



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский государственный технический университет  
имени Н. Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
(МГТУ им. Н. Э. Баумана)

---

ФАКУЛЬТЕТ «Радиоэлектроника и лазерная техника (РЛ)»

---

КАФЕДРА «Технологии приборостроения (РЛ6)»

---

# РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

## *К КУРСОВОЙ РАБОТЕ*

### *НА ТЕМУ:*

*«Проектирование внешнего монитора для  
персонального компьютера»*

Студент РЛ6-71  
(Группа)

\_\_\_\_\_  
(Подпись, дата)

Филимонов С. В.  
(И. О. Фамилия)

Руководитель курсовой работы

\_\_\_\_\_  
(Подпись, дата)

Семеренко Д. А.  
(И. О. Фамилия)

*2023 г.*

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>ВВЕДЕНИЕ</b>	<b>3</b>
<b>1 Обзор существующих решений</b>	<b>4</b>
<b>2 Функциональная схема</b>	<b>6</b>
<b>3 Алгоритм работы микроконтроллера</b>	<b>7</b>
<b>4 Исследовательский раздел</b>	<b>9</b>
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>	<b>12</b>

## ВВЕДЕНИЕ

Результатом работы будет компактный монитор для персонального компьютера.

Использование компактного монитора возможно в качестве альтернативы полноразмерному монитору. Информационная разгрузка основного монитора. Применение в встраиваемых устройствах с или без микрокомпьютерам.

Проблемы при проектирование:

1. Интерфейсы микроконтроллер-компьютером и микроконтроллер-дисплей имеют разные скорости. Будут долгие обновления кадров. Решением является повышение скорости работы микроконтроллера.
2. Должна будет проводится конвертация из формата А в формат Б. Данная проблема будет разобрана в исследовательской части.

# 1 Обзор существующих решений

Компактные мониторы делятся на группы:

1. Для персональных компьютеров. Используют для подключения интерфейсы HDMI, DP и т. д. Представляют из себя обычные мониторы, с меньшей диагональю.
2. Для микрокомпьютеров на подобии Raspberry Pi. Подключаются по выведенному на плате интерфейсу ввода/вывода. Диагональ не больше четырех дюймов.

Моя реализация компактного монитора будет схожа со второй группой. Интерфейс HDMI является закрытым и использовать его возможно только по лицензии, реализация монитора соответствующей первой группе будет затруднительной.

Мониторы для микрокомпьютеров используют интерфейсы для передачи данных на дисплей: SPI, LVDS, LTDS и т. д.

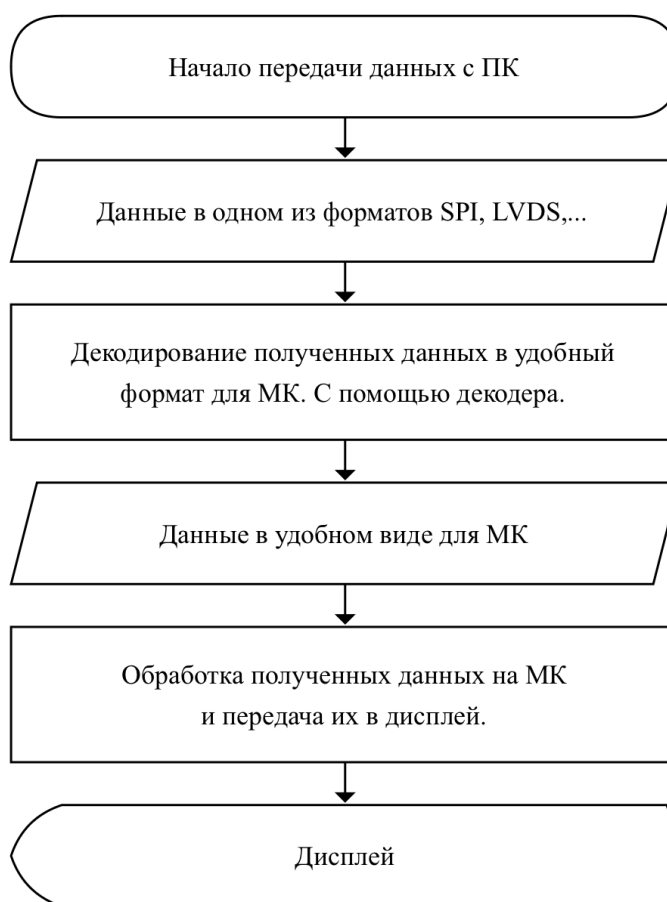


Рисунок 1.1 – Алгоритм работы компактного дисплея

В приближенном виде с компьютера по одному из возможных интерфейсов поступает сигнал о начале передаче данных. В ходе передачи происходит декодирование данных и последующая передача их в микроконтроллер. Который обновляет кадр на дисплее.

В некоторых случаях декодер может быть встроен в микроконтроллер дисплея.

## 2 Функциональная схема

За основу реализации была взята основная схема алгоритма работы внешнего дисплея.

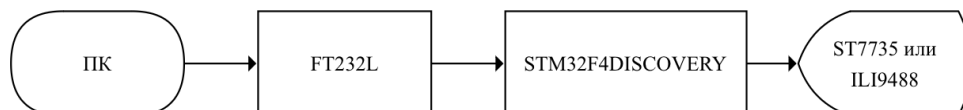


Рисунок 2.1 – Функциональная схема монитора.

В устройстве используется декодер "FT232L", отладочная плата "STM32F4DISCOVERY" и дисплеи "ST7735", "ILI9488". Декодер подключается к компьютеру.

Соединение монитора с компьютером осуществляется с помощью интерфейса передачи данных USB. Для модуля RS232 используется библиотека "libftd2xx". Декодер FT232L. Данные передаются в микроконтроллер по интерфейсу USART. В проекте используется микроконтроллер "stm32f407vg". В устройстве возможно использовать различные дисплеи от ST или ILI. Я использовал два дисплея ST7735 и ILI9488. Первый работал в режиме RGB565, то есть 16-bit. Второй в режиме RGB666, 18-bit.

### **3 Алгоритм работы микроконтроллера**

В предыдущей главе была описана обшая схема работы монитора. Но в начале разберем общие настройки и инициализацию микроконтроллера и модуля RS232.

#### **Инициализация микроконтроллера.**

1. Настройка частоты работы. Ядро настраивается на частоту 168 МГц, шина АHB/APB1 на частоту 82 МГц, АHB/APB2 42 МГц.
2. Инициализация USART2:
  - 2.1 Получение системной частоты.
  - 2.2 Настройка интерфейса GPIO.
  - 2.3 Настройка USART на чтение и запись.
  - 2.4 Настройка DMA канала.
  - 2.5 Включения прерываний на чтение данных по USART.
3. Инициализация дисплея по интерфейсу SPI1:
  - 3.1 Настройка интерфейса GPIO.
  - 3.2 Настройка SPI на запись.
  - 3.3 Настройка DMA канала.
  - 3.4 Инициализация дисплея.
4. Вход в бесконечный цикл, ожидания команды по USART.
5. При получении команды выполняется соответствующая команде действие.

#### **Инициализация модуля RS232.**

1. Проверка подключенных модулей, выбор соответствующего модуля.
2. Настройка работы USART.
3. Считывание характеристик дисплея: разрешения, модель.

### Алгоритм обновления кадра.

Компьютер отправляет на микроконтроллер команду для обновления кадра на дисплей. После получения от микроконтроллера подтверждения готовности работы происходит считывание снимка, который обновить кадр на дисплеи. Происходит отправка первой строки, ожидание получения строки. Отправка второй строки, третей и т. д.

После завершения передачи происходит очистка памяти от снимка.

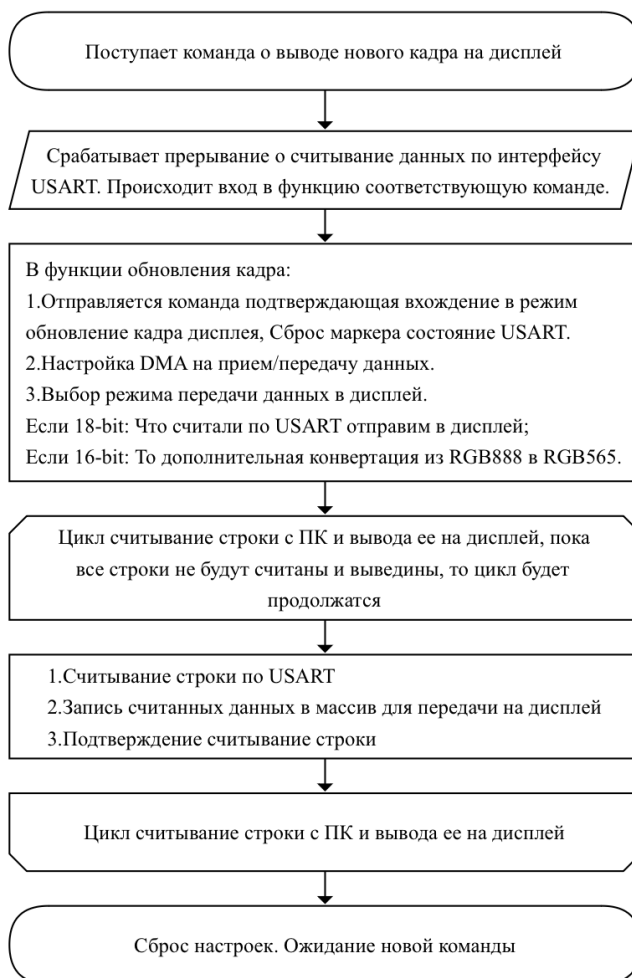


Рисунок 3.1 – Алгоритм работы микроконтроллера, когда на него поступает команда обновления кадра.

Алогоритм работы микроконтроллера в момент выполнения операции по обновлению кадра описан на рисунке 3.1.

Важно добавить, что при больших скоростях возникает искажение данных из за дребезга контактов. Чтобы этого избежать все соединения интерфейсов должны быть спаяны.



## 4 Исследовательский раздел

При запуске программы с дисплеем ST7735 настроенным на 16-битный режим работы на монитор была выведена картинка с потерянными цветами.

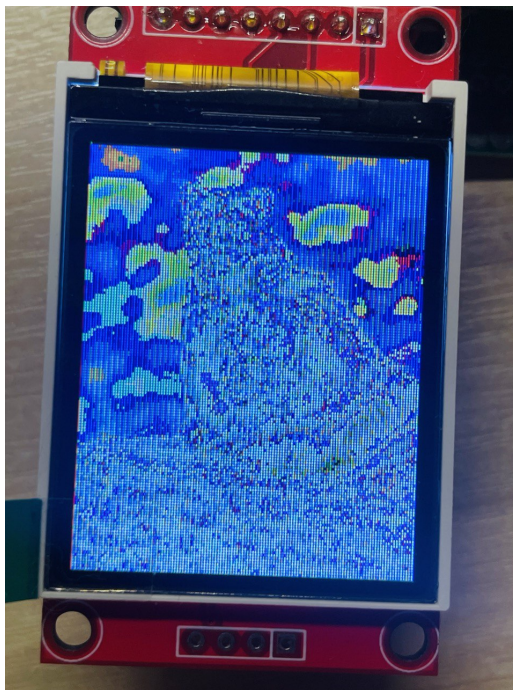


Рисунок 4.1 – Не корректное тестовое изображение в 16-битном формате.

Была выдвинута гипотеза, что проблемой некорректной цветопередачи была не правильная формула конвертации цвета из RGB888 в RGB565.

$$\text{RGB565} = ((R \& 0b11111000) \ll 8) | ((G \& 0b11111100) \ll 3) | (B \gg 3)$$

Но проверив отрисовку цвета по этой формуле без привязки к работе с компьютером было подтверждено, что формула корректная. В качестве проверки себя, были перепроверены результаты на выходе при входе разных цветов. То есть на вход G был подан R или B и аналогично для других. Отдельно на компьютере был проверен алгоритм чтения и записи снимков, который работал корректно.

Для проверки перешел с 16-битного дисплея на 18-битный дисплей ILI9488.

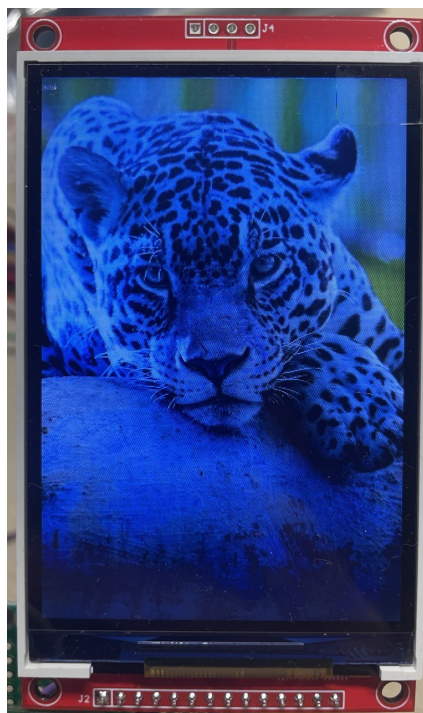


Рисунок 4.2 – Не корректное тестовое изображение в 18-битном формате.

Результатом на выходе работы устройства была от зеркальная фотография, в которой были не корректные цвета. После того как в программу были добавлены строчки кода, которые при считывании снимка производили его отзеркаливание и разворот цвета, то картинка вывелась успешно.

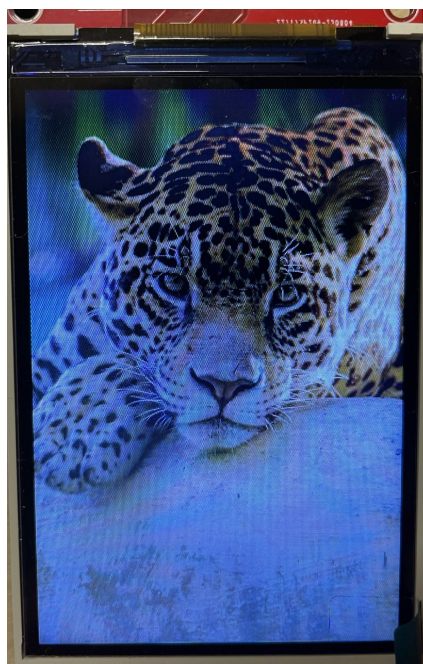


Рисунок 4.3 – Исправленное тестовое изображение в 18-битном формате.

И соответственно в 16-битном формате тоже был корректный вывод.

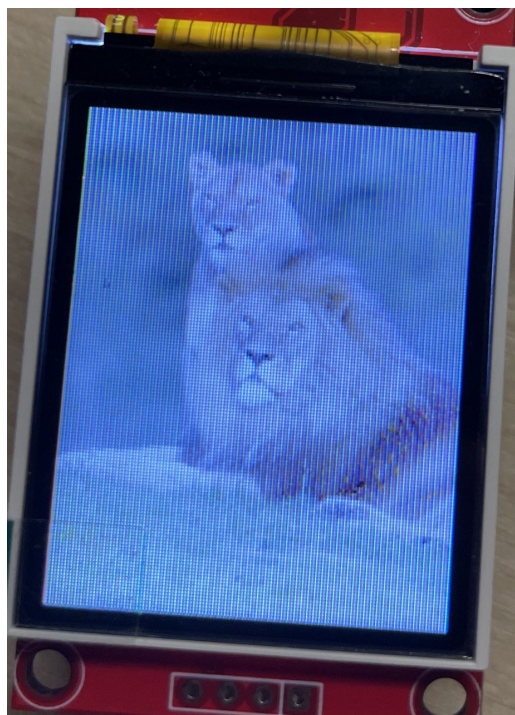


Рисунок 4.4 – Исправленное тестовое изображение в 16-битном формате.

В результате исследования является уточнение особенности работы пары микроконтроллер-декодер где на вход модуля должны приходить данные в от зеркальном виде.

Готовый код проекта монитора выложен в открытом доступе на сайте github в отдельном репозитории для физического устройства. Для драйвера на компьютер.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом работы стал компактный монитора, который подключается к любому компьютеру.

Из недостатков устройства выделяется:

1. Медленную скорость работы декодера, интерфейс передачи данных имеет ограничения по скорости работы. А при больших скоростях появляются потери данных.
2. Для компьютера требуется драйвер, чтобы работать с дисплеем.
3. При малом дисплеи не большая скорость работы интерфейса SPI ещё не является узким место в работе, но при большом разрешение дисплея нужно будет использовать другой стандарт для работы с ним, для более высокой частоты кадров.

В будущих версиях устройства данные недостатки можно устранить. Так же можно добавить новые возможности.

1. Добавить более быстрый декодер, либо использовать интерфейс подключения USB на прямую с микроконтроллером.
2. Возможность дополнительного подключения по интерфейсу SPI, LVDS для работы с микрокомпьютерами в более удобном виде.
3. Изготовление печатной платы, чтобы исключить дребезг контактов.
4. Повышение скорости работы.
5. Реализовать Touch Display.