц.

5.2. Выбор датчиков системы управления

5.2.1. Цветовой датчик на микросхеме TCS3200

В процессе работы складской системы необходимо было различать цвета поступающих деталей. Для этих целей использовался датчик цвета.

Датчик цвета TCS3200 определяет цвета на основе длины волны излучения. Он особенно полезен в проектах, где требуется распознавание цветов – к примеру, для цветосортировки, подбора красителей, определения цвета тестовых полосок и т.д.

Датчик оснащен RGB-сенсорным чипом TAOS TCS3200, с помощью которого, собственно, он и определяет цвета. Также он укомплектован четырьмя белыми светодиодами, которые освещают объект, находящийся перед датчиком. Внешний вид датчика представлен на рисунке ниже.



Рисунок 5.4 – Модуль датчика цвета на микросхеме TCS3200

Характеристики датчика:

- Питание: от 2,7 до 5,5 В;
- Размер: 28,4 x 28,4 мм;
- Интерфейс: TTL цифровой;
- Преобразование данных о яркости света в частоту (итоговые данные имеют высокое разрешение);
- Возможность выбрать цветовой фильтр и масштабирование частоты;
- Взаимодействует напрямую с микроконтроллером.

Принцип работы:

Датчик TCS3200 имеет в своём составе фотодиоды 4 разных типов. Фотодиод – это попросту полупроводник, который конвертирует свет в электрический заряд. Так, TCS3200 имеет следующие фотодиоды:

- ✓ 16 фотодиодов с фильтром красного цвета (т.е. они чувствительны к волнам красной области видимого спектра излучения);
- ✓ 16 фотодиодов с фильтром зелёного цвета;
- ✓ 16 фотодиодов с фильтром синего цвета;
- ✓ 16 фотодиодов без фильтра.

Разглядеть эти фильтры можно, рассмотрев TCS3200 поближе (рисунок 5.5):



Рисунок 5.5 – Микросхема датчика TCS3200

Датчик также оснащен конвертером, который преобразует данные от фотодиодов в волну прямоугольной формы с пропорциональной яркости выбранного цвета частотой. После чего эта частота считывается контроллером Arduino.

Микросхема размещена в корпусе SOIC-8, что обеспечивает надёжность работы, и имеет 8 выводов. Распиновка выводов этой микросхемы представлена на рисунке 5.6 и в таблице 5.1.

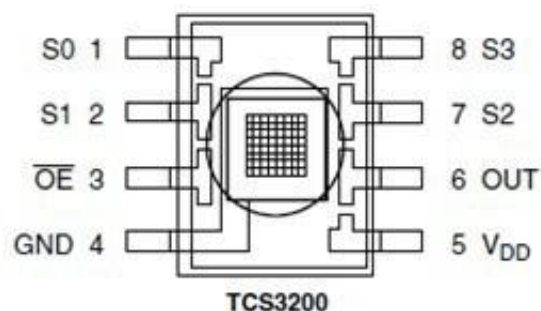


Рисунок 5.6 – Распиновка выводов микросхемы

Таблица 5.1 – Распиновка выводов микросхемы

Номер контакта	Входной/выходной	Описание
GND (4)		Заземление
OE (3)	Входной	Включение потока выходных данных
OUT (6)	Выходной	Вывод частоты
S0, S1 (1, 2)	Входной	Масштабирование частоты
S2, S3 (7, 8)	Входной	Выбор типа фотодиодов
VDD (5)		Питание

Чтобы выбрать цвет, который будет считываться фотодиодами, датчик TCS3200 оснащен контактами **S2** и **S3**. Поскольку фотодиоды подключены параллельно, разные типы фотодиодов можно выбирать, переключая контакты **S2** и **S3** в разные комбинации состояний HIGH и LOW. Как именно – показано в таблице ниже.

Таблица 5.2 – Передача информации о цвете изделия

Тип фотодиода	2	3
Красный	OW	OW
Синий		

	OW	IGH
Без фильтра (чистый)	IGH	OW
Зеленый	IGH	IGH

5.2.2. Датчик линейный на базе оптической пары

В качестве концевого выключателя при перемещении детали в конец конвейерной ленты был выбран оптический датчик, а именно оптическая пара TCRT5000L (рисунок 5.7).



Рисунок 5.7 – Оптическая пара TCRT5000L

Оптическая пара содержит инфракрасный светодиод и инфракрасный транзистор n-p-n типа.

Характеристики:

- Максимальный ток светодиода в прямом направлении: 60 мА;
- Минимальное расстояние до поверхности отражения: 2,5 мм;
- Напряжение на светодиоде (max): 1,25...1,5 В;

- Ток коллектора (max): 100 мА;
- Длина волны светового излучения светодиода: 960 нм;
- Напряжение коллектор-эмиттер (max): 70 В;
- Напряжение эмиттер-коллектор (max): 5 В;

Оптопару TCRT5000L можно отнести и к рефлекторному типу датчиков, и к диффузионному. Рассмотрим различия их применения.

В датчиках рефлекторного типа испущенный излучателем свет отражается от рефлектора, после чего попадает в приемник. Затем, если луч от излучателя перекрывается каким-либо объектом, срабатывает оптический датчик. Такой вид датчиков обычно используется на конвейерах для подсчета количества продукции. Тогда как в датчиках диффузионного типа, излученный свет отражается от самой поверхности предмета.

В лабораторном стенде складской системы оптопара TCRT5000L используется как диффузионный датчик. Если свет, излученный светодиодом, отражается от доехавшей до конца конвейерной ленты детали и попадает на фототранзистор, датчик меняет выходной параметр, тем самым посылая сигнал в микроконтроллер о наличии в конце конвейерной ленты детали. Если же излученный светодиодом свет не встречает на пути никаких препятствий, тем самым, не попадая на фототранзистор, двигатель конвейерной ленты не останавливается.

Схема подключения датчика к микроконтроллеру приведена на рисунке ниже.

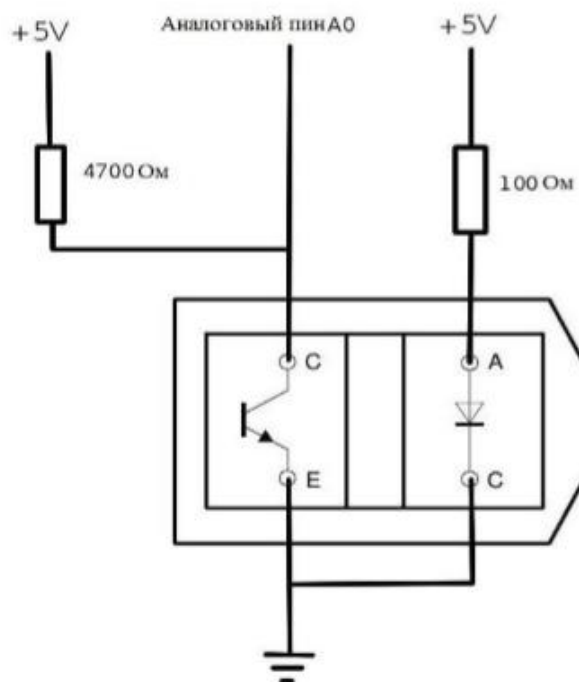


Рисунок 5.8 – Схема подключения датчика TCRT5000L

В данной схеме фототранзистор обеспечивает работу в режиме переключения. Это означает, что при освещении фототранзистора, он будет или в состоянии насыщения, или в состоянии отсечки. Такой режим не подразумевает под собой генерацию выходного сигнала, которое было бы пропорционально уровню освещенности.

5.2.3. Концевой выключатель KW12-3

Концевые выключатели нужны для автоматического включения и выключения исполняемого механизма, по достижении подвижной части определенной точки. В рассматриваемой системе концевой выключатель расположен в крайней точке портала манипулятора, а его нажатие означает то, что манипулятор находится в необходимой позиции и готов к захвату детали с края конвейерной ленты. Внешний вид концевой выключателя показан на рисунке 5.9.



Рисунок 5.9 – Концевой выключатель

К микроконтроллеру Arduino Mega2560 такой выключатель подключается очень просто: один контакт выключателя подсоединяется к цифровому выводу контроллера, а второй попросту заземляется. В этом случае вместо привычно подсоединяемого резистора в дело вступает подтягивающий резистор, вшитый в плату самого микроконтроллера, тем самым инвертируя сигналы, поступающие с концевой выключателя, что немного изменяет процесс написания программы, но не более.

6. Разработка электрической схемы соединений

6.1. Подключение Arduino Mega2560

Рассматриваемая складская система является замкнутой электромеханической системой и имеет силовые цепи главного тока (+5 и +12 В) и информационные цепи управления.

Рассмотрим основные элементы, которые изображены на электрической схеме соединений:

- SP1 – Блок питания LC-B250ATX;
- D1 – Контроллер Arduino Mega2560;
- D2 – Драйвер шаговых двигателей CNC Shield v3.0;
- D3 – Датчик цвета TCS3200;
- D4 – Оптическая пара TCRT5000L;
- M1 – Вентилятор охлаждения DEERCOOL XFAN 60;
- M2 – Вентилятор охлаждения DEERCOOL XFAN 60;
- M3 – Шаговый двигатель униполярный DYNASYN 4SHG-023A 39S;
- M4 – Шаговый двигатель униполярный DYNASYN 4SHG-023A 39S;
- M5 – Электрический двигатель постоянного тока 6В GM37B-520;
- SM1 – Сервопривод Tower Pro MicroServo 9g;
- SM2 – Сервопривод Tower Pro MG996R;
- SM3 – Сервопривод Tower Pro MG996R;
- SM4 – Сервопривод Tower Pro MG996R;
- SA1 – Концевой переключатель KW12-3;
- VT2 – Транзисторный ключ IRF540N;

Центральным элементом электрической схемы соединений является микроконтроллер ArduinoMega2560, на схеме обозначенный как D1. Контроллер отвечает за приём и обработку информации, поступающей от датчиков обратной связи, а также за формирование информационных управляющих сигналов. У данного микроконтроллера используются 19 информационных выводов, а также питающие выводы +5 В и GND (земля). Сам контроллер питается от напряжения +12 В.

Плата расширения CNC Shield v3.0, на схеме обозначенная D2, является накладкой на плату Arduino Mega2560 и использует для своей работы цифровые выводы 0-13 и аналоговые А0-А5, дублируя их и предоставляя возможность другим узлам системы работать с этими выводами, но подключаясь не напрямую к микроконтроллеру Arduino, а используя в качестве посредника CNC Shield v3.0.

В таблице 6.1 представлены использующиеся в работе информационные управляющие выводы контроллера.

Таблица 6.1 – Используемые выводы контроллера

№	Элемент	Вывод
1	D3 s1	15
2	D3 s2	16
3	D3 s3	17
4	D3 s0	18
5	D3 out	19
6	M3 A+	3
7	M3 A-	4

Продолжение таблицы 6.1

8	M3 B-	5
9	M3 B+	6
10	M4 A+	7
11	M4 A-	8
12	M4 B-	9
13	M4 B+	10
14	SA1	2
15	SM1	24
16	SM2	26
17	SM3	28
18	SM4	30
19	VT1 и VD1	21
20	VT2	22

6.2. Источник питания

В качестве источника электрического питания в данной системе используется блок питания компьютера мощностью 250 Вт марки LC-B250ATX. Блок питания преобразует переменное напряжение потребительской сети 220 В, как уже говорилось ранее, в необходимое постоянное напряжение

питания. Он способен выдавать различные значения постоянного напряжения, на рисунке 6.1 представлена распиновка выводов.

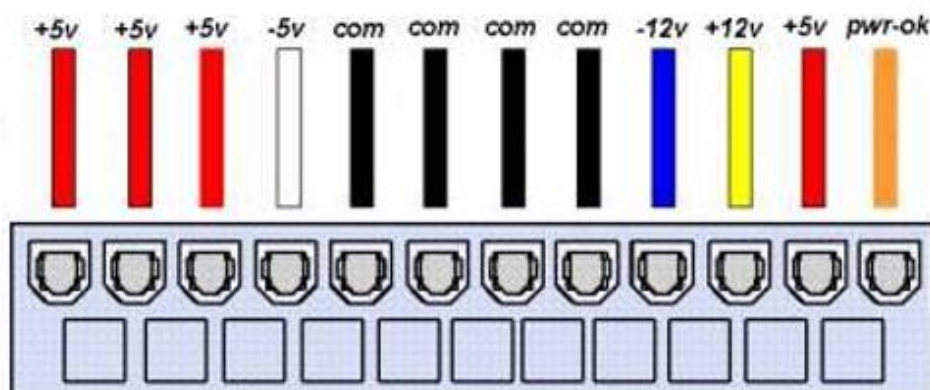


Рисунок 6.1 – Распиновка выводов блока питания

Маркировка проводов по цветам:

- Черный — общий провод, «земля», GND;
- Красный — плюс 5В;
- Белый — минус 5В;
- Желтый — плюс 12В;
- Синий — минус 12В;
- Оранжевый — плюс 3.3В;
- Серый — POWER-OK (POWERGOOD);
- Фиолетовый — 5VSB (дежурного питания);
- Зеленый — включение (PS-ON).

В разработанной системе используются два вида напряжений: +12В и +5В. Напряжение +5В нужно для работы логических элементов системы, +12В – для питания силовых элементов, например, двигателей. Общий провод GND компьютерного блока питания соединяется с выводом GND микроконтроллера Arduino Mega2560, это необходимо для корректной работы датчиков обратной связи и драйверов двигателей.

6.3. Шаговые двигатели

В качестве драйвера управления двумя униполярными шаговыми двигателями, входящими в состав складской системы, было решено использовать плату расширения CNC Shield v3.0. Обычно эта плата используется для возможности создания на её базе станка с числовым программным управлением (ЧПУ), однако ввиду её доступности и меньшей стоимости относительно других драйверов управления её целесообразно использовать в нашем проекте для управления двумя шаговыми двигателями.

Характеристики платы:

- Напряжение питания логической части - 5 В;
- Напряжение питания силовой части - 12–36 В;
- Размер - Arduino UNO и другие совместимые платы;
- Количество шаговых двигателей (осей) - 4 (X, Y, Z, A);
- Интерфейсы - UART, I2C;
- Драйверы - A4988 или DRV8825 и другие;
- Прошивка - Arduino GRBL;
- Вес - 32 г.;
- Размеры - 65 x 55 x 20 мм.

Плата расширения CNC Shield v3.0 в своём составе имеет 4 драйвера двигателей, которые вставляются в предусмотренные для этого колодки на рисунке 4.2 жёлтым и красным цветом), каждый из таких драйверов управляет одним шаговым двигателем. Драйвер подключается к микроконтроллеру по информационным выводам, по которым идут управляющие импульсы с некоторой определённой последовательностью. Драйвер усиливает информационные сигналы, а затем подаёт их в этой же последовательности на

выводы OUT1, OUT2, OUT3, OUT4 колодки подключения шаговых двигателей (рисунок 4.3, п.6). Кроме этого, к драйверу подключены силовые контакты контроллера Arduino: +12 В, GND, +5 В.

В проекте используется два униполярных шаговых двигателя DYNASYN 4SHG-023A 39S. Один из них задаёт плоскопараллельные движения манипулятора (на электрической схеме соединений он обозначен как M3), другой точно такой же двигатель установлен в механизме поворота склада, он обозначен как M4.

Характеристики двигателя DYNASYN 4SHG-023A 39S:

- Тип двигателя: униполярный, шаговый;
- Кол-во шагов на полный оборот вала: 200;
- Угол поворота за один шаг: 1.8 градуса;
- Количество обмоток: 2 со средней точкой;
- Количество выводов: 6;
- Напряжение питания: 2.3 В;
- Потребляемый ток: 1.53 А;
- Сопротивление обмоток: 1.5 Ом;
- Момент удержания ротора: 4кг\см;
- Осевая нагрузка: 15N (max);
- Радиальная нагрузка: 75N (max);
- Размеры: 57х57×41 мм;
- Вес: 540 грамм;
- Температурный диапазон: -20...+50 градусов.

Оба двигателя подключены к плате расширения CNC Shield v3.0 по одинаковой схеме, как показано на рисунке 6.2.

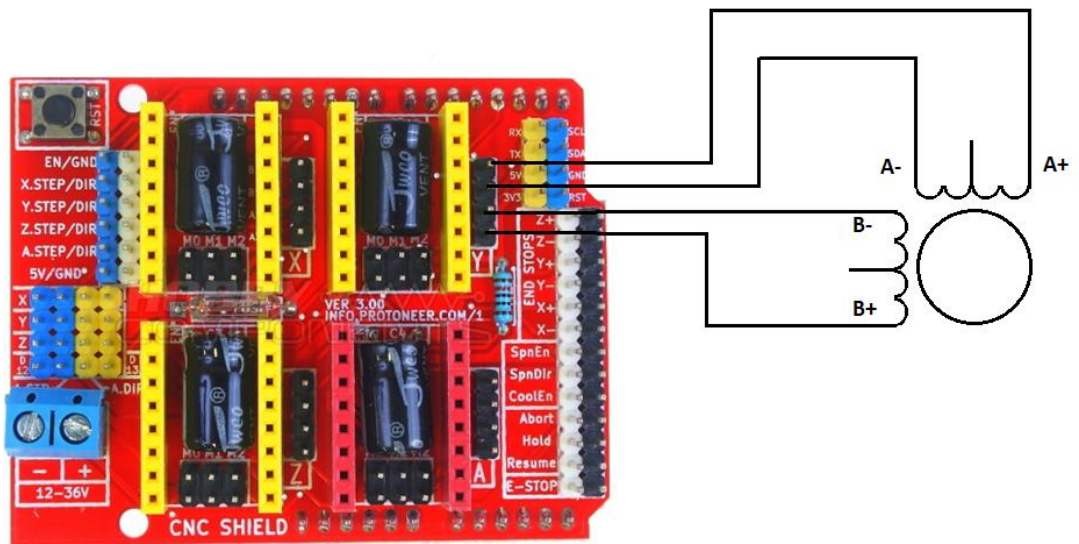


Рисунок 6.2 – Подключение шагового двигателя к CNC Shield v3.0

Как видно на схеме выше, средние провода обмоток А и В не подключены никуда. По стандартной схеме подключения униполярных шаговых двигателей, эти выводы стоит подключать к земле, это обеспечивает наибольшую скорость их вращения, однако меньший крутящий момент в то же время. В модулях системы, где задействованы такие шаговые двигатели, было важно сохранить конкретно силу крутящего момента, а не скорость. В связи с чем все униполярные шаговые двигатели решено подключать как биполярные, не задействовав выводы их полуобмоток.

6.4. Сервоприводы

Для устройства захвата манипулятора необходим небольшой маломощный сервопривод, чтобы захватывать поступающие детали. Для этого целесообразно использовать сервопривод TowerPro MicroServo 9g с углом поворота в 180 градусов (рисунок 6.3). Степень сжатия захвата зависит от угла

поворота этого сервопривода. На электрической схеме соединений этот сервопривод обозначен как SM1.



Рисунок 6.3 – Сервопривод TowerPro MicroServo 9g

Характеристики сервопривода:

- Напряжение питания: 3 – 7,2 В;
- Скорость поворота на 60 градусов: 0,4 сек;
- Крутящий момент: 3,4 кг*см;
- Максимальный угол поворота: 180 градусов.
- Диапазон рабочих температур: -30 – +60 градусов Цельсия;

Для поворота манипулятора вокруг своей оси и качания звеньев этого двухзвенного манипулятора необходимы сервоприводы с большей мощностью ввиду тяжести деталей. Для этих целей были выбраны сервоприводы TowerPro MG996R с углом поворота в 180 градусов (рисунок 6.4).



Рисунок 6.4 – Сервопривод TowerPro MG996R

Характеристики сервопривода:

- Напряжение питания: 4,8 – 7,2 В;
- Скорость поворота на 60 градусов: 0,2 сек;
- Крутящий момент: 12 кг*см;
- Максимальный угол поворота: 180 градусов.
- Диапазон рабочих температур: -10 – +55 градусов Цельсия;

Данный тип двигателей не нуждается в каких-либо внешних драйверах для их работы. Сам сервопривод внутри корпуса имеет управляющую схему и потенциометр, служащий датчиком обратной связи и преобразующий угол поворота в электрический сигнал. Привод подключается по трем проводам, два из которых – это питание +5 В и GND, а по третьему проводу идёт управляющий сигнал.

6.5. Двигатель постоянного тока

Двигатель постоянного тока электрический 6BGM37B-520 используется в механизме конвейерной ленты. Он осуществляет вращение ведущих ленточных роликов, что приводит в движение резиновую ленту, которая линейно перемещает детали/заготовки. На электрической схеме соединений двигатель GM37B-520 обозначен как M5.

Характеристики двигателя:

- Тип двигателя: двигатель постоянного тока коллекторный;
- Требуемое напряжение питания: 5 В;
- Потребляемый ток без нагрузки: 0,5 А;
- Частота вращения без нагрузки: 800 оборотов в минуту;
- Частота вращения в нагрузке: 560 оборотов в минуту;
- Потребляемый ток в нагрузке: 1,5 А;
- Максимальный ток потребления: 3 А;
- Крутящий момент с нагрузкой: 30 мН*м;
- Максимальный крутящий момент: 60 мН*м.

Двигатель подключен через N-канальный МОП-транзистор IRF540N с обратным диодом, который на схеме обозначен VT2. Управление двигателем GM37B-520 сводится к задаче включения и выключения питания в заданный момент. Для этого было решено использовать силовой транзистор IRF540N (рисунок 6.5).

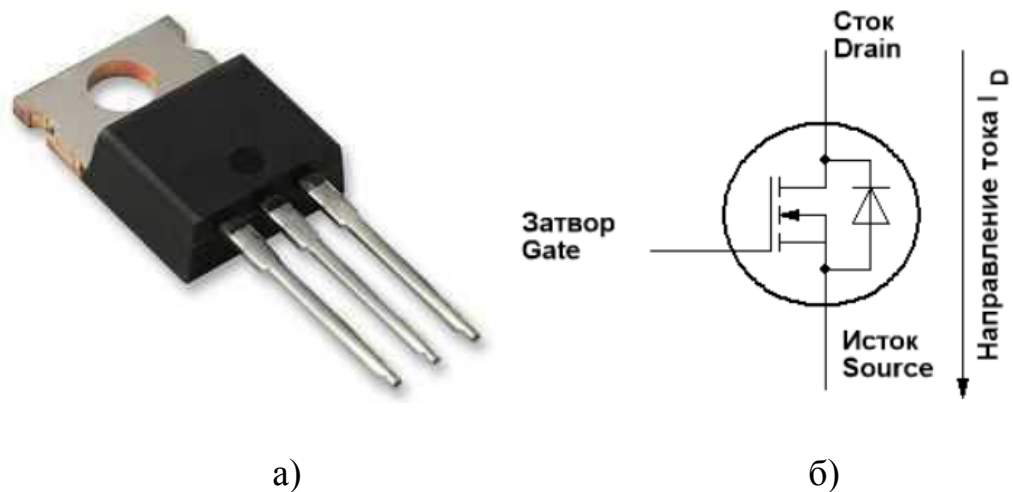


Рисунок 6.5 – Транзистор IRF540N

Характеристики транзистора IRF540N:

- Напряжение пробоя сток-исток: 100 В;
- Максимальное напряжение затвора: 20 В;
- Ток стока: 33 А;
- Сопротивление в открытом состоянии: 44 мОм;
- Рассеиваемая мощность 140 Вт;
- Термосопротивление: 1.1 К/Вт;
- Заряд затвора: 47,3 нКл.

Подключается такой транзистор очень просто: двигатель подключается одной клеммой на +5 В, а другой на исток такого транзистора; затвор подключается на необходимый вывод платы Arduino, а сток заземляется. При этом сигнал подачи напряжения с вывода Arduino на затвор будет открывать канал сток-исток, тем самым подавая напряжение на двигатель, что приведёт его в действие. Схема подключения показана на рисунке 6.6.

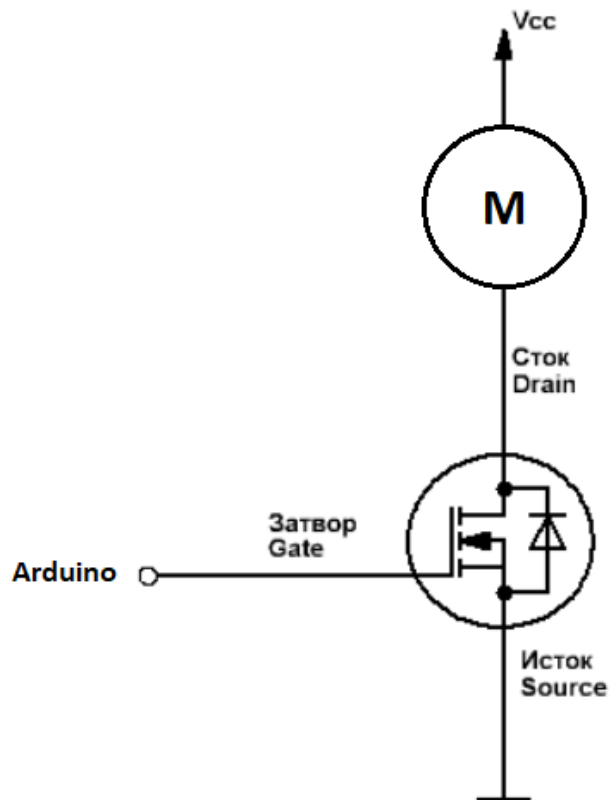


Рисунок 6.6 – Подключение транзистора IRF540N для управления двигателем постоянного тока

6.6. Концевой переключатель KW12-3L

Концевой переключатель KW12-3L расположен в конечной точке портала манипулятора и предназначен для обозначения конца движения манипулятора по portalу и готовности его (манипулятора) для захвата детали/заготовки.

На электрической схеме соединений данный переключатель имеет обозначение SA1. Подключается переключатель очень просто: один его вывод соединяется с землёй, а другой подключается к необходимому выводу микроконтроллера Arduino.

6.7. Оптическая пара TCRT5000L

Оптическая пара TCRT5000L – рефлективный оптический сенсор, на электрической схеме соединений оптопара обозначена как VT1 и VD1. Оптическая пара содержит инфракрасный светодиод и инфракрасный транзистор n-p-n типа.

Характеристики:

- Максимальный прямой ток светодиода: 60 мА;
- Минимальное расстояние до отражающей поверхности: 2,5 мм;
- Падение напряжения на светодиоде: 1,25...1,5 В;
- Максимальный ток коллектора: 100 мА;
- Длина волны излучения светодиода: 960 нм;
- Максимальное напряжение коллектор-эмиттер: 70 В;
- Максимальное напряжение эмиттер-коллектор: 5 В;

В лабораторном стенде складской системы оптопара TCRT5000L используется как диффузионный датчик. Если свет, излучённый светодиодом, отражается от доехавшей до конца конвейерной ленты детали и попадает на фототранзистор, датчик меняет выходной параметр, тем самым посылая сигнал в микроконтроллер о наличии в конце конвейерной ленты детали. Если же излучённый светодиодом свет не встречает на пути никаких препятствий, тем самым, не попадая на фототранзистор, двигатель конвейерной ленты не останавливается.

Схема подключения датчика к микроконтроллеру приведена на рисунке ниже.

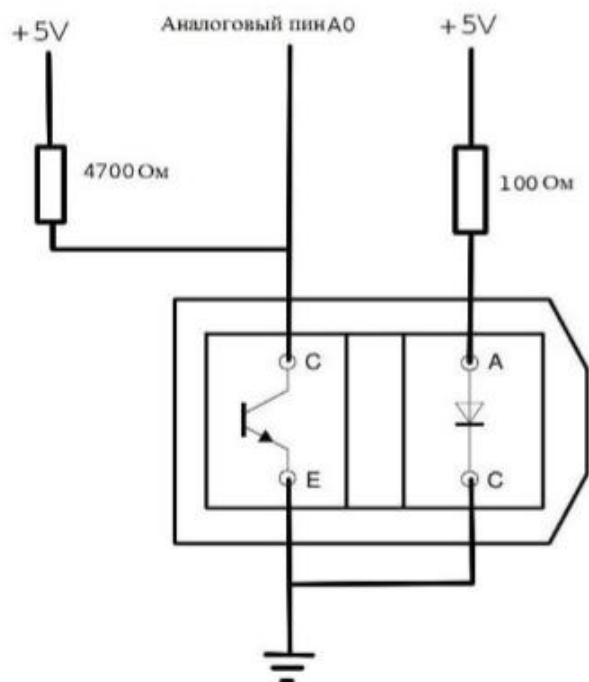


Рисунок 6.7 – Схема подключения датчика TCRT5000L

В данной схеме фототранзистор обеспечивает работу в режиме переключения. Это означает, что при освещении фототранзистора, он будет либо в состоянии насыщения, либо в состоянии отсечки. Данный режим не подразумевает под собой генерацию выходного сигнала, пропорционального уровню освещенности.

Чтобы фоторезистор хорошо работал в режиме переключения, сопротивление ограничивающего резистора R2 в цепи должно удовлетворять условию: $V_{cc} < I \cdot R$. Резистор R2 с сопротивлением 4,7 кОм удовлетворяет данному условию. В качестве R2 выбираем резистор с сопротивлением 4,7 кОм марки CF-25 (C1-4) 0.25 Вт, 4.7 кОм, 5%. Резистор R1 100 Ом ограничивает ток, который идёт на фотодиод. В качестве резистора R1 выбираем резистор с сопротивлением 100 Ом марки CF-100 (C1-4) 1 Вт, 100 Ом, 5%.

6.8. Датчик цвета на микросхеме TCS3200

В процессе работы складской системы необходимо было различать цвета поступающих деталей. Для этих целей использовался датчик цвета.

Датчик цвета TCS3200 определяет цвета на основе длины волны излучения. Он особенно полезен в проектах, где требуется распознавание цветов – к примеру, для цветосортировки, подбора красителей, определения цвета тестовых полосок и т.д.

Датчик оснащен RGB-сенсорным чипом TAOS TCS3200, с помощью которого, собственно, он и определяет цвета. Также он укомплектован четырьмя белыми светодиодами, которые освещают объект, находящийся перед датчиком. Внешний вид датчика представлен на рисунке ниже.



Рисунок 6.8 – Модуль датчика цвета на микросхеме TCS3200

Характеристики датчика:

- Питание: от 2,7 до 5,5 В;
- Размер: 28,4 x 28,4 мм;
- Интерфейс: TTL цифровой;
- Преобразование данных о яркости света в частоту (итоговые данные имеют высокое разрешение);
- Возможность выбрать цветовой фильтр и масштабирование частоты;
- Взаимодействует напрямую с микроконтроллером.

Микросхема размещена в корпусе SOIC-8, что обеспечивает надёжность работы, и имеет 8 выводов. Распиновка выводов этой микросхемы представлена на рисунке 6.9 и в таблице 6.2.

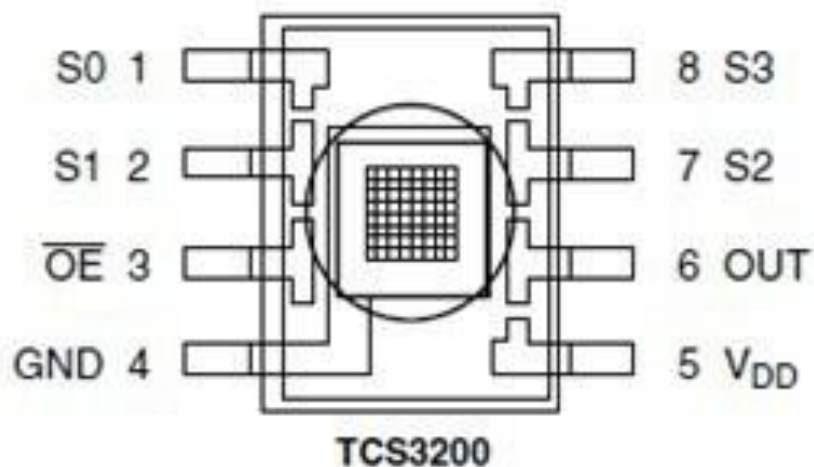


Рисунок 6.9 – Распиновка выводов микросхемы

Таблица 6.2 – Распиновка выводов микросхемы

Номер контакта	Входной/выходной	Описание
GND (4)		Заземление
OE (3)	Входной	Включение потока выходных данных (частоты); активируется через LOW
OUT (6)	Выходной	Вывод частоты
S0, S1 (1, 2)	Входной	Масштабирование частоты
S2, S3 (7, 8)	Входной	Выбор типа фотодиодов
VDD (5)		Питание

При этом только 5 выходов микросхемы идут на плату Arduino. Данные представлены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – подключение выводов датчика к Arduino

№	Элемент	Вывод
1	s1	15
2	s2	16
3	s3	17
4	s0	18
5	out	19

7. Технико-экономическая часть разработки учебного стенда

Главной движущей силой современной экономики является торговля, благодаря которой создаются новые товары и развивается наше общество. Но красивые магазины, в которых можно найти все, что пожелаешь – это лишь видимая часть бизнеса. Его настоящим сердцем является склад. Вот почему складское оборудование грамотные предприниматели выбирают даже с большей тщательностью, чем оборудование для торговых залов.

Целью выпускной квалификационной работы является создание автоматизированного лабораторного сортировочно-складского комплекса на базе микроконтроллера Arduino. Данный стенд предназначен для проведения лабораторных работ, которые помогут студентам закрепить полученные теоретические знания на практике.

Целью данного экономического расчёта является вычисление стоимости электрической составляющей сортировочно-складского комплекса и стоимостная оптимизация проекта.

7.1. Описание лабораторного стенда сортировочно-складской системы

Лабораторный стенд складской системы предназначен для повышения производительности труда, а также для наглядного представления работы автоматизированной системы складирования.

Складской комплекс состоит из следующих узлов:

- Транспортная лента (конвейер);
- Робот-манипулятор на подвижном портале;

- Склад;
- Система питания и управления.

Управление данным лабораторным стендом осуществляется с помощью микроконтроллера Arduino.

В следующем пункте представлена электрическая часть проекта, необходимая для его реализации.

7.2. Комплектующие для реализации проекта

7.2.1. Микроконтроллер Arduino

Arduino Mega построена на микроконтроллере ATmega2560 (рисунок 7.1). Плата имеет 54 цифровых входа/выходов (14 из которых могут использоваться как выходы ШИМ), 16 аналоговых входов, 4 последовательных порта UART, кварцевый генератор 16 МГц, USB коннектор, разъем питания, разъем ICSP и кнопка перезагрузки.

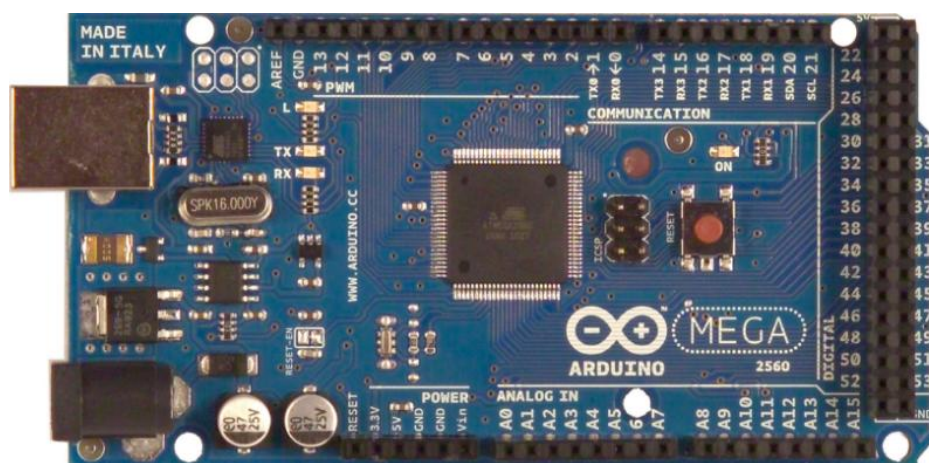


Рисунок 7.1 – микроконтроллер ArduinoMega 2560

Для работы необходимо подключить платформу к компьютеру посредством кабеля USB или подать питание при помощи адаптера AC/DC, или аккумуляторной батареей. Arduino Mega 2560 совместима со всеми платами расширения, разработанными для платформ [Uno](#) или [Duemilanove](#).

Таблица 7.1 – Технические характеристики микроконтроллера

Микроконтроллер	ATmega2560
Рабочее напряжение	5В
Входное напряжение (рекомендуемое)	7-12В
Входное напряжение (предельное)	6-20В
Цифровые Входы/Выходы	54 (14 из которых могут работать также как выходы ШИМ)
Аналоговые входы	16
Постоянный ток через вход/выход	40 мА
Постоянный ток для вывода 3.3 В	50 мА
Флеш-память	256 КВ (из которых 8 КВ используются для загрузчика)
ОЗУ	8 КВ
Энергонезависимая память	4 КВ
Тактовая частота	16 МГц

Стоимость микроконтроллера 632,7 руб.

7.2.2. Драйвер CNC Shield v3.0

Плата расширения CNC Shield v3.0 для Arduino UNO создана, чтобы на её основе можно было создать ЧПУ станки (рисунок 7.2).

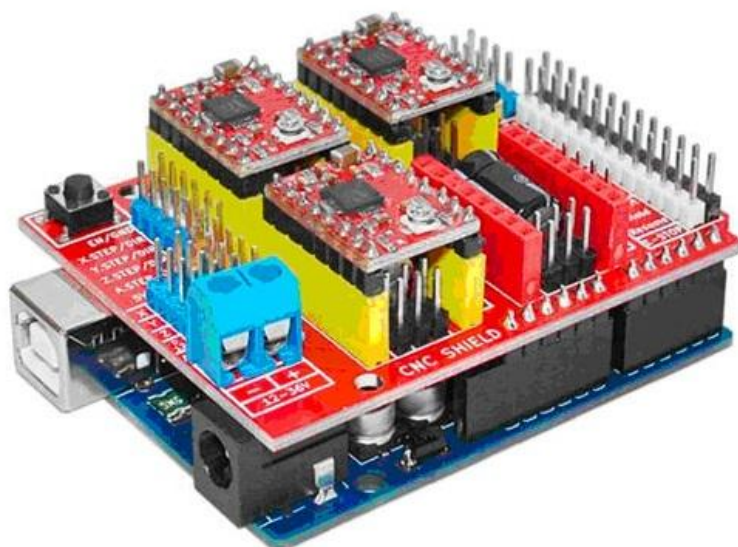


Рисунок 7.2 – Драйвер для управления двигателями

Характеристики платы:

- Модель - CNC Shield v3.0;
- Размер - Arduino UNO и другие платы;
- Количество осей - 4 (X, Y, Z, A);
- Напряжение питания силовой части - 12 – 36 В;
- Напряжение питания логической части - 5 В;
- Драйверы - A4988 или DRV8825 и другие;
- Прошивка - Arduino GRBL;
- Интерфейсы - UART, I2C;
- Размеры - 65 x 55 x 20 мм;
- Вес - 32 г.

Стоимость – 550 р.

7.2.3. МОП-транзистор IRF540N

Необходим для управления двигателем постоянного тока конвейерной ленты.

Стоимость – 50 р.

7.2.4. Датчик цвета TCS3200

Датчик цвета определяет цвет транспортируемой детали. Описан в п. 5.2.1.

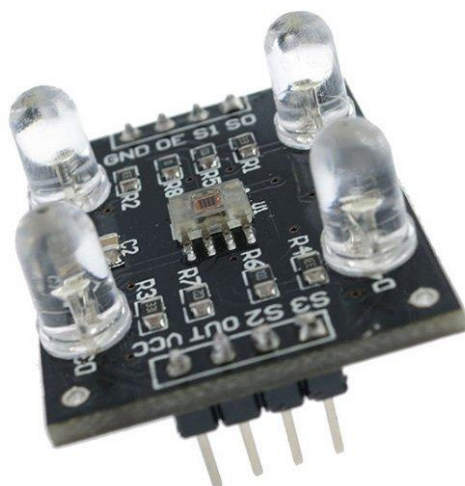


Рисунок 7.3 – Датчик цвета

Стоимость – 400 р.

7.2.5. Концевые выключатели – 2 шт.

Предназначены для регулирования крайних положений на рельсах манипулятора.

Стоимость – 60 р.

7.2.6. Блок питания.

Блок питания необходим для обеспечения лабораторного стенда энергией.



Рисунок 7.4 – Блок питания

Характеристики:

Мощность (номинальная) - 350 Вт

Мощность по линии: 12 В - 300 Вт

Ток по линии: +12 В: 12V2 13A

Ток по линии: +3.3 В: 16 А

Ток по линии: +5 В: 16 А

Ток дежурного источника (+5 В): 2.5 А

Ток по линии 12 В: 0.3 А

Диапазон входного напряжения сети: 200-240 В

Стоимость – 1450 р.

7.2.7. Провода ПВС 0,75 мм² – 16 м.

Стоимость – 288 р.

Заключение

Для реализации электрической части проекта «Лабораторный стенд сортировочно-складской системы» необходимо **3 430,7 р.**

Эффективность проекта наиболее заметна в долгосрочной перспективе, так как автоматизирование процесса сортировки и складирования оптимизирует время и трудозатраты. Экономически более эффективно использовать складские комплексы вместо ручного труда, тем самым снижая временные затраты и количество рабочих, что удешевляет процесс в целом.

Список используемой литературы

1. Александров А.А. Электротехнические чертежи и схемы / Александров К.К., Кузьмина Е.Г.- М.: Энергоатомиздат, 1990. - 288с.
2. Промышленная электроника: Учебник для вузов / Горбачев Г.Н., Чаплыгин Е.Е.; Под ред. В.А. Лабунцова. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 320 с.: ил.
3. Электронные промышленные устройства: Учеб. для студ. вузов спец. «Пром. электрон.»/ В.И. Васильев, Ю.М. Гусев, В.Н. Миронов и др. – М.: Высш. шк., 1988. – 303 с.: ил.
4. Глибин Е.С. Программирование электронных устройств : электронное учеб. пособие / Е.С. Глибин, А.В. Прядилов. – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2014.: 1 оптический диск
5. RiSE: карабкающийся робот [Электронный ресурс]: статья. – режим доступа: <http://plurrimi.com/science/70>
6. BigDog [Электронный ресурс]: электронная энциклопедия. – режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/BigDog>
7. LittleDog, младший «брат» робота BigDog, мал, да удал [Электронный ресурс]: статья. – режим доступа: <http://www.dailytechinfo.org/military/1361-littledog-mladshij-brat-robota-bigdog-mal-da-udal.html>
8. Компания Boston Dynamics представляет нового четвероногого робота – робота WildCat [Электронный ресурс]: статья. – режим доступа: <http://www.dailytechinfo.org/robots/5242-kompaniya-boston-dynamics-predstavlyaet-novogo-chetveronogogo-robota-robota-wildcat.html>
9. iC Нехарод Мэтта Дентона [Электронный ресурс]: статья. – режим доступа: https://myrobot.ru/news/2007/10/20071025_1.php
10. Робот-насекомое по имени Нестор делает свои первые шаги [Электронный ресурс]: статья. – режим доступа: <http://www.dailytechinfo.org/robots/6573-robot-nasekomoe-po-imeni-hector-delaet-svoi-pervye-shagi.html>

11. Atmel. [Электронный ресурс]: документация. – режим доступа: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/392279/ATMEL/ATMEGA168PA-PU.html>
12. MPU-6050. [Электронный ресурс]: документация. – режим доступа: https://cdiweb.com/datasheets/invensense/MPU-6050_DataSheet_V3%204.pdf
13. PCA9685. [Электронный ресурс]: документация. – режим доступа: <http://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/424208/NXP/PCA9685.html>
14. Ultrasonic Ranging Module HC - SR04 [Электронный ресурс]: документация – режим доступа: <http://www.micropik.com/PDF/HCSR04.pdf>
15. SG90 9g Micro Servo [Электронный ресурс]: документация – режим доступа: <http://www.micropik.com/PDF/SG90Servo.pdf>
16. Интерфейс I^2C и Arduino [Электронный ресурс]: статья. – режим доступа: <http://soltau.ru/index.php/arduino/item/371-interfejs-i2c-i-arduino>
17. Robust proprioceptive grasping with a soft robot hand, 2018, Bianca S. Homberg, Robert K. Katzschmann, Mehmet R. Dogar, Daniela Rus.
18. Digital LED Pixels: Instructions for use and a characterization of their properties, 2015, Pete R. Jones, Sara E. Garcia, Marko Nardini.
19. Servo signal processing for flying height control in hard disk drives, 2011, Uwe Boettcher, Christopher A. Lacey, Hui Li, Kensuke Amemiya, Raymond A. de Callafon, Frank E. Talke.
20. Simulation of multibody systems with servo constraints through optimal control, 2016, R. Altmann, J. Heiland.
21. Bluetooth in Intelligent Transportation Systems: A Survey, 2014, M. R. Friesen, R. D. McLeod.