

**ВСЕРОССИЙСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ
«МОЙ ВКЛАД В ВЕЛИЧИЕ РОССИИ»**

Направление работы: физика

Тема: «Разработка LED-контроллера для адресных светодиодных лент»

Автор: Выскребенцев Станислав Вячеславович

Научный руководитель: Сопко Евгения Валерьевна

Место выполнения работы: МБОУ СОШ №1 имени Чернявского Якова Михайловича станицы Крыловской муниципального образования Крыловский район Краснодарского края

2023

Содержание

Введение.....	6
1. Теоретическое обоснование темы проекта.....	7
1.1 Что такое адресная светодиодная лента.....	7
1.2 Основной принцип работы RGB светодиодных лент.....	7
1.3 Принцип работы адресной светодиодной ленты.....	7
1.4 Готовые решения.....	8
1.5 Что должен уметь мой контроллер	8
2. Практическое описание проекта	9
2.1 Разработка структурной схемы.....	9
2.2 Выбор элементной базы.....	9
2.3 Прошивка и принцип работы.....	10
2.4 Сборка и тестирование устройства.....	11
2.5 Анализ результатов и выявление недостатков.....	11
2.6 Экономическая оценка готового изделия.....	12
Заключение.....	13
Список использованной литературы и интернет-источников	14
Приложение 1.....	15
Приложение 2.....	17
Приложение 3.....	18
Приложение 4.....	19

Паспорт проекта

№ п/п	Наименование пункта	Описание		
1.	Название проекта	«Разработка LED-контроллера для адресной светодиодной ленты».		
2.	Автор проекта	Выскребенцев Станислав Вячеславович тел.: 8-962-854-93-54 email: stas.vyskrebentsev@mail.ru		
3.	Аннотация проекта	<p>Основная идея: проект направлен на облегчение условий эксплуатации адресных светодиодных лент, что в перспективе может поспособствовать началу их применения в учебных и не только учреждениях для проведения общественных мероприятий с различными световыми эффектами.</p> <p>Целевая аудитория: обучающиеся МБОУ СОШ № 1.</p> <p>География реализации проекта: РФ, Краснодарский край, Крыловский район, станица Крыловская.</p>		
4.	Участники проекта	Обучающиеся 10 класса МБОУ СОШ № 1		
5.	Руководители проекта	Сопко Е.В. – учитель физики МБОУ СОШ № 1.		
6.	Проблема, на решение которой направлен проект	Отсутствие на рынке бюджетного и одновременно качественного устройства для управления адресными светодиодными лентами		
7.	Цель проекта	Создание технологического устройства для удобной работы с адресными светодиодными лентами		
8.	Задачи проекта	<ul style="list-style-type: none"> - ознакомиться с принципом работы умных адресных светодиодных лент, изучив соответствующую литературу; - определиться с выбором платформы для разработки указанного управляющего устройства; - на основе этой платформы сделать прошивку для микроконтроллера и сконструировать само устройство; - провести испытания и выявить недостатки; - предоставить рабочий экземпляр обсуждаемого устройства. 		
9.	Сроки реализации проекта	Сроки	Мероприятия	Ответственные
		Подготовительный этап		

		Ноябрь-декабрь 2022 г.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Изучение дополнительной литературы. 2. Подбор деталей для будущего устройства и сравнение цен на них в разных интернет – магазинах. 3. Закупка необходимых деталей по наименьшей стоимости. 	Сопко Е.В. Выскребенцев С. Родители
		Основной этап		
		Январь 2023 г.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Написание прошивки для микроконтроллера. 2. Сборка прибора без корпуса. 3. Продумывание корпуса и его приобретение. 4. Упаковка микроконтроллера в корпус. 5. Испытания готового изделия. 	Выскребенцев Станислав
		Аналитический этап		
		Февраль 2023 г.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Подготовка презентации по ходу реализации проекта. 2. Опрос мнения учащихся школы (одноклассников) о результатах реализации проекта. 3. Подготовка отчета о проделанной работе для школьной конференции по защите проектов. 4. Участие во Всероссийском конкурсе «Мой вклад в величие России». 	Сопко Е.В. Выскребенцев С. Учащиеся 10-класса МБОУ СОШ №1
10.	Ресурсное обеспечение проекта	<p>Материальные ресурсы:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Платформа Arduino Nano – 180 руб. • Резисторы, конденсаторы и остальная обвязка –150 руб. • 5 метров адресной светодиодной ленты WS2812 – 1845 руб. <p>Технические ресурсы:</p> <ul style="list-style-type: none"> • персональный компьютер, телефон с видеокамерой и фотоаппаратом. 		

		<p>Кадровые ресурсы:</p> <ul style="list-style-type: none"> • обучающиеся школы; • педагогический коллектив; <p>Методические ресурсы:</p> <ul style="list-style-type: none"> • библиотечные фонды МБОУ СОШ № 1 и Крыловской поселенческой библиотеки; • Тематические статьи из интернет-источников;
11.	Источники и объём финансирования	<ol style="list-style-type: none"> 1. Личные сбережения – 2000 руб. 2. Помощь родителей – 200 руб.
12.	Ожидаемые результаты проекта	Будет создано удобное, дешевое устройство, способное работать с адресными светодиодными лентами и иметь не один режим статичной и анимированной подсветки.

Введение

В настоящее время повсеместно используются системы светодиодного освещения. Но, как ни странно, самая передовая и “навороченная” система адресного управления отдельными светодиодами в световом оборудовании используется довольно редко. Это обусловлено рядом технических причин, одной из которых является обязательное наличие сложного LED-контроллера. Поэтому основной идеей этого проекта является создание такого технологического устройства, которое сможет реализовать весь потенциал умных светодиодных лент за небольшие деньги.

LED-контроллер – это технологическое устройство, в задачи которого главным образом входит управление цветами светодиодной ленты и интенсивностью её свечения. Продвинутое версии таких контроллеров могут воспроизводить динамические световые сцены и, благодаря своему расширенному функционалу, позволяют очень тонко их кастомизировать.

Цель проектной работы: создание технологического устройства для удобной работы с адресными светодиодными лентами.

В процессе работы мною решались следующие **задачи**:

- ознакомиться с принципом работы умных адресных светодиодных лент, изучив соответствующую литературу;
- определиться с выбором платформы для разработки указанного управляющего устройства;
- на основе этой платформы сконструировать прибор;
- провести испытания и выявить недостатки;
- предоставить рабочий экземпляр устройства;

Практическая значимость: спектр применения адресных светодиодных лент также широк, как и у обычных RGB лент. Их применяют для декоративной подсветки различных объектов, салонов автомобилей, для декорирования интерьера и особенно активно применяют при оформлении рекламных вывесок. Благодаря возможности управления каждым светодиодом по отдельности с помощью адресных светодиодных лент можно составлять целые ленты для демонстрации текста или даже огромные панели для полноценного показа цветных изображений. На основе адресных светодиодных лент собирается большинство уличных телевизионных панелей для показа видеорекламы.

Глава 1. Теоретическое обоснование темы проекта

1.1 Что такое адресная светодиодная лента?

Адресная светодиодная лента – это гибкая печатная плата, которая заполнена разноцветными адресуемыми поверхностными (SMD) светодиодами. Гибкая печатная плата обычно имеет клейкую подложку, что облегчает быструю и простую установку. В отличие от стандартной ленты RGB, каждый светодиод имеет свою собственную микросхему, которая позволяет управлять им для индивидуальной реакции (например, изменение цвета, выключение и т. Д.). Пиксельная лента все еще может делать все, что может делать стандартная лента RGB, только больше.[4]

1.2 Основной принцип работы RGB светодиодных лент

В большинстве случаев алгоритм работы RGB светодиодных лент выглядит следующим образом: Трехцветный светодиод внутри ленты по соответствующим RGB контактам (R–красный, G–зеленый, B–синий) подключается к контроллеру, который подаёт напряжение на один из этих контактов и зажигает светодиод определённым цветом. В результате смешивания основных трех цветов можно получить любой другой цвет или его оттенок.

Именно такой принцип цветовоспроизведения лежит в основе большинства RGB светодиодных лент. Но по способу управления светодиодные ленты разделяют на два типа: **адресные**, которые позволяют в отдельности управлять каждым своим светодиодом, и **обычные**, светодиоды в которых соединены параллельно и не имеют возможности тонкой настройки.

В рамках этого проекта я буду разрабатывать контроллер только для первого вышеуказанного типа светодиодных лент, т.к. усматриваю в нём больше потенциала и возможностей для кастомизации.[3]

1.3 Принцип работы адресной светодиодной ленты

“Умные” адресные светодиодные ленты, как и обычные, воспроизводят цвета в стандартной цветовой модели RGB. Их действительно уникальное отличие находится в строении самих светодиодов. Внутри каждого распаянного светодиода, по сути, находится целый микроконтроллер, который и позволяет так гибко управлять всей лентой. Работает такой микроконтроллер по специальному протоколу. Чтобы не сильно вдаваться в подробности, я примерно объясню, в чем заключается суть его работы. Итак, на управляющий контакт светодиода, в котором, как вы уже знаете, находится микроконтроллер, приходит сигнал, состоящий из последовательного ряда нулей и единиц (т.е. двоичный код). Всего в этой последовательности 24 цифры,(или 24 бита, 8 бит из которых приходятся на каждый из трех цветов RGB) которые шифруют определённый цвет. Как только одна такая последовательность полностью приходит на первый светодиод-микроконтроллер, он расшифровывает её и загорается указанным в ней цветом. Следующие приходящие последовательности передаются через него уже

другим светодиодам-микроконтроллерам. Пока первый светодиод не расшифрует полную последовательность, он не будет передавать данные последующим светодиодам.[2]

Именно по такому принципу реализовано управление каждым отдельным светодиодом, что в купе позволяет создавать на этом типе светодиодных лент просто невероятные эффекты.

1.4 Готовые решения

Прежде чем приступить к проектированию устройства, предлагаю ознакомиться с готовыми вариантами, которые можно приобрести в интернет-магазинах, чтобы проанализировать их техническое оснащение. К примеру, на сайте OZON по цене в 1488 рублей предлагается к приобретению контроллер SP107E[1], который обладает следующим функционалом:

- 1) Возможность работы с любым размером адресной светодиодной ленты
- 2) Возможность дистанционного управления по Bluetooth, Wi-Fi или комплектному пульту
- 3) Наличие режимов статичной и анимированной подсветки
- 4) Наличие режима светомузыки

Из приведенного перечня можно выделить то, что контроллер умеет задавать статичные и динамические световые сцены, а также отрисовывать на ленте проекции звуковых колебаний (по-другому это называется светомузыкой или VU-метром). Безусловно, наличие этих функций относится к преимуществам данной модели, поэтому я попробую реализовать их в своем проекте. Возможность работы по Bluetooth, Wi-Fi или с комплектного пульта я расцениваю как необязательные опции для комфортного использования, поэтому от них с финансовой точки зрения будет логично отказаться.

1.5 Что должен уметь мой контроллер

Итак, после ознакомления с существующими на рынке решениями можно выделить основные моменты, которые должны быть реализованы в этом проекте:

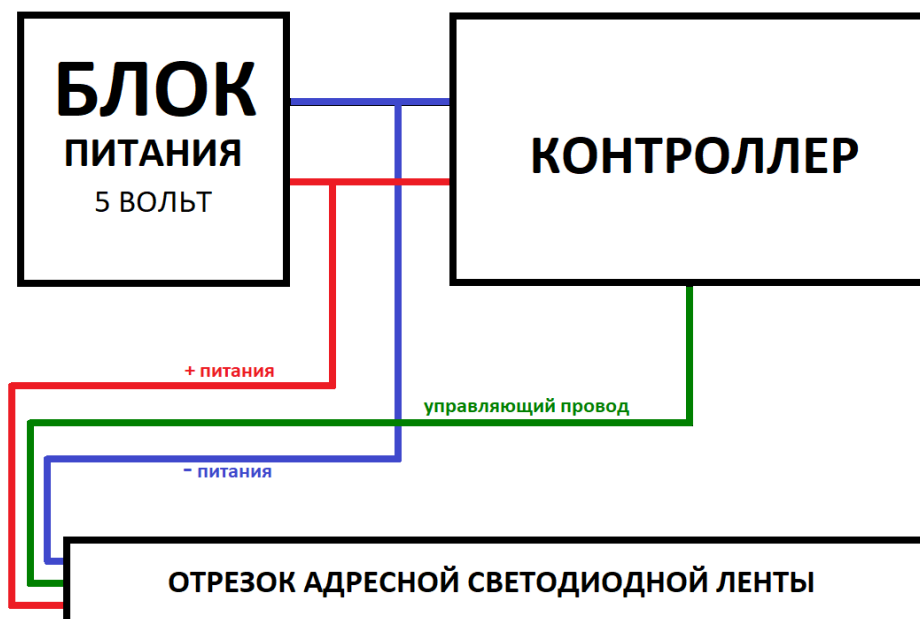
- 1) Устройство должно уметь работать с адресной светодиодной лентой
- 2) Должны присутствовать режимы статичной и анимированной подсветки
- 3) Обязательно наличие режима со светомузыкой
- 4) Управление прибором должно быть удобным и понятным
- 5) Себестоимость проекта не должна превышать цены на готовое изделие

Глава 2. Практическое описание проекта

2.1 Разработка структурной схемы

Проектирование устройства я начал с составления общей концептуальной схемы, чтобы примерно понимать, что требуется от проекта.

Итак, схематично установка будет выглядеть следующим образом: адресная светодиодная лента по своим питающим контактам должна быть подключена к источнику постоянного напряжения, а её управляющий контакт непосредственно к контроллеру, который так же будет питаться от того же источника.

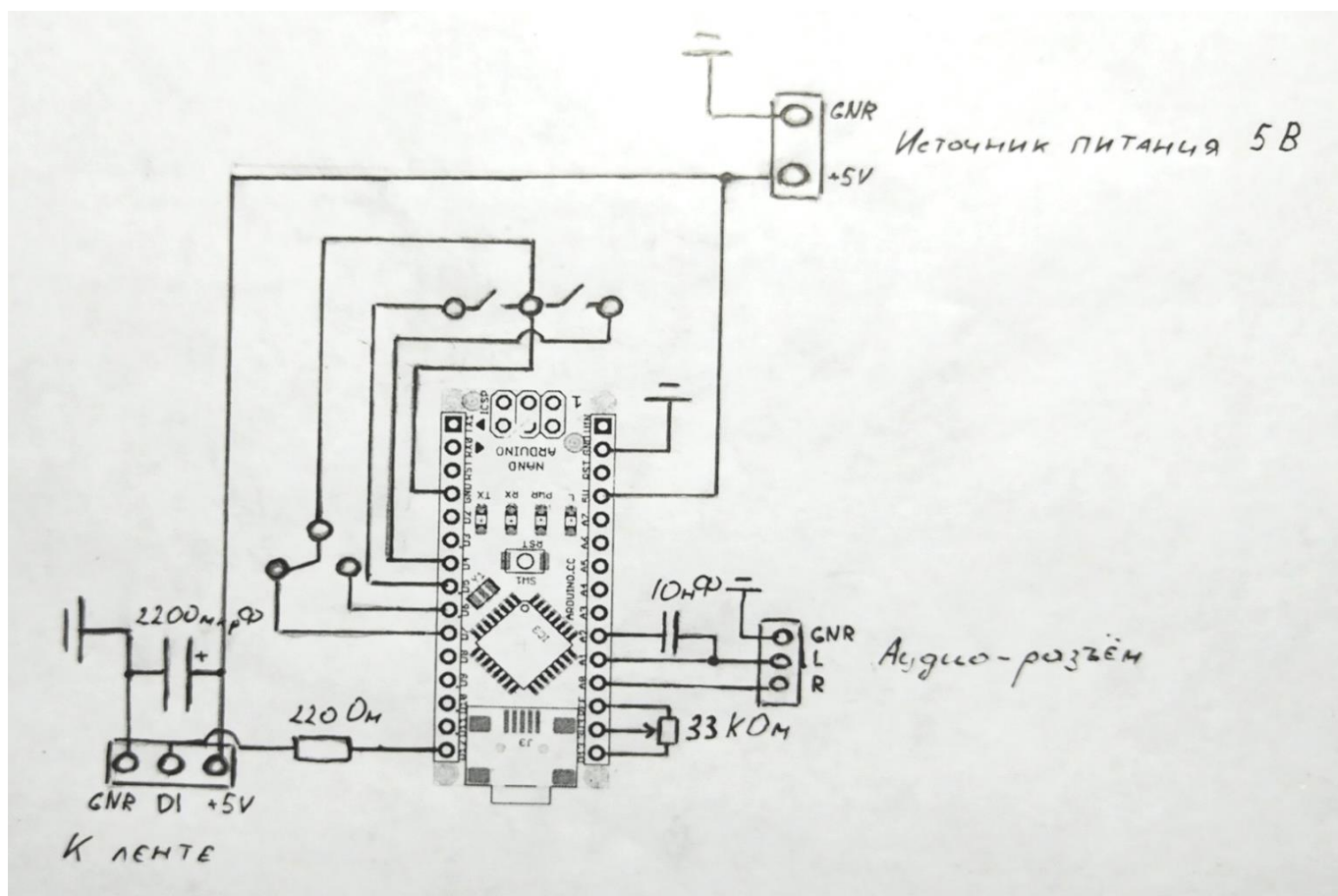


Согласно этому плану, в схеме должен присутствовать дополнительный источник постоянного напряжения, который не будет разрабатываться в этом проекте. Он будет взят отдельным устройством в виде зарядного устройства от смартфона. Я сконцентрировался только на создании самого контроллера.

2.2 Выбор элементной базы

За основу был выбран микроконтроллер Arduino модели Nano на базе микросхемы ATmega328P (приложение 1, рисунок 1), так как его функционал полностью удовлетворяет требованиям проекта. В качестве представителя умных светодиодных устройств была взята лента на чипах WS2812 (приложение 1, рисунок 2). Так же для корректной работы ленты и микроконтроллера была приобретена обвязка в виде конденсатора электролитического, номиналом 2200мкФ (приложение 1, рисунок 3); конденсатора плёночного неполярного на 10 нФ (для режима светомузыки) (приложение 1, рисунок 4); резистора на 220 Ом (защита для цифрового пина Arduino) (приложение 1, рисунок 5); переменного резистора на 33 кОм (приложение 1, рисунок 6); 2 кнопки и тумблера для управления (приложение 1, рисунки 7 и 8), а так же аудио-разъёма (приложение 1, рисунок 9).

После закупки всех необходимых элементов была разработана принципиальная схема проекта:



Принципиальная схема проекта

2.3 Прошивка и принцип работы

В программной среде Arduino IDE мной была написана прошивка для микроконтроллера, скриншоты ее частей можно увидеть на фото 1 и 2 в приложении 2. В данной прошивке я реализовал:

1) 5 режимов статичной подсветки, из которых на выбор доступны красный, зеленый, синий, фиолетовый и бирюзовый цвета (Дополнительно можно настроить любой другой).

2) 5 режимов динамической подсветки, из которых на выбор доступны режим огня, бегущей радуги, режим плавной смены цветов, режим цикличного затухания красного цвета (или другого на выбор), а так же, как я его назвал, режим “рандомизатор”, который через определённый отрезок времени зажигает случайный светодиод случайным цветом.

3) 6 режимов светомузыки, из которых на выбор доступны: красно-желтый VU-метр, радужный VU-метр, режим деления на НИЗКИЕ-СРЕДНИЕ-ВЫСОКИЕ частоты соответствующим КРАСНЫМ-ЗЕЛЕНЫМ-ЖЕЛТЫМ цветом в 5 секций, такой же режим деления на частоты в 3 секции, ещё один в 1 секцию, и последний режим стробоскопов (Постоянное мерцание белым цветом).

Управление и логика работы будут происходить следующим образом: после включения контроллера необходимо привести тумблер в одно из двух положений. В первом положении тумблера будут доступны 5 статичных и 5 анимированных режимов подсветки, которые можно будет сменять нажатием на первую и вторую кнопку. Во втором положении тумблера будут доступны все режимы светомузыки, которые можно будет сменять только нажатием на первую кнопку.

Стоит сказать, что режим светомузыки был написан не мной, а взят из открытого источника в интернете [6], и интегрирован в прошивку этого проекта.

2.4 Сборка и тестирование устройства

После того, как программа для микроконтроллера была написана, настал черед сборки и тестирования моего устройства. Все необходимые элементы, согласно принципиальной схеме, были спаяны (приложение 3, рисунок 1) и вмонтированы в белый непрозрачный корпус размером 57x40x20 мм (приложение 3, рисунок 2). В дальнейшем уже готовое и собранное устройство было подключено к светодиодной ленте (приложение 3, рисунок 3) и проверено на работоспособность. Как и ожидалось, все интегрированные в прошивку режимы работали согласно указанной в пункте 2.4 логике. С работой моего устройства и полученными режимами подсветки можно ознакомиться на рисунках 1-6 в приложении 4. Но, к сожалению, анимированные режимы не удалось передать с помощью фотографии. При защите проекта будет приложено в презентации видео с их работой.

2.5 Анализ результатов и выявление недостатков

В итоге после всех проделанных манипуляций на выходе я получил устройство, которое может работать и работает с умными адресными светодиодными лентами. Все перечисленные задуманные режимы работают должным образом и не вызывают никаких нареканий. Но несмотря на это, у проекта всё же имеются несколько важных недостатков, по большей части вызванных особенностями выбранной платформы. Итак:

- 1) Если пользователя не устроят доступные режимы подсветки ленты, то чтобы их изменить, придется редактировать исходный код прошивки микроконтроллера с помощью программной среды ArduinoIDE.
- 2) В этой же программе перед началом работы с контроллером нужно указать точное количество светодиодов в ленте, иначе отрисовка будет происходить некорректно.
- 3) Устройство, с которого будет подаваться звук на контроллер в режиме светомузыки должно иметь минимум 2 аналоговых аудио выхода или звуковой провод должен проходить через тройник / разветвитель, чтобы можно было одновременно слушать музыку и наслаждаться анимированной в такт подсветкой.

В принципе, это все минусы и недостатки проекта, которые мне удалось выявить.

2.6 Экономическая оценка готового изделия

Таблица 1.

№	Элементы прибора	Цена на элементы
1.	Arduino Nano	180 руб.
2.	Адресная светодиодная лента WS2812	1845 руб.
3.	Конденсатор электролитический 2200 мкФ	33 руб.
4.	Конденсатор пленочный неполярный 10 нФ	9 руб.
5.	Резистор 220 Ом 0.25 ватт	8 руб.
6.	Переменный резистор 33 кОм	50 руб.
7.	2 Кнопки и тумблер	30 руб.
8.	Аудио-разъём	20 руб.
	ИТОГО	2175 руб.
	Стоимость светодиодной ленты с контролером в интернет-магазинах	3300 руб.

Вывод: маркетинговые исследования показали, что при подсчете затрат на сборку изделия самому необходимо меньше средств, чем на приобретение готовой продукции. Технология изготовления не слишком сложна, а в магазине не всегда подберешь подходящее изделие, и цена в несколько раз больше.

Заключение

В ходе выполнения проекта мной было разработано и собрано технологическое устройство для удобной работы с адресными светодиодными лентами.

Устройство соответствует задуманной идеи, конструкция отличается оригинальностью, несложностью в изготовлении и небольшими затратами на приобретение материала для его выполнения. Изделие полностью готово к эксплуатации.

На мой взгляд, разработанное мною изделие получилось вполне удачным. Если обратиться к краткой формулировке задачи, то работа соответствует поставленной задаче, т.е. для ее изготовления мне не потребовалось много времени, оно хорошо вписывается в интерьер моей комнаты, оно имеет небольшие размеры, и одно из самых главных достоинств - то, что на ее изготовление не потребовалось много денег.

Процесс изготовления в целом прошел удачно.

Перспективы развития моего проекта:

Чтобы упростить первичную настройку контроллера (т.е. решить проблему с обозначением точного количества светодиодов), планирую приобрести и подключить четырехсекционный семисегментный дисплей для удобного «общения» с устройством.

Я принес свой прибор вместе со светодиодной лентой и включил всё устройство на школьной конференции при защите своего проекта. Моим одноклассникам и членам комиссии очень понравилась светомузыка, поэтому я решил подарить этот прибор школе, чтобы мероприятия, особенно вечерние дискотеки, проводимые для нас, теперь были оформлены красиво и интересно.

Список использованной литературы и интернет-источников

1. Контроллер SP107E: https://www.ozon.ru/product/wi-fi-rgb-sp107e-pixel-ic-spi-muzykalnyy-kontroller-bluetooth-dlya-ws2812-sk6812-sk9822-rgbw-apa102-809598779/?asb=ZJAXZbdvsoUwKvhmGeJhlxIXCtwnwpsbcWm%252F0VJZsHA%253D&asb2=MsVpNdQ3Mr8IQAGRyObpZeeInUdudI94ZNpDUt7ErLBWWcu9TdJn6qUAbisztZaz&avtc=1&avte=2&avts=1676310053&keywords=ws2812+контроллер&sh=ddQB__6isg
2. Статья про адресную светодиодную ленту: <https://habr.com/ru/post/502712/>
3. Адресная Spi лента, бегущий огонь или пиксельная лента – что это за зверь?! <https://eldomocom.ru/spravochnik/adresnaya-spi-lenta-begushhij-ogon-ili-pikselnaya-lenta-cto-eto-za-zver>
4. Что такое адресные светодиоды и как с ними работать <https://dzen.ru/a/YTdG-FoVGEqEuTmf>
5. Адресные светодиоды и светодиодные ленты - как устроены и работают, подключение и управление <http://elektrik.info/main/lighting/1602-adresnye-svetodiody-i-svetodiodnye-lenty.html>
6. Крутая Цветомузыка Своими Руками / <https://alexgyver.ru/colormusic/>

Элементная база

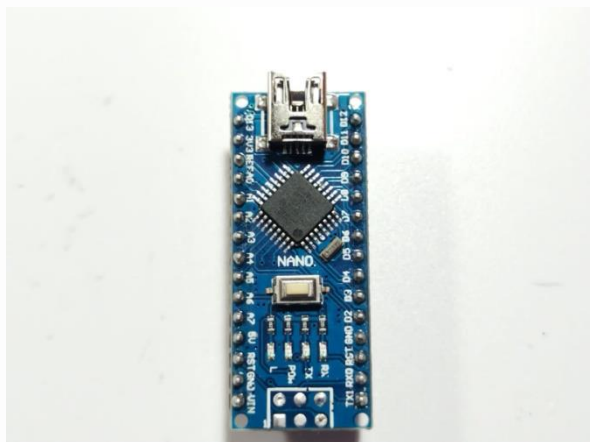


Рисунок 1. Микроконтроллер Arduino модели Nano на базе микросхемы ATmega328P



Рисунок 2. Светодиодная лента



Рисунок 3. Конденсатор электролитический ёмкостью 2200мкФ



Рисунок 4. Конденсатор плёночный неполярный ёмкостью 10 нФ

Элементная база



Рисунок 5. Резистор сопротивлением 220 Ом



Рисунок 6. Подстроечный резистор сопротивлением 33 кОм



Рисунок 7. Кнопки



Рисунок 8. Тумблер



Рисунок 9. Аудио-разъем

Скриншоты прошивки для микроконтроллера

```

LED_CONTROLLER$ FUNCTIONS LED_EFFECTS
/*Перед вами находится изнанка прошивки проекта по разработки LED-контроллера для
 * умных адресных светодиодных лент
 * -----
 * создатель: Вискребенцев С.В.
 * Все права защищены ©
 */
|

// пины
#define LED_PIN 12 // пин ленты
#define NUM_LEDS 140 // количество светодиодов в ленты
#define SOUND_R A2 // аналоговый пин вход аудио, правый канал
#define SOUND_L A1 // аналоговый пин вход аудио, левый канал
#define SOUND_R_FREQ A3 // аналоговый пин вход аудио для режима с частотами (через кондер)
#define BTN_PIN 4 // кнопка переключения режимов (PIN --- КНОПКА --- GND)
#define BTN_PIN2 5 // вторая кнопка переключения режимов
#define TMB_PIN 6 // пин тумблера в первом положении
#define TMB_PIN2 7 // пин тумблера во втором положении
#define POT_GND A0 // пин земля для потенциометра

// настройки радуги
#define RAINBOW_SPEED 2 // скорость движения радуги (чем меньше число, тем быстрее радуга)
#define RAINBOW_STEP 6 // шаг изменения цвета радуги

// отрисовка
#define BRIGHTNESS 230 // яркость ленты
#define MODE 0 // режим при запуске
#define MAIN_LOOP 5 // период основного цикла отрисовки (по умолчанию 5)
#define SMOOTH 0.3 // коэффициент плавности анимации VU (по умолчанию 0.5)
#define SMOOTH_FREQ 0.8 // коэффициент плавности анимации частот (по умолчанию 0.8)
#define MAX_COEF 1.8 // коэффициент громкости (максимальное равно среднему * этот коэф) (по умолчанию 1.8)
#define MAX_COEF_FREQ 1.2 // коэффициент порога для "вспышки" цветомузыки (по умолчанию 1.5)

// сигнал
#define MONO 1 // 1 - только один канал (ПРАВЫЙ!!!!!! SOUND_R!!!!!!), 0 - два канала
#define EXP 1.4 // степень усиления сигнала (для более "резкой" работы) (по умолчанию 1.4)
#define POTENT 1 // 1 - используем потенциометр, 0 - используется внутренний источник опорного напряжения 1.1 В

```

Рисунок 1. Прошивка для микроконтроллера (начало)

```

void loop(){
//----- ОПРОС КНОПОК И ТУМБЛЕРА -----
  tummarker1 = !digitalRead(TMB_PIN);
  tummarker2 = !digitalRead(TMB_PIN2);
  butmarker1 = !digitalRead(BTN_PIN);
  butmarker2 = !digitalRead(BTN_PIN2);
//===== ТУМБЛЕР =====
  if (tummarker1){
    tumflag1 = 1;
  }
  if (tummarker2){
    tumflag2 = 1;
  }
  if (!tummarker1 && !tummarker2){
    tumflag1 = 0;
    tumflag2 = 0;
  }
//=====
//-----

//----- ОБРАБОТЧИК ОСНОВНОГО СОБЫТИЯ -----
  while (tumflag1){ // Если первое положение, запускаем режим подсветки (Статика/Динамика)
    LED_MODE_1();
    break;
  }
  while (tumflag2){ // Если второе положение, запускаем режим светомузыки с её режимами
    LED_MODE_2();
    break;
  }
  if (!tumflag1 && !tumflag2){ //Если не то, не другое, то чистим ленту и ждем команды
    FastLED.clear();
    FastLED.show();
  }
}
//-----

```

Рисунок 2. Прошивка для микроконтроллера (окончание)

Готовое изделие с корпусом и без него

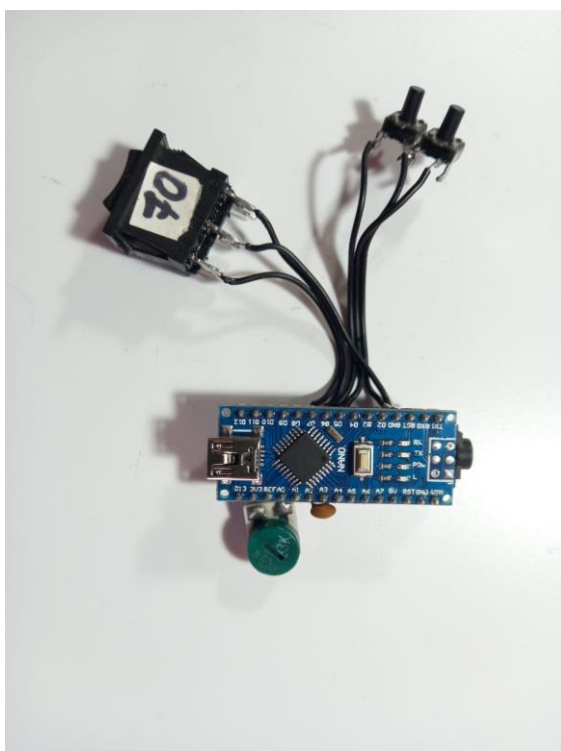


Рисунок 1. Готовое изделие без корпуса



Рисунок 2. Готовое изделие в корпусе



Рисунок 3. Готовое изделие с подключенной светодиодной лентой

Испытание устройства



Рисунок 1. Анимированный режим

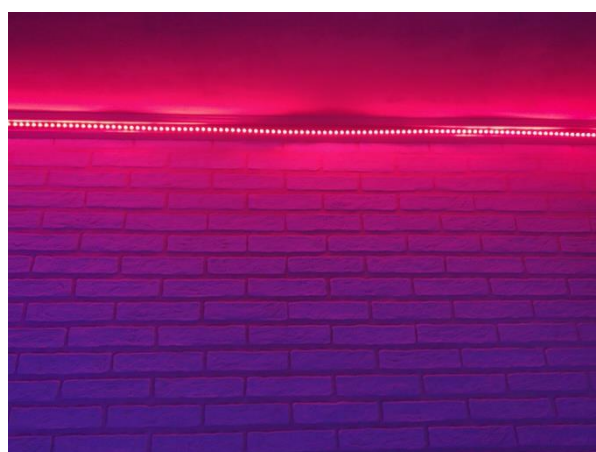


Рисунок 2. Статичный режим №1

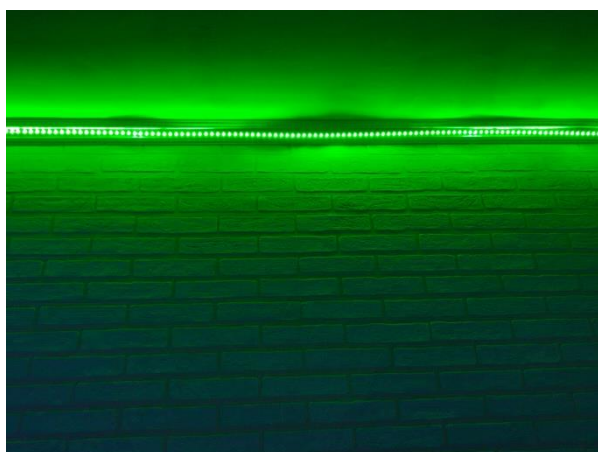


Рисунок 3. Статичный режим №2



Рисунок 4. Статичный режим №3

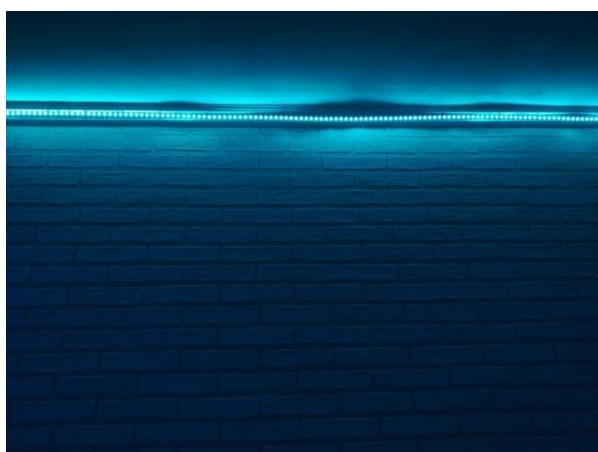


Рисунок 5. Статичный режим №4



Рисунок 6. Статичный режим №5