

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Факультет компьютерных систем и сетей

Кафедра электронных вычислительных машин

Дисциплина – схемотехника

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
к курсовому проекту  
на тему

ЛАЗЕРНЫЙ ГРАВИРОВАЛЬНЫЙ СТАНОК

БГУИР КП 1-40 02 01 207 ПЗ

Студент: группы 250502  
А.А. Горюх

Руководитель: асистент каф. ЭВМ  
А.И. Стракович

МИНСК 2024

Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Факультет: КСиС. Кафедра: ЭВМ.

Специальность: 40 02 01 «Вычислительные машины, системы и сети».

Специализация: 400201-01 «Проектирование и применение локальных компьютерных сетей».

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой ЭВМ  
\_\_\_\_\_ Б.В. Никульшин  
«\_\_\_\_» 2024 г.

ЗАДАНИЕ  
по курсовому проекту студента  
Гороха Андрея Александровича

**1** Тема проекта: «Лазерный гравировальный станок»

**2** Срок сдачи студентом законченного проекта: 1 декабря 2024 г.

**3** Исходные данные к проекту:

- 3.1** Микроконтроллер.
- 3.2** Модули управления двигателями – 2 шт.
- 3.3** Щаговые моторы от DVD-привода – 2 шт.
- 3.4** Лазер.
- 3.5** Модуль управления питанием.
- 3.6** Модуль управления лазером.
- 3.7** Источник питания.

**4** Содержание пояснительной записки (перечень подлежащих разработке вопросов):

Введение 1. Обзор литературы. 2. Разработка структуры устройства. 3. Обоснование выбора узлов, элементов функциональной схемы устройства. 4. Разработка принципиальной электрической схемы устройства. 5. Разработка программного обеспечения. Заключение. Список использованных источников. Приложения.

**5** Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

- 5.1** Лазерный гравировальный станок. Схема электрическая структурная.
- 5.2** Лазерный гравировальный станок. Схема электрическая

функциональная.

**5.3** Лазерный гравировальный станок .Схема электрическая принципиальная.

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Наименование этапов курсового проекта	Объем этапа, %	Срок выполнения этапа	Примечания
Обзор литературы	15	01.09 – 20.09	
Разработка структурной схемы	15	21.09 – 04.10	
Разработка функциональной схемы	20	05.10 – 23.10	
Разработка принципиальной схемы	15	24.10 – 05.11	
Разработка программного обеспечения	15	06.11 – 15.11	
Создание макета устройства	10	16.11 – 23.11	
Оформление пояснительной записи и графического материала	10	24.11 – 01.12	
Защита курсового проекта		07.12 – 19.12	

Дата выдачи задания: 13.09.2024 г.

Руководитель

А.И. Стракович

ЗАДАНИЕ ПРИНЯЛ К ИСПОЛНЕНИЮ

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	5
1 Обзор литературы .....	6
1.1 Определения и термины .....	6
1.2 Состав устройства.....	7
1.3 Выбор преобразователя уровней .....	7
1.4 Сравнение особенностей конструкций с аналогами .....	8
2 Разработка структурной схемы.....	11
2.1 Постановка задачи .....	11
2.2 Определение компонентов структуры устройства .....	11
2.3 Взаимодействие компонентов устройства.....	11
3 Разработка функциональной схемы .....	12
3.1 Блок питания .....	12
3.2 Блок микроконтроллера.....	12
3.3 Блок управления лазером .....	12
3.4 Блок управления двигателями .....	12
4 Разработка принципиальной схемы .....	13
4.1 Схема питания устройства .....	13
4.2 Подключение микроконтроллера .....	13
4.3 Подключение драйверов шаговых двигателей и моторов.....	14
4.4 Подключение лазера .....	16
5 Разработка программного обеспечения .....	17
5.1 GRBL .....	17
5.2 LaserGRBL .....	17
6 Разработка корпуса .....	18
6.1 Выбор материала и метода изготовления корпуса.....	18
6.2 Проектирование корпуса .....	18
Заключение .....	20
Список использованных источников .....	21
Приложение А (обязательное) Схема электрическая структурная .....	22
Приложение Б (обязательное) Схема электрическая функциональная .....	24
Приложение В (обязательное) Схема электрическая принципиальная .....	26
Приложение Г (обязательное) Перечень элементов .....	28
Приложение Д (обязательное) Таблица конфигурации LaserGRBL .....	30
Приложение Е (обязательное) Ведомость документов .....	31

## **ВВЕДЕНИЕ**

Семимильными шагами ступает прогресс по планете Земля. Каждый день мы можем наблюдать, как в мире происходит так называемая «цифровая революция», которая началась еще в последних десятилетиях прошлого века. Связана она с распространением информационных технологий и проникновением их во все сферы жизни общества.

В современном мире технологий брендированные товары стали неотъемлемой частью нашей повседневной жизни. Во многих фирмах и компаниях сувенирная продукция является традиционной и обязательной частью корпоративной культуры. Для создания сувенирной продукции разрабатывается специальный дизайн, заказываются большие партии печатной продукции, используется печать и вышивка на одежде, а также гравировка логотипов на металлических и деревянных предметах.

Лазерная гравировка представляет собой метод нанесения изображения на изделие с помощью сфокусированного лазерного луча. Линза лазера фокусирует световой луч на определенном месте и он с помощью нагревания наносит в этом месте отметку. На рынке услуг лазерная гравировка, наряду с печатью, занимает значительное место. С помощью лазерной гравировки создаются раскладки на компьютерных и ноутбучных клавиатурах, маркируются отдельные детали и продукты, персонализируются трофеи и награды.

Данный тип гравировки обладает рядом преимуществ по сравнению с механической: благодаря автоматизации и недорогих материалов снижается стоимость и время нанесения изображения, отсутствие непосредственного контакта с поверхностью материала становится облегчает гравировку неудобных и труднодоступных мест, лазер повышает точность рисунка, а использование числового управления уменьшает количество брака и погрешностей.

Но, несмотря на преимущества, лазерная гравировка имеет и недостатки: достаточно сложно контролировать глубину гравировки, на изогнутой поверхности могут появляться искажения и брак из-за особенностей фокусного расстояния луча лазера, а также возможны небольшие деформации для материалов с низкой температурной стойкостью.

Данный курсовой проект поможет разобраться и погрузиться изнутри в мир современной схемотехники, исследовать способы нанесения изображения лазерным лучом на различные материалы, а также попробовать создать собственную ЧПУ систему для гравирования предметов. В рамках работы будут рассмотрены теоретические аспекты и проведены практические эксперименты, что позволит получить всестороннее представление о процессе лазерной гравировки и ее применении в различных областях.

# **1 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ**

В данной курсовой работе будет затрагиваться тема лазерной гравировки и ЧПУ, поэтому для полного понимания и погружения в специфику, необходимо обозначить ключевые определения и термины.

## **1.1 Определения и термины**

**1.1.1 PETG-пластик.** PETG-пластик (полиэтилентерефталатгликоль) – это термопластичный полимер, обладает высокой прозрачностью, устойчивостью к ударам и химическим воздействиям, а также хорошей обрабатываемостью. PETG-пластик используется для изготовления различных изделий, включая упаковку, медицинское оборудование, детали для автомобилей и др.

**1.1.2 Драйвер шагового двигателя.** Драйвер шагового двигателя – это электронное устройство, предназначенное для управления шаговым двигателем. Он преобразует управляющие сигналы от микроконтроллера в последовательность импульсов, которые приводят в движение шаговый двигатель. Драйвер обеспечивает точное позиционирование и контроль скорости вращения двигателя.

**1.1.3 Линейный регулятор напряжения.** Линейный регулятор напряжения – это электронное устройство, предназначенное для поддержания постоянного выходного напряжения независимо от изменений входного напряжения и нагрузки. Линейные регуляторы напряжения работают путем регулирования сопротивления в цепи для стабилизации выходного напряжения.

**1.1.4 Микроконтроллер.** Микроконтроллер – это интегральная микросхема, содержащая процессор, память и периферийные устройства ввода-вывода на одном кристалле.

**1.1.5 G-код.** G-код – это язык программирования, используемый для управления автоматизированными станками с числовым программным управлением (ЧПУ). G-код состоит из набора команд, которые определяют движения инструмента, скорость подачи, включение и выключение различных функций станка и другие параметры обработки.

**1.1.6 GRBL.** GRBL – это программное обеспечение (библиотека) с открытым исходным кодом, предназначенное для управления станками с числовым программным управлением (ЧПУ). Оно работает на микроконтроллерах и интерпретирует команды G-кода, преобразуя

их в сигналы для управления шаговыми двигателями и другими исполнительными механизмами станка.

## 1.2 Состав устройства

Как было озвучено ранее, данное устройство предназначено для лазерной гравировки. Для решения данной задачи в состав данного устройства должны входить следующие компоненты, образующие итоговую схему:

- Микроконтроллер;
- Модули управления двигателями (драйвера шаговых двигателей);
- Шаговые моторы DVD-привода;
- Лазер;
- Модуль управления питанием;
- Модуль управления лазером.

## 1.3 Выбор преобразователя уровней

Для управления моторами и лазером выбран микроконтроллер ATmega328P в корпусе Arduino Nano. Данный микроконтроллер использует 5 В логику[1]; лазер использует питание - 4.7 В, 250 мА; а моторы и драйвера двигателей питаются от 12 В. Для того чтобы решить вопрос логических уровней и энергопотребления, нужно обратиться к теории преобразователей уровней.

Преобразователи уровней[2] представляют собой специальные компоненты в цифровых устройствах и предназначаются для согласования сигналов на входе и выходе по току и напряжению, при применении в одном устройстве интегральных микросхем из совершенно разных семейств, и уже тем более, когда различны напряжения их питания.

Преобразование уровней можно выполнить несколькими способами:

- Аналоговой схемой делителя напряжения;
- С использованием MOSFET;
- Используя микросхему.

Так как каналов, уровень которых необходимо преобразовать не много (два), выбрано преобразование напряжения с помощью полевого транзистора и линейного делителя напряжения.

Так как микроконтроллер не может обеспечить достаточный ток для управления лазером (более 250 мА), то для увеличения мощности управления лазером, используется транзистор IRZ44N. Для управления питанием выбран линейный стабилизатор напряжения LM7805.

## 1.4 Сравнение особенностей конструкций с аналогами

В данном разделе будет проведен обзор существующих аналогов систем лазерной гравировки и их конструктивных особенностей. Сравнение различных решений позволит выявить преимущества и недостатки каждой из них, а также обосновать выбор компонентов и технологий, используемых в данном курсовом проекте.

**1.4.1 WATTSAN micro 0203.** Лазерный станок WATTSAN 0203 micro (рис. 1.1) предназначен для хобби и мелкосерийного производства. Настольный гравер имеет рабочее поле 200×300 мм, тем самым подходит для обработки небольших изделий. Станок достаточно компактный, поэтому может быть размещен даже при дефиците свободного пространства. По умолчанию поставляется с лазерной трубкой мощностью 40W.

Аппарат подключается к компьютеру через USB порт и поддерживает программы CorelDraw и AutoCAD. Данный лазерный гравер поддерживает следующие графические форматы: BMP, PLT, CDR, DXF, AI, SVG и другие. Станок режет фанеру до 3 мм, а акрил, оргстекло, ткань, резину, кожу и прочие материалы толщиной до 5 мм. Гравер не обрабатывает металл и не подходит для печатей по ГОСТУ.



Рисунок 1.1 – Лазерный гравер WATTSAN micro 0203

WATTSAN micro 0203 может использоваться для следующих целей:

- Изготовление печатей;
- Изготовление сувениров;

- Гравировка на мобильных телефонах;
- Заготовки для творчества.

На момент написания курсовой работы, стоимость устройства в РБ составляет 3033 BYN.

**1.4.2 ORTUR Laser Master 2 S2.** Максимальная мощность установки – 10 Вт. Размер сжатой точки составляет 0,05 x 0,1 мм. Максимальная площадь гравировки – 390\*410 мм. Имеет пять защитных функций: обнаружение наклона, мониторинг USB-подключения, ограничение времени воздействия лазера, активный контроль положения лазера, система контроля напряжения и тока. ORTUR Laser Master 2 S2 (рис. 1.2) может резать акрил толщиной 30 мм и дерево толщиной 20 мм.



Рисунок 1.2 – Гравировальный станок ORTUR Laser Master 2 S2

Лазерный гравировальный станок совместим с различными системами и программами для гравировки, такими как LaserGRBL и MAC (LightBurn). Программное обеспечение поддерживает следующие форматы файла гравировки: NC, DXF, BMP, JPG, JPEG, PNG, GCODE, SVG, TIF и CR2. Данный станок имеет разнообразные области применения: возможна гравировка на бумаге, бамбуке, дереве, коже, оксиде алюминия, стекле и более чем 100 видах материалов.

На момент написания курсовой работы, стоимость устройства в РБ составляет 786 BYN.

**1.4.3 Two Trees TTS 55 Pro.** Лазерный модуль обладает мощностью 5,5 Вт. Технология сжатого пятна использует линзу FAC — функцию коллимационного света, которая делает лазерный луч более концентрированным, а плотность мощности намного выше. Материнская плата устройства — новая 32-битная материнская плата, работающая с плавным ременным приводом, обеспечивает высокоскоростную гравировку до 30000 мм/мин. Лазерный источник гравера управляет технологией LD+FAC+C-Lens, размер пятна составляет всего 0,08 мм. TTS 55 Pro (рис. 1.3) способен резать древесину толщиной 8 мм.

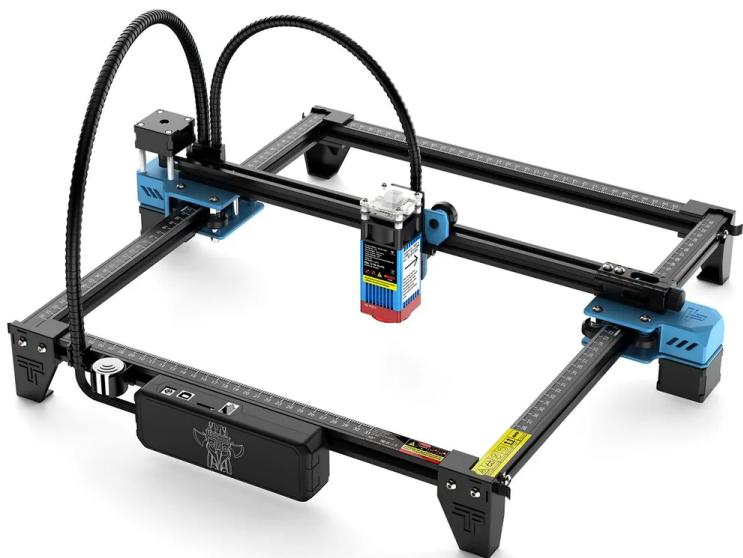


Рисунок 1.3 – Лазерный гравер Two Trees TTS 55 Pro

Интеллектуальный модуль станка ESP32 объединяет функции Wi-Fi и BT, что делает его более удобным в использовании за счет поддержки подключения к приложению. TTS-55 совместим со следующими системами и программами для гравировки: LaserGRBL и MAC (LightBurn). Программное обеспечение поддерживает следующие форматы файла гравировки: NC, DXF, BMP, JPG, JPEG, PNG, GCODE, SVG, TIF и CR2.

TTS-55 Pro может гравировать дерево, пластик, бумагу, кожу, бамбук, оксид алюминия, нержавеющую сталь, акрил и другие. Лазер может разрезать фанеру толщиной до 5 мм, акриловый лист толщиной 3 мм, картон толщиной 3 мм, кожу толщиной 0,7 мм.

На момент написания курсовой работы, стоимость устройства в РБ составляет 765 BYN.

## **2 РАЗРАБОТКА СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ**

### **2.1 Постановка задачи**

Для того, чтобы составить структуру разрабатываемого устройства, необходимо выделить функции, которые будет выполнять устройство, затем определить компоненты и связь между ними исходя из данных функций. Результаты можно посмотреть на структурной схеме, представленной в приложении А. Задачей данного проекта является реализация устройства гравировального лазерного станка и числового программного управления для него. Исходя из этого, были выделены следующие функции, которые должно выполнять данное устройство:

- Преобразование входного напряжения;
- Формирование сигнала для управления двигателями;
- Формирование сигнала для управления лазером.

### **2.2 Определение компонентов структуры устройства**

Компоненты структуры устройства выбираются исходя из функций, определенных в постановке задачи. Проанализировав выделенные функции, были определены следующие компоненты, представленные ниже:

- Модули управления двигателями;
- Шаговые двигатели;
- Микроконтроллер;
- Модуль управления питанием;
- Модуль управления лазером;
- Лазер.

### **2.3 Взаимодействие компонентов устройства**

Задача модуля питания - предоставить качественную силовую линию[1] всем потребителям на схеме. К ним относятся микроконтроллер, преобразователи уровней, модули управления шаговыми двигателями, лазер. Микроконтроллер генерирует необходимый сигнал на модули управления моторами и преобразующий транзистор, который в свою очередь подает необходимый ток на лазер.

### **3 РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ**

#### **3.1 Блок питания**

Блок питания обеспечивает питанием все элементы устройства. Он состоит из следующих элементов:

- Адаптер питания 12 В, 2 А;
- Конденсатор 1000 мкФ, 16 В;
- Линейный стабилизатор напряжения LM7805.

Стабилизатор напряжения преобразует входное напряжение и питает блок микроконтроллера выходным напряжением 5 В[3]. Драйвера шаговых двигателей потребляют 12 вольт напрямую от источника питания.

#### **3.2 Блок микроконтроллера**

Блок микроконтроллера содержит непосредственно платформу Arduino Nano с микроконтроллером ATmega328. Он подключается по разъему USB Type-C к компьютеру для загрузки программного обеспечения и управления устройством. С помощью Arduino IDE на плату загружается прошивка GRBL, которая обеспечивает управление шаговыми двигателями и лазером. Выходной сигнал микроконтроллера подается на затвор полевого транзистора, тем самым преобразуя напряжение 5 В в управляющий ток для лазера.

#### **3.3 Блок управления лазером**

Блок преобразования уровней предназначен для согласования уровней сигналов, работающих на различных уровнях напряжения. Он состоит из следующих элементов:

- Резистор 47 Ом;
- Резистор 10 кОм;
- MOSFET транзистор IRZF44N.

Сигнал информационного выхода микроконтроллера проходит через резистор 47 Ом и подается на затвор транзистора. На исток подается напряжение 12 В, а на сток подключается отрицательный выход лазера. Транзистор включает лазер, подавая на него питание 4,7 В и 250 мА. Таким образом реализуется схема подключения транзистора с общим истоком[1].

#### **3.4 Блок управления двигателями**

Данный блок состоит из драйверов шаговых двигателей и самих моторов. Драйвера шаговых двигателей подключаются к блоку микроконтроллера и управляют напряжением на двух моторах. Модули моторов двигают платформу вдоль оси Y и лазер по оси X.

## 4 РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПИАЛЬНОЙ СХЕМЫ

### 4.1 Схема питания устройства

Как указывалось ранее блок питания содержит конденсатор емкостью 1000 мкФ и линейный стабилизатор напряжения LM7805. Конденсатор подключается параллельно к источнику питания для сглаживания пульсаций и шумов, обеспечивая более стабильное напряжение. Это помогает защитить чувствительный микроконтроллер от колебаний напряжения и улучшает общую работу устройства.

Линейный стабилизатор питается от адаптера питания 12 В и преобразует входное напряжение в 5 В[4], нужные для питания микроконтроллера. Он также защищает схему от перепадов напряжения, шумов и пульсаций, а также от перегрева[3]. Для защиты от перегрева самого стабилизатора на нем устанавливается радиатор. Изображение стабилизатора LM7805 представлено на рисунке 4.1.

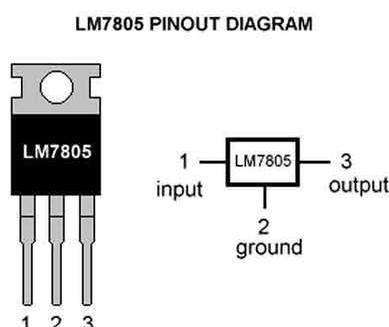


Рисунок 4.1 – Стабилизатор напряжения LM7805 и назначения его выводов

### 4.2 Подключение микроконтроллера

Плата Arduino Nano подключается к устройству используя следующие выводы:

- К выходу GND подключается одноименный вывод стабилизатора напряжения и исток транзистора IRZ44N;
- К выходу 5V подключаются выходы драйверов двигателей: VCC, MS1, MS2, MS3;
- D11 подключается к резистору 47 Ом, который в свою очередь соединяется с затвором транзистора IRZ44N;
- D6 и D5 подключаются к пинам DIR обоих драйверов шаговых двигателей;

– D3 и D2 подключаются соответственно к пинам STEP модулей A4988.

Обозначения выводов микроконтроллера[5] представлены на рисунке 4.2.

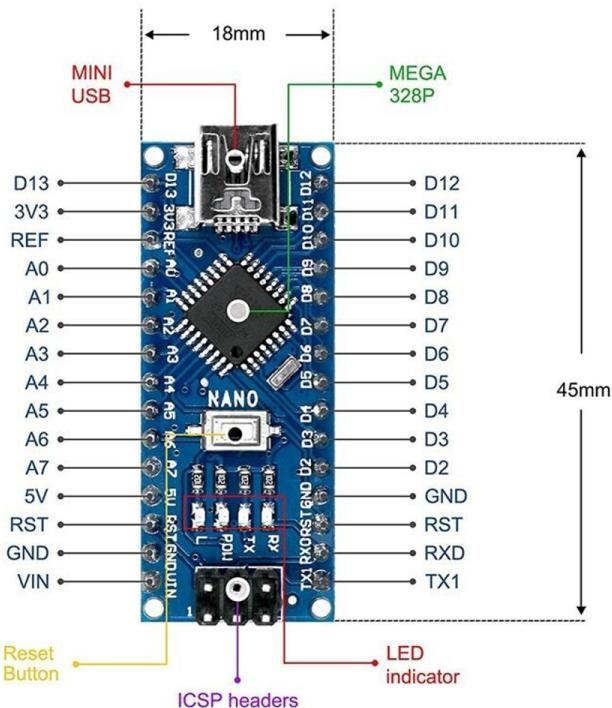


Рисунок 4.2 – Плата Arduino Nano и обозначения ее выводов

### 4.3 Подключение драйверов шаговых двигателей и моторов

Драйвер шагового двигателя A4988 работает от напряжения 8 - 35 В и может обеспечить ток до 1 А без радиатора[6]. Модуль A4988 имеет защиту от перегрузки и перегрева.

Одним из параметров шаговых двигателей является количество шагов на один оборот ( $360^\circ$ ). Драйвер A4988 позволяет увеличить это значение за счет управления промежуточными шагами и поддерживает пять режимов микрошага[6]: полный шаг или 1, полушаг или 1/2, 1/4, 1/8 и 1/16. Для выбора режима микрошага используются выводы MS1, MS2 и MS3 (рис. 4.3). В таблице 4.1 показано соответствие режимов микрошага и управляющих сигналов.

Для точного управления двигателем необходимо минимизировать шаг двигателя. Для шага 1/16 пины MS1, MS2 и MS3 модуля A4988 подключаются друг к другу и выводятся к pinу микроконтроллера 5V. Чтобы упростить управление и избежать случайного перехода драйвера в режим сна, выводы RESET и SLEEP соединяются вместе.

Для достижения более высоких скоростей шага, питание двигателя обычно выше, чем могло бы быть без активного ограничения тока.

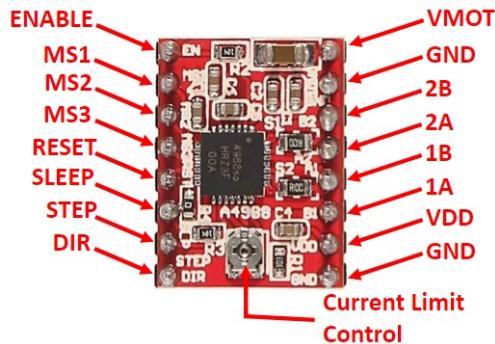


Рисунок 4.3 – Модуль драйвера шагового двигателя A4988

Таблица 4.1 – Режимы микрошага драйвера A4988 и состояния выводов MS1, MS2 и MS3 по уровню напряжения

Коэффициент дробления шага	MS1	MS2	MS3
Полный шаг (1)	Низкий уровень	Низкий	Низкий
Полушаг (1/2)	Высокий уровень	Низкий	Низкий
Четверть шага (1/4)	Низкий уровень	Высокий	Низкий
Восьмая часть шага (1/8)	Высокий уровень	Высокий	Низкий
Шестнадцатая часть шага (1/16)	Высокий уровень	Высокий	Высокий

Использование шагового двигателя от DVD-привода с питанием 12 В позволяет достичь более высоких скоростей работы, но для предотвращения повреждения двигателя ток должен быть ограничен до 1 А. Для этого на драйвере A4988 используется подстроочный потенциометр.

Один из способов установки ограничения тока — перевести драйвер в режим полного шага и измерить ток, проходящий через одну катушку двигателя, без синхронизации входа STEP. Измеренный ток будет в 0,7 раза больше ограничения тока, так как обе катушки двигателя всегда включены и ограничены на 70% от максимального тока в режиме полного шага. Другой способ — измерить напряжение непосредственно на верхней части потенциометра и рассчитать результирующее ограничение тока. Ограничение тока связано с опорным напряжением следующей пропорцией:

$$I_{max} = V_{REF} \times 1.25$$

Например, если опорное напряжение составляет 0,6 В, ограничение тока будет 0,75 А. Для получения тока катушки полного шага в 1 А ограничение тока должно быть:

$$1A/0,7 = 1,4A;$$

что соответствует опорному напряжению 1,12 В:

$$1,4A/1,25 = 1,12V.$$

#### 4.4 Подключение лазера

Как указывалось ранее, для питания лазером силы тока выходящей из пина микроконтроллера 5V недостаточно. Для увеличения мощности отрицательная полярность лазера (рис. 4.4) подключается к стоку транзистора IRFZ44N[7], а положительная к выходу стабилизатора напряжения.



Рисунок 4.4 – Лазерный модуль

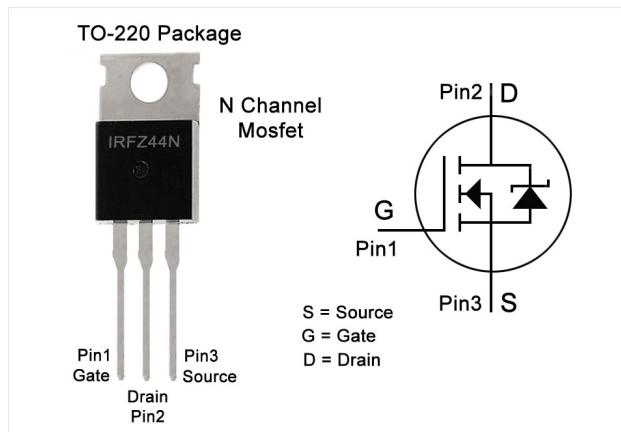


Рисунок 4.5 – МОП-транзистор IRFZ44N

Таким образом примерная мощность лазера составляет более 1,175 Вт. Также при установке лазера необходимо воспользоваться встроенным в него потенциометром и линзой[2]. Примерное рабочее расстояние фокусировки составляет от 5 до 8 см в зависимости от положения фокусирующей линзы.

## 5 РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

### 5.1 GRBL

Как упоминалось ранее, для управления лазерным станком используется прошивка GRBL. Для того чтобы установить ее на микроконтроллер, необходимо выполнить следующие шаги:

- 1 Скачать и установить Arduino IDE.
- 2 Подключить плату Arduino Nano к компьютеру.
- 3 Открыть Arduino IDE и выбрать плату Arduino Nano.
- 4 Скачать библиотеку GRBL с официального репозитория.
- 5 Установить библиотеку для Arduino IDE.
- 6 Загрузить прошивку на плату с помощью файла grblUpload.ino.

### 5.2 LaserGRBL

LaserGRBL — это бесплатное программное обеспечение с открытым исходным кодом для управления лазерными гравировальными станками, работающими на прошивке GRBL[8]. Программное обеспечение предоставляет интерфейс для настройки скорости передачи данных, отображает загруженное имя файла и прогресс гравировки, может оценивать время гравировки, а также позволяет вручную вводить команды G-кода. С помощью управления перемещением лазера и можно обеспечить точное позиционирование при настройке устройства. Кнопки сброса, поиска нуля и разблокировки упрощают управление, а функции приостановки и возобновления позволяют обезопасить человека, пользующегося станком. LaserGRBL поддерживает различные форматы файлов, которые можно конвертировать в G-код для выполнения гравировки:

- BMP;
- JPG;
- PNG;
- DXF;
- SVG.

Программу можно установить с официального сайта разработчика[8]. Для первого запуска станка, необходимо произвести его настройку в LaserGRBL. Вначале необходимо открыть программу и подключить микроконтроллер через порт USB Type-C к компьютеру. Далее программа сама найдет устройство и подключится к нему. Стандартные значения скорости передачи данных составляет 115200 бит/с, при необходимости ее нужно вернуть к этому значению. После подключения станка, необходимо ввести \$\$ и нажать клавишу Enter. В открывшемся окне необходимо ввести параметры из таблицы в Приложении Д.

## **6 РАЗРАБОТКА КОРПУСА**

### **6.1 Выбор материала и метода изготовления корпуса**

Для создания корпуса устройства была выбрана 3D-печать с помощью PET-G пластика. Этот выбор обусловлен несколькими причинами:

1 PET-G пластик обладает высокой механической прочностью, что обеспечивает нужную жесткость и точность всех компонентов устройства.

2 PET-G легко поддается обработке, что упрощает процесс 3D печати. А небольшая температура плавления позволяет корректировать устройство по мере его сборки.

3 Этот пластик широко доступен и относительно недорог, из-за чего он экономически выгоден для прототипирования и мелкосерийного производства.

4 Метод 3D печати позволяет быстро и легко вносить изменения в конструкцию корпуса, что особенно важно на этапе разработки и тестирования устройства.

Таким образом, PET-G пластик обеспечивает оптимальное сочетание прочности, устойчивости, экономичности и гибкости в дизайне.

### **6.2 Проектирование корпуса**

Как упоминалось ранее, суть гравировки заключается в поэтапном движении двух частей устройства: платформы с заготовкой (Ось Y) и лазера (Ось X). Чтобы заготовка не соскальзывала с платформы она фиксируется 8 магнитами с внешней и с обратной стороны платформы. Для правильного и точного движения платформы и лазера необходимо по две направляющих на каждый движущийся модуль. Для данной цели выбраны металлические направляющие DVD-привода, по которым выезжает отсек для DVD-диска.

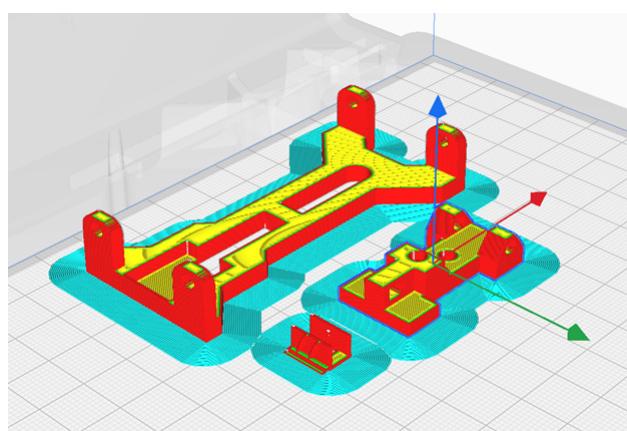


Рисунок 6.1 – Слайдер, зажим и посадочное место для двигателя

Так как направляющим соответственно передвигается сама платформа и держатель лазера, то необходимо обеспечить правильный механизм

передачи движения от мотора к модулям. Для этого сделаны специальные держатели для фиксации модулей на направляющих и небольшие зажимы (рис. 6.1), которые соединяют резьбу шагового двигателя и держатели модулей.

Чтобы зафиксировать лазер, двигатель и пластиковые передвигающиеся по Оси X модули были сделаны две стойки, между которыми и закрепляется данная конструкция.

В качестве крепления для мотора Оси Y и стоек спроектировано прямоугольное основание, показанное на рисунке 6.2, с выемкой для мотора и платформы.

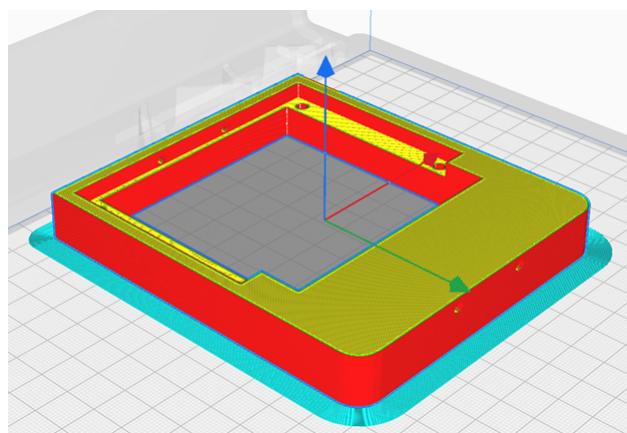


Рисунок 6.2 – Основание устройства

Для платы предусмотрено отдельное крепление за модулем лазера и его шаговым мотором.

Суммарные затраты пластика составили 126 грамм, а время печати порядка 7,5 часов (рис. 6.3).

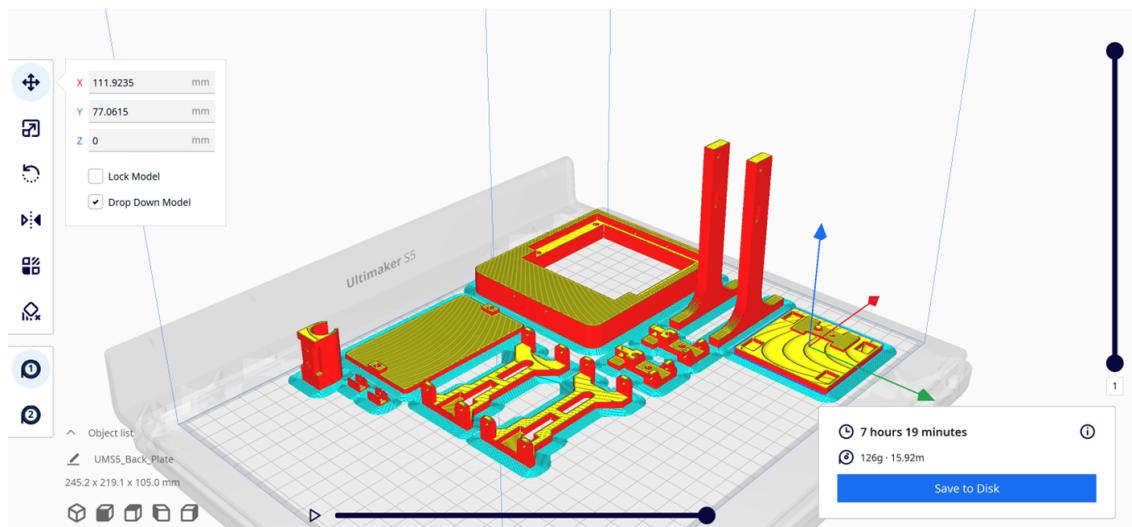


Рисунок 6.3 – Расчет времени печати и количества материала для корпуса

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проекта были разработаны и реализованы схемотехнические решения для лазерной гравировки и числового программного управления (ЧПУ). Были созданы методы преобразования уровней сигналов, обеспечивающие согласование различных напряжений, а также разработаны схемы управления шаговыми двигателями и лазером. Эти решения позволяют точно и эффективно управлять процессом гравировки, что упрощает и ускоряет процесс создания высококачественных изделий.

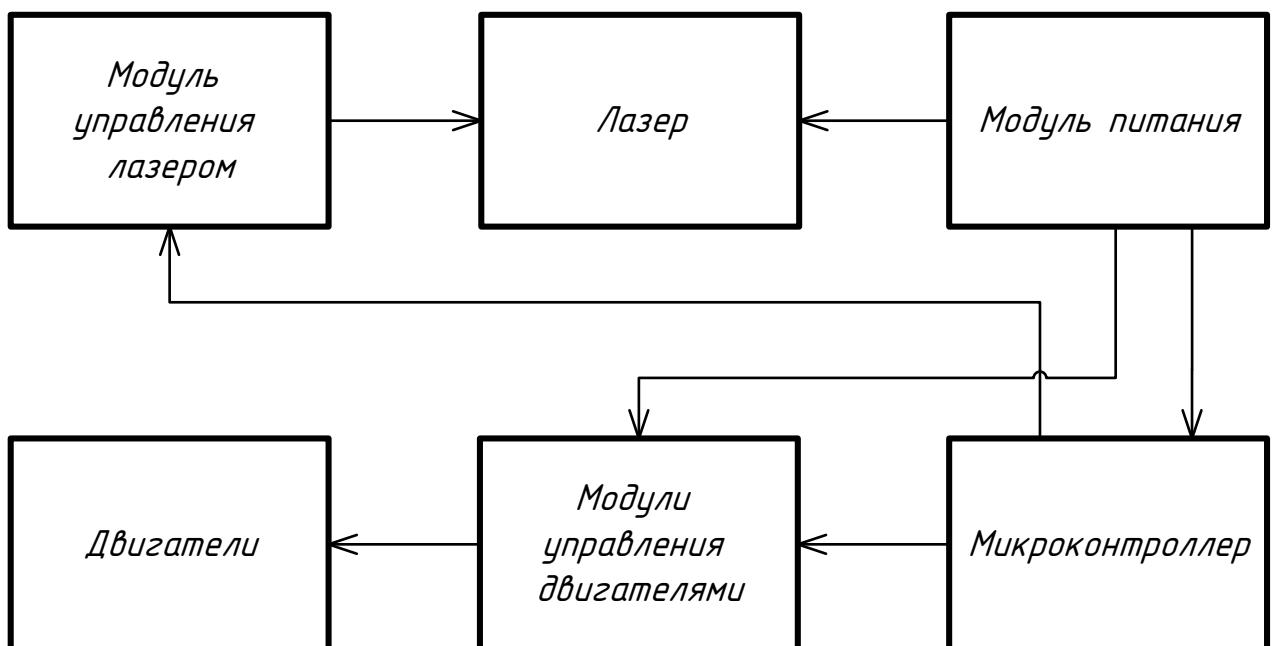
Подход, разработанный в рамках данного проекта, имеет потенциал в сравнении с уже существующими решениями на рынке лазерных гравировальных станков. Такие технические аспекты важны для современной индустрии производства и прототипирования, где лазерная гравировка играет значительную роль.

В завершение, можно отметить, что данный проект демонстрирует важность исследований в области схемотехники и автоматизации. Наши усилия направлены на создание решений, которые способствуют более эффективной и доступной работе ЧПУ станков, что является большим вкладом в развитие данной отрасли.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- [1] П. Хоровиц, У. Хилл. Искусство Схемотехники. 4-е изд / У. Хилл П. Хоровиц. — Мир, 1993. — С. 8 – 180.
- [2] В.С. Тимошенко, С.А. Байрак. Конспект лекций по курсу «Схемотехника» / С.А. Байрак В.С. Тимошенко. — БГУИР, Кафедра ЭВМ, 1993. — С. 17 – 93.
- [3] Г.И.Волович. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств / Г.И.Волович. — Издательский дом «Додэка-XXI», 2005. — С. 213 – 260.
- [4] LM7805 Datasheet [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/LM7805.pdf>. — Дата доступа : 06.12.2024.
- [5] Arduino Nano Datasheet [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000005-datasheet.pdf>. — Дата доступа : 06.12.2024.
- [6] A4988 DMOS Microstepping Driver Datasheet [Электронный ресурс]. — Режим доступа : [https://www.pololu.com/file/0j450/a4988\\_dmos\\_microstepping\\_driver\\_with\\_translator.pdf](https://www.pololu.com/file/0j450/a4988_dmos_microstepping_driver_with_translator.pdf). — Дата доступа : 06.12.2024.
- [7] IRFZ44N MOSFET Datasheet [Электронный ресурс]. — Режим доступа : [https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-IRFZ44N-DataSheet-v01\\_01-EN.pdf?fileId=5546d462533600a40153563b3a9f220d](https://www.infineon.com/dgdl/Infineon-IRFZ44N-DataSheet-v01_01-EN.pdf?fileId=5546d462533600a40153563b3a9f220d). — Дата доступа : 06.12.2024.
- [8] LaserGRBL [Электронный ресурс]. — Режим доступа : <https://lasergrbl.com>. — Дата доступа : 06.12.2024.

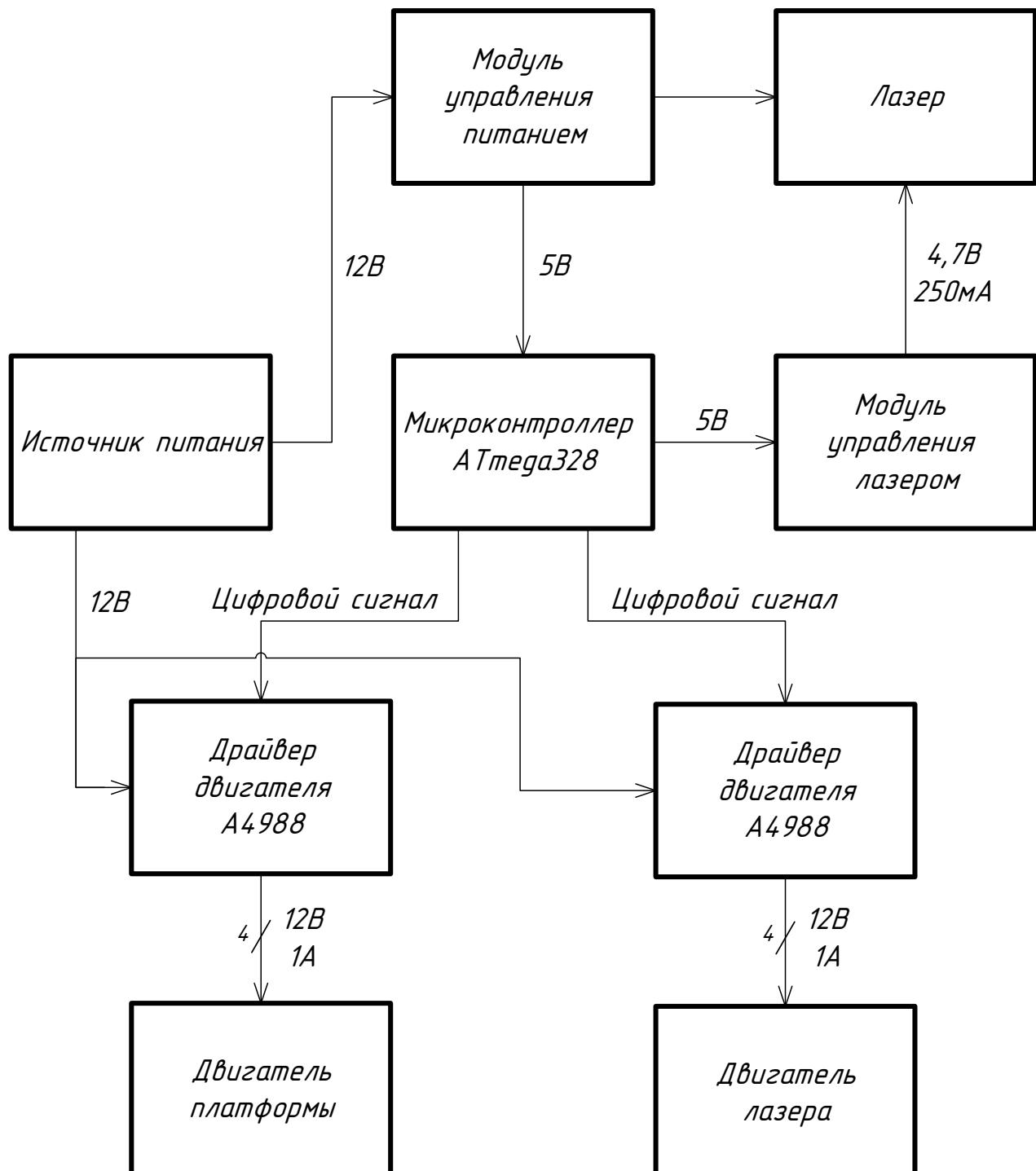
**ПРИЛОЖЕНИЕ А**  
**(обязательное)**  
**Схема электрическая структурная**



Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Горох		
Проф.		Стракович		
Т. контр.				
Реценз.				
Н. контр.				
Утв.				

Лазерный гравировальный станок. Схема электрическая структурная		Лит.	Масса	Масштаб
		T		
Лист	Листов			
	1			
				ЭВМ, гр. 250502

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**  
**(обязательное)**  
**Схема электрическая функциональная**



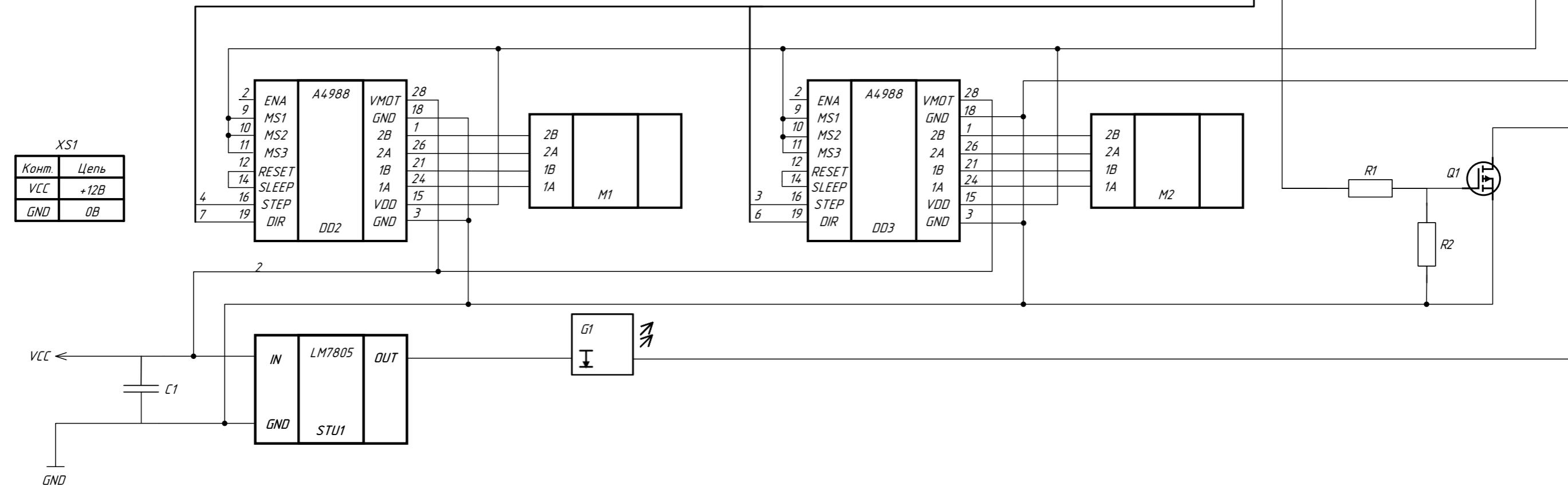
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Горох		
Проф.		Стракович		
Т. контр.				
Реценз.				
Н. контр.				
Утв.				

Лазерный гравировальный станок.  
Схема электрическая  
функциональная

Лит.	Масса	Масштаб
T		
Лист	Листов	1

ЭВМ, гр. 250502

**ПРИЛОЖЕНИЕ В**  
**(обязательное)**  
**Схема электрическая принципиальная**



Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Лазерный гравировальный станок. Схема электрическая принципиальная		Лит.	Масса	Масштаб
Разраб.	Горох						T		
Проб.	Стракович								
Т. контр.									
Реценз.									
Н. контр.									
Чтв.									
						ЭВМ, гр. 250502			

**ПРИЛОЖЕНИЕ Г  
(обязательное)  
Перечень элементов**

Зона	Поз. обозна- чение	Наименование	Кол.	Примечание
		<u>Двигатели</u>		
	M1, M2	Шаговые двигатели 082ACP D7212X10	2	
		<u>Конденсаторы</u>		
	C1	Конденсатор электролитический 1000мкФ 16В	1	
		<u>Контактные соединения</u>		
	XS1	Клеммник разъемный DG332K	1	
		<u>Лазеры</u>		
	G1	Лазерный модуль 650 нм	1	
		<u>Микросхемы</u>		
	DD1	Arduino Nano, микроконтроллер ATMEGA328P	1	
	DD2, DD3	Драйвер шагового двигателя A4988	2	
		<u>Резисторы</u>		
	R1	Резистор 470м ±5% 0.5Вт	1	
	R2	Резистор 10кОм ±5% 0.25Вт	1	
		<u>Стабилизаторы напряжения</u>		
	STU1	Линейный стабилизатор напряжения LM7805	1	
		<u>Транзисторы</u>		
	Q1	Полевой транзистор IRFZ44N	1	

ГЧИР.400201.207 ПЭЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Год	Лит.	Лист	Листов
Разраб.	Горох					T		
Проф.	Стракович							1
Т. контр.								
Н. контр.								
Утв.								
<i>Лазерный гравировальный станок. Перечень элементов</i>					ЭВМ, гр. 250502			

**ПРИЛОЖЕНИЕ Д**  
**(обязательное)**  
**Таблица конфигурации LaserGRBL**

Таблица 6.1 – Параметры настройки LaserGRBL

Обозначение	Значение	Параметр, система измерения
\$0	10	Длительность импульса шага, мкс
\$1	25	Задержка простоя шага, мс
\$2	0	Маска инверсии порта шага: 00000000
\$3	6	Маска инверсии порта направления: 00000110
\$4	0	Инверсия включения шага, bool
\$5	0	Инверсия пинов ограничений, bool
\$6	0	Инверсия пина зонда, bool
\$10	1	Маска отчета состояния: 00000001
\$11	0.010	Отклонение соединения, мм
\$12	0.002	Допуск дуги, мм
\$13	0	Отчет в дюймах, bool
\$20	0	Легкие ограничения, bool
\$21	0	Жесткие ограничения, bool
\$22	0	Цикл поиска нуля, bool
\$23	0	Маска инв. направления поиска нуля: 00000000
\$24	25.000	Скорость поиска нуля, мм/мин
\$25	500.000	Скорость поиска, мм/мин
\$26	250	Задержка поиска нуля, мс
\$27	1.000	Отступ поиска нуля, мм
\$30	256	Максимальная скорость шпинделя, мм/мин
\$31	0	Минимальная скорость шпинделя, мм/мин
\$32	1	Включение лазера, bool
\$100	110.000	X, шаги/мм
\$101	110.000	Y, шаги/мм
\$102	110.961	Z, шаги/мм
\$110	500.000	Максимальная скорость X, мм/мин
\$111	500.000	Максимальная скорость Y, мм/мин
\$112	500.000	Максимальная скорость Z, мм/мин
\$120	10.000	Ускорение X, мм/с <sup>2</sup>
\$121	10.000	Ускорение Y, мм/с <sup>2</sup>
\$122	10.000	Ускорение Z, мм/с <sup>2</sup>
\$130	40.000	Максимальный ход X, мм
\$131	40.000	Максимальный ход Y, мм
\$132	40.000	Максимальный ход Z, мм

**ПРИЛОЖЕНИЕ Е**  
**(обязательное)**  
**Ведомость документов**

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
<i>Разраб.</i>	<i>Горох</i>			
<i>Проб.</i>	<i>Стрековиц</i>			
<i>Т. контр.</i>				
<i>Н. контр.</i>				
<i>Утв.</i>				

БГУИР КП 1-40 02 01 207 д1

## *Лазерный гравировальный станок. Ведомость документов*

<i>Лист.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
1	1	1

*ЭВМ, гр. 250502*