

10. Светодиодная индикация на основе микросхемы MAX7219

10.1. Введение

Во многих приборах и устройствах для отображения информации используют светодиоды, светодиодные матрицы или семисегментные светодиодные индикаторы.

Несомненным достоинством подобных систем отображения информации является наличие большой яркости и контрастности. Их видно под любым углом, в любое время суток. Так же светодиоды обладают высокой стойкостью к вибрационным и другим механическим нагрузкам. Многие светодиоды могут работать при температуре от $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$. При *правильной эксплуатации* срок службы может достигать 50 000 часов.

10.2. Подключение СВЕТОДИОДА, основы

Для нормальной работы слаботочного светодиода, как правило, требуется обеспечить протекание через него тока на уровне 5-20 *мА*. *Обратите внимание, на светодиод нужно подавать не напряжение, а питать его постоянным током.*

Для объяснения этого факта обратимся к *Рис. 76*, на котором для светодиода *1503CGDK* фирмы *Kingbright Electronic Co, Ltd.* [1] показана зависимость протекающего тока от приложенного напряжения. Для обеспечения номинальной яркости 200 *мcd* необходимо обеспечить протекающий ток 20 *мА*. Для этого на светодиод можно подать точное напряжение 2,1 *В*. Т.к. характеристика нелинейная, то уже при напряжении 2,3 *В* протекающий ток будет 50 *мА*. Т.е. увеличение напряжения на 10 % приводит к увеличению тока на 250 %. Всё это приводит, как правило, к перегреву светодиода и выходу его из строя. Стоит отметить, что все светодиоды, даже из одной партии, отличаются друг от друга, поэтому характеристики могут отличаться. Так же характеристики изменяются в зависимости от температуры, времени ("*старение*"). Все эти факторы делают задачу подключения светодиода напрямую к источнику постоянного напряжения практически не выполнимой.

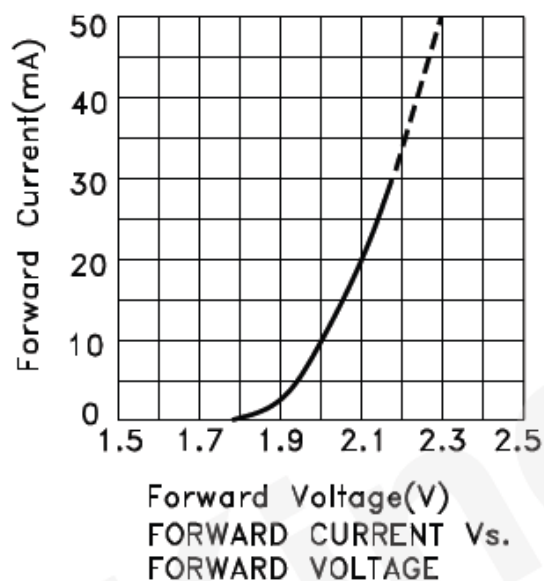


Рис. 76.

Если требуется подключить светодиод к постоянному напряжению, то самым простым и дешёвым решением является использование резистора, который включается последовательно с светодиодом, как показано на Рис.77. Это простейший вариант схемы с использованием "источника тока".

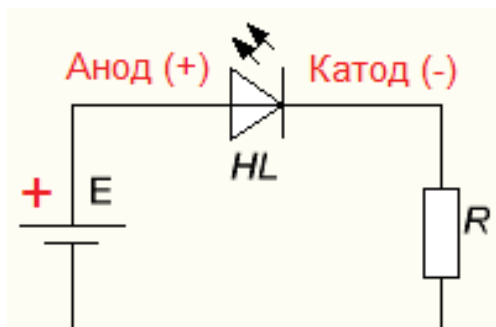


Рис. 77.

Для примера возьмём всё тот же светодиод *L-1503CGDK*. Из документации нас будут интересовать два параметра V_f (*Forward Voltage*) и I_f (*Current Forward*). $V_f \approx 2 \text{ В}$, $I_f = 20 \text{ мА}$. Примем напряжение батареи равное 12 В . Вычтем из напряжения батареи напряжение, которое будет падать на светодиоде. Получаем $12 - 2 = 10 \text{ В}$. Это напряжение, которое должно падать на резисторе. Т.к. ток в цепи один, и он равен 20 мА , то легко рассчитать сопротивление резистора. Оно будет равно $10 \text{ В} / 0,02 \text{ А} = 500 \text{ Ом}$. Обратите внимание, что для исключения ошибок в расчётах рекомендуется использовать стандартные единицы измерения - Вольт, Ампер, Ом.

Так же в качестве источника тока можно использовать специализированный драйвер, например, *NSI45020T1G* (*ON Semiconductor*) [2]. Его стоимость около $0,12 \text{ \$}$. Внешний вид в корпусе *SOD-123* ($3,56 \times 1,4 \text{ мм}$) показан на Рис. 78.

Ещё одним вариантом построения источника тока может быть схема на широко распространённой микросхеме *LM317* [3] как показано на *Рис. 79*. Достоинством данного варианта является то, что данную микросхему можно купить практически в любом магазине радиодеталей.



Рис. 78.

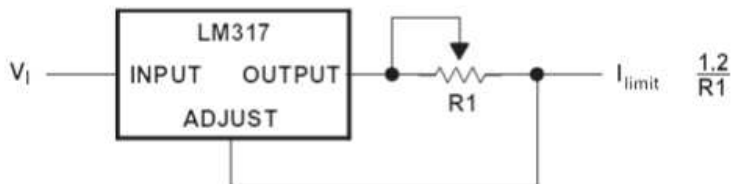


Рис. 79.

Светодиоды можно соединять последовательно. В этом случае общее падение напряжения на них будет суммироваться.

Соединять параллельно светодиоды нельзя. Для каждого светодиода необходимо ставить свой токоограничивающий резистор, см. *Рис. 80*. Это опять связано с тем, что зависимость между током и напряжением для светодиода нелинейна, изменяется с изменением температуры, и может быть разной для разных светодиодов. При параллельном включении падение напряжения на всех светодиодах будет одинаково, а протекающий ток будет разным в силу вышеуказанных причин. Может получиться так, что одни светодиоды будут недогружены по току, а другие - перегружены. Через определённое время перегруженные светодиоды будут перегреваться, и выходить из строя.

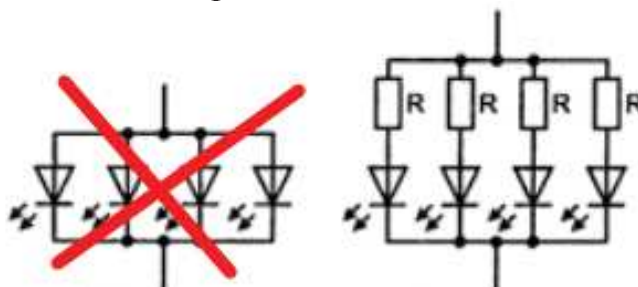


Рис. 80.

Ещё одной причиной выхода из строя светодиода может быть превышение обратного напряжения. Т.е. когда к аноду подключен "-", а к катоду "+". Например, для светодиода *L-1503CGDK*, это значение не может быть больше 5 В (см. в документации термин "*Reverse Voltage*"). Данная ситуация может возникнуть если светодиод подключен к сети переменного напряжения. Самое простое решение этой проблемы - подключение параллельно светодиоду обычного диода как, например, показано на *Рис. 81*.

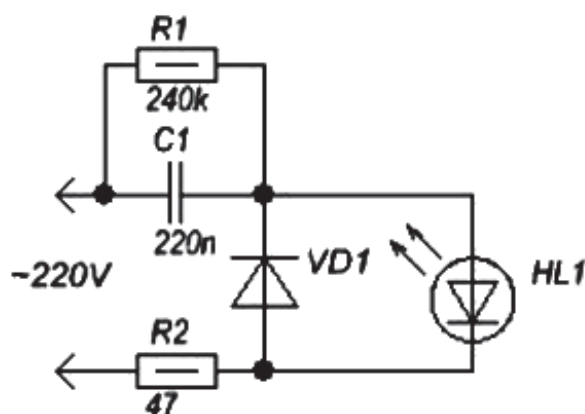


Рис. 81.

Так же не забывайте следить за температурой светодиода. Она не должна превышать значения, которое указано в документации. Для слаботочных светодиодов это, как правило, не актуально. А вот для светодиодов с рабочим током в сотни миллиампер и выше это может стать одной из основных задач при проектировании изделия.

Как отмечено выше, требуется обеспечить питание каждого светодиода постоянным током. В простейшем случае это можно сделать с помощью резистора. Т.е. один светодиод - один резистор. А если требуется много светодиодов? Для этих целей лучше объединять светодиоды в светодиодную матрицу и использовать специализированные управляющие микросхемы как, например, *MAX7219* [4], о которой речь и пойдёт далее.

10.3. Основные характеристики микросхемы **MAX7219**

Ниже приведены основные характеристики микросхемы.

- 10 МГц последовательный интерфейс;
- индивидуальное управление сегментами;
- режимы анализа поступающих данных "с декодированием" или "без декодирования";
- потребление тока 150 мкА в "спящем" режиме;
- цифровая и аналоговая регулировка яркости;
- при включении питания все светодиоды выключены;
- управление светодиодными матрицами с общим катодом;
- *SPI, QSPI, MICROWIRE* последовательные интерфейсы;
- напряжение питания от 4 до 5 В;
- ток для всех светодиодов задаётся с помощью только одного резистора;
- возможность каскадирования;
- корпус *DIP-24* или *SO-24*.

Функциональная схема устройства индикации, которое можно построить на *MAX7219*, приведена на *Рис. 82*. Микросхема может управлять семисегментными светодиодными индикаторами (*ССИ*). Количество *ССИ* может быть от одного до восьми. Каждый *ССИ* содержит управляемые сегменты (*A-F, DP*, см. *Рис. 86*). Так же вместо *ССИ* микросхема может управлять матрицей светодиодов размером до 8 x 8.

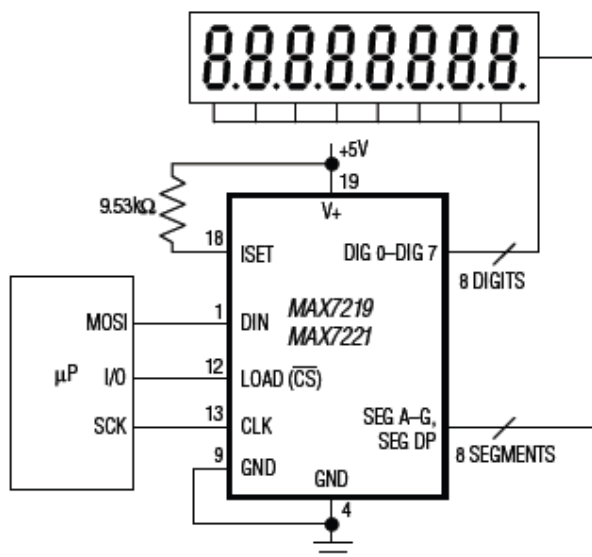


Рис. 82.

10.4. Описание микросхемы **MAX7219**

Ниже приведена *Таблица 2*, в которой описаны выводы микросхемы. Так же на *Рис. 83* изображена функциональная схема микросхемы *MAX7219*. Обратите внимание, что различие между микросхемами *MAX7219* и *7221* заключается в разном восприятии данных по входу 12 микросхемы.

Таблица 2

PIN	NAME	FUNCTION
1	DIN	Serial-Data Input. Data is loaded into the internal 16-bit shift register on CLK's rising edge.
2, 3, 5-8, 10, 11	DIG 0-DIG 7	Eight-Digit Drive Lines that sink current from the display common cathode. The MAX7219 pulls the digit outputs to V+ when turned off. The MAX7221's digit drivers are high-impedance when turned off.
4, 9	GND	Ground (both GND pins must be connected)
12	LOAD (MAX7219)	Load-Data Input. The last 16 bits of serial data are latched on LOAD's rising edge.
	\overline{CS} (MAX7221)	Chip-Select Input. Serial data is loaded into the shift register while \overline{CS} is low. The last 16 bits of serial data are latched on \overline{CS} 's rising edge.
13	CLK	Serial-Clock Input. 10MHz maximum rate. On CLK's rising edge, data is shifted into the internal shift register. On CLK's falling edge, data is clocked out of DOUT. On the MAX7221, the CLK input is active only while \overline{CS} is low.
14-17, 20-23	SEG A-SEG G, DP	Seven Segment Drives and Decimal Point Drive that source current to the display. On the MAX7219, when a segment driver is turned off it is pulled to GND. The MAX7221 segment drivers are high-impedance when turned off.
18	ISET	Connect to V _{DD} through a resistor (R _{SET}) to set the peak segment current (Refer to <i>Selecting R_{SET} Resistor and Using External Drivers</i> section).
19	V+	Positive Supply Voltage. Connect to +5V.
24	DOUT	Serial-Data Output. The data into DIN is valid at DOUT 16.5 clock cycles later. This pin is used to daisy-chain several MAX7219/MAX7221's and is never high-impedance.

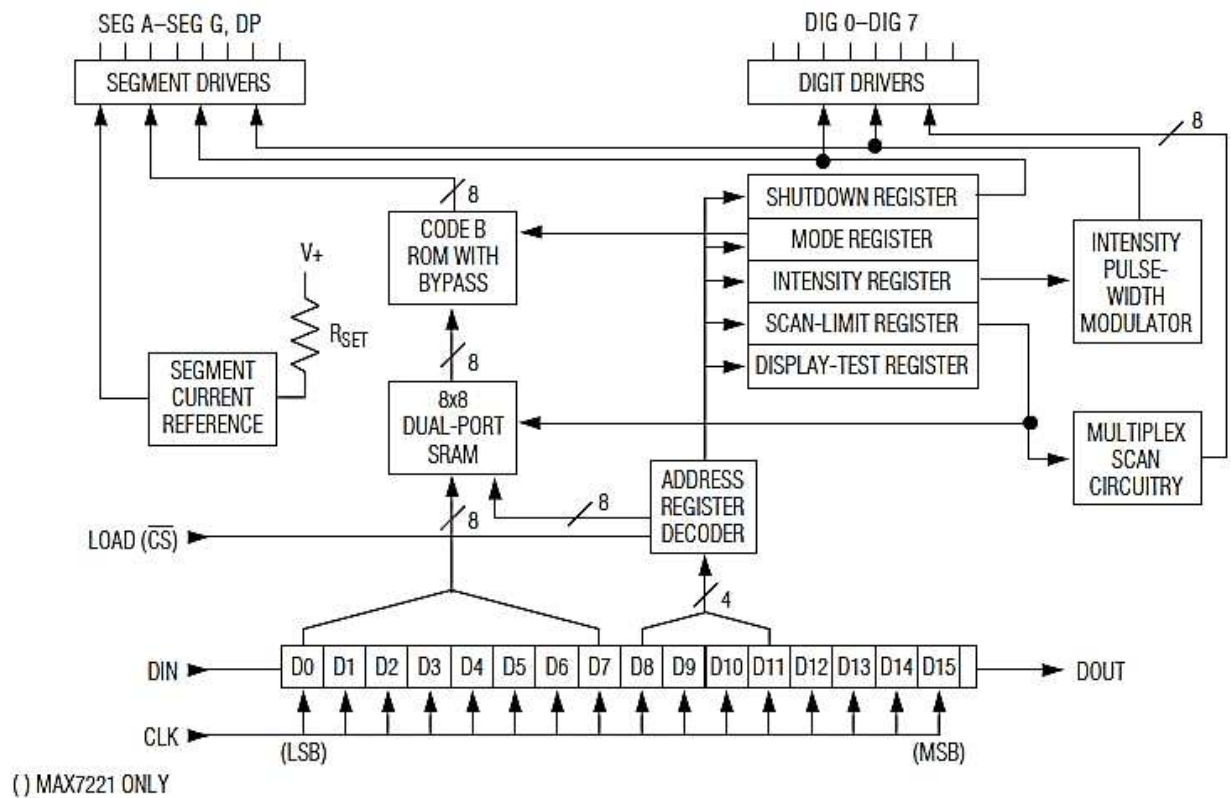


Рис. 83.

Для передачи данных в микросхему можно использовать, например, последовательный интерфейс *SPI* [5]. Временная диаграмма управляющих сигналов (*CS*, *CLK*) и линий данных (*DIN*, *DOUT*) приведены на Рис. 84.

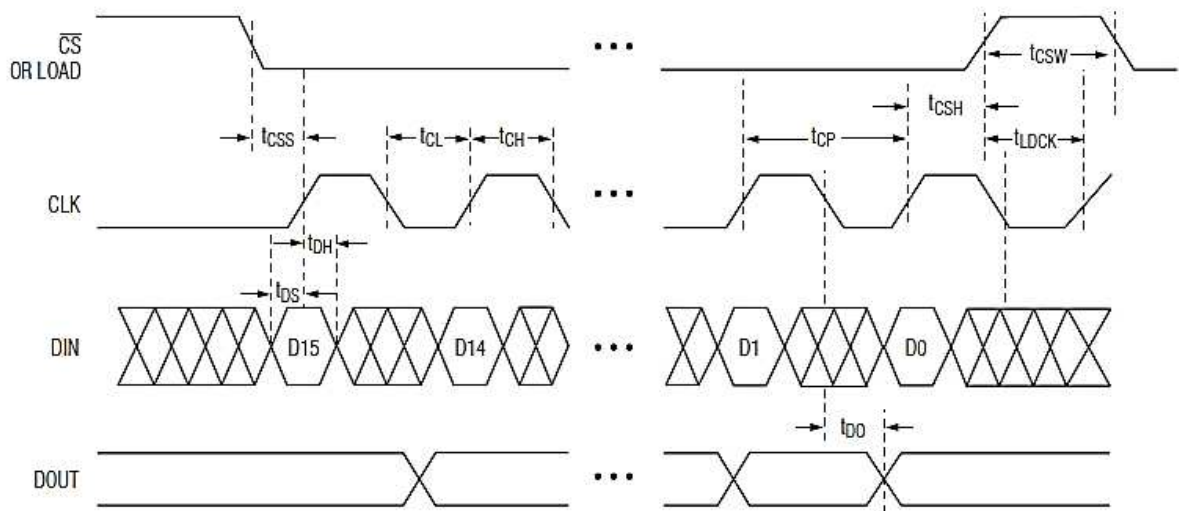


Рис. 84

Данные передаются по 16 бит. Далее в тексте эти 16 бит будут называться "словом", у которого есть соответственно старший и младший байты. Для управления микросхемой требуется вначале записать данные в управляющие регистры, т.е. провести начальную настройку режимов работы микросхемы. После этого можно посылать уже непосредственно данные в регистры данных индикаторов для отображения. Формат посылки приведён на Рис. 85.

Биты с 0 по 7 - данные, которые будут записаны в регистр, адрес которого необходимо записать в биты с 8 по 11 включительно. Биты с 12 по 15 не используются.

D15	D14	D13	D12	D11	D10	D9	D8	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0	
X	X	X	X	ADDRESS				DATA								LSB

Рис. 85.

10.5. Описание управляющих регистров

Имена управляющих регистров и их адреса приведены в *Таблице 3*.

Таблица 3

REGISTER	ADDRESS					HEX CODE
	D15–D12	D11	D10	D9	D8	
No-Op	X	0	0	0	0	0xX0
Digit 0	X	0	0	0	1	0xX1
Digit 1	X	0	0	1	0	0xX2
Digit 2	X	0	0	1	1	0xX3
Digit 3	X	0	1	0	0	0xX4
Digit 4	X	0	1	0	1	0xX5
Digit 5	X	0	1	1	0	0xX6
Digit 6	X	0	1	1	1	0xX7
Digit 7	X	1	0	0	0	0xX8
Decode Mode	X	1	0	0	1	0xX9
Intensity	X	1	0	1	0	0xXA
Scan Limit	X	1	0	1	1	0xXB
Shutdown	X	1	1	0	0	0xXC
Display Test	X	1	1	1	1	0xXF

Команда **"No-Op"** (*"Нет операции"*, адрес 0x0). Если послать слово, у которого старший байт равен нулю, то никаких действий не производится. Содержимое младшего байта может быть любым, его данные игнорируются.

Команда **"Decode Mode"** (*"Режим декодирования"*, адрес 0x9). Определяет как будут отображаться данные на индикаторе. Если младший байт равен нулю, то устанавливается *"Режим без декодирования"*, т.е. биты данных в младшем байте непосредственно отображаются на индикаторе. Если подключен семисегментный индикатор, то соответствие бит данных сегментам индикатора можно увидеть на *Рис. 86*. Итак, чтобы включить *"Режим без декодирования"* необходимо передать слово 0x900. Существуют ещё 3 режима декодирования, о которых можно более подробно прочитать в документации на микросхему.

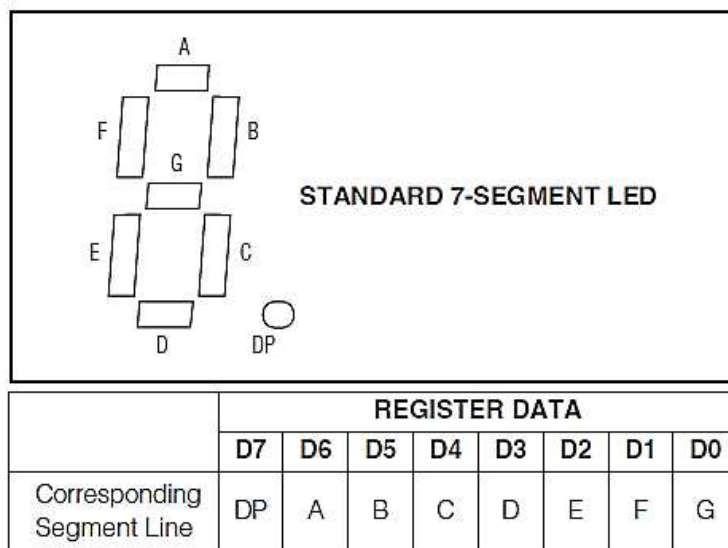


Рис. 86.

Команда **"Intensity"** ("Яркость", адрес $0xA$). Задаёт яркость свечения. $0xA00$ - минимальная яркость, $0xA0F$ - максимальная яркость.

Команда **"Scan Limit"** ("Количество отображаемых ССИ", адрес $0xB$). Задаёт количество отображаемых светодиодных семисегментных индикаторов. Например, $0xB00$ - активен только один индикатор, $0xB01$ - активны два индикатора,, $0xB07$ - активны все восемь индикаторов.

Команда **"Shutdown"** ("Спящий режим", адрес $0xC$). Для работы в "нормальном" режиме необходимо передать слово $0xC01$. Для перехода в "спящий режим" - $0xC00$.

Команда **"Display Test"** ("Тестовый режим", адрес $0xF$). Для работы в "нормальном" режиме необходимо передать слово $0xF00$. Если передать слово $0xF01$, то на индикаторе загорятся все сегменты (светодиоды).

Команды **"Digit 0 - Digit 7"** ("Данные для светодиодных индикаторов", адреса $0x1$ - $0x7$). Информация, записанная в младший байт непосредственно отображается на соответствующем индикаторе согласно Рис. 86. Например, для вывода символа "А" на третий индикатор необходимо передать управляющее слово $0x477$. Посылая одну команду можно изменить состояние только одного индикатора.

10.6. Обзор МАТРИЧНОГО модуля индикации 1088AS

Рассмотрим матричный модуль светодиодной индикации 1088AS, показанный на Рис. 87. Он представляет собой матрицу светодиодов размером 8×8 .

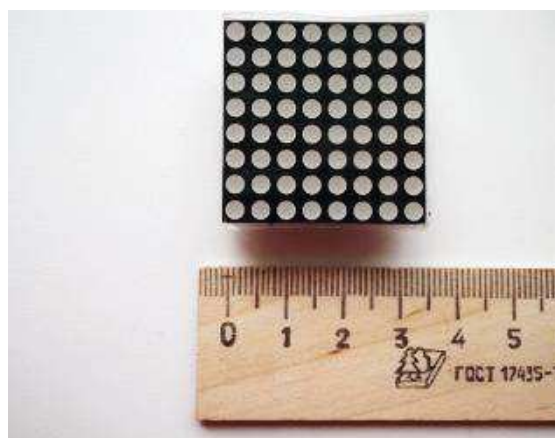


Рис. 87.

Функциональная схема модуля показана на Рис. 88.

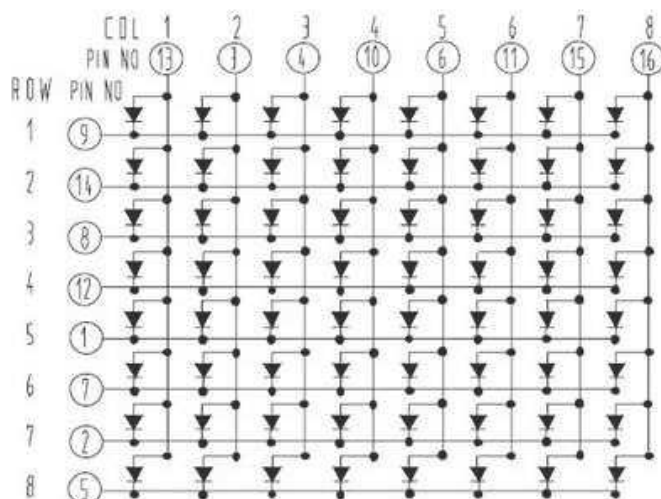


Рис. 88.

Этот модуль можно использовать вместе драйвером *MAX7219*. Ниже приведены основные характеристики модуля.

- Цвет свечения светодиодов - красный;
- длина волны испускаемого света - примерно 625-630 нанометров;
- рабочий потребляемый ток одним светодиодом - 20 мА;
- длина и ширина по 32 мм, толщина 8 мм без учёта длины выводов.

Светодиоды объединены в матрицу, 8 строк по 8 светодиодов в каждой строке. Благодаря матричному принципу объединения светодиодов у модуля индикации всего шестнадцать контактных выводов.

Одной из первых задач, которая возникает при работе с *1088AS*, является определение первого вывода, так как он не указан ни в документации, ни на самом модуле достаточно чётко. Необходимо отметить, что приведённая ниже методика подходит практически для любого светодиодного индикатора.

Определить первый вывод достаточно просто, для этого понадобится мультиметр в режиме "прозвон диода".

В этом режиме мультиметр является источником ЭДС с токоограничением. При контакте щупов с выводами модуля получается схема из источника ЭДС и одного светодиода. При правильном подключении (соблюдении полярностей) светодиод начинает испускать свет.

Щупы мультиметра прикладываются вначале наугад к выводам под номерами 8 и 9, 1 и 16, которые являются крайними выводами модуля индикации. Всего 4 возможные комбинации подключения (2 пары выводов и 2 полюса). В результате этих комбинаций возможно отсутствие свечения светодиода из-за неверно выбранной полярности, а так же испускание света одним из двух светодиодов. Интерес вызывает только один из них, тот что находится в пятой строчке и восьмом столбце. Этот светодиод начнёт испускать свет только в том случае, если чёрный щуп мультиметра подключен к первому выводу индикации, а красный щуп – к шестнадцатому выводу, как показано на *Рис. 89*, *Рис. 90*, *Рис. 91*.

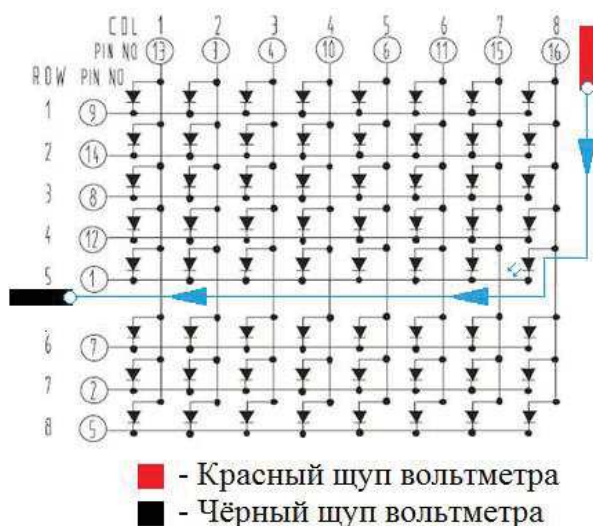


Рис. 89.



Рис. 90.

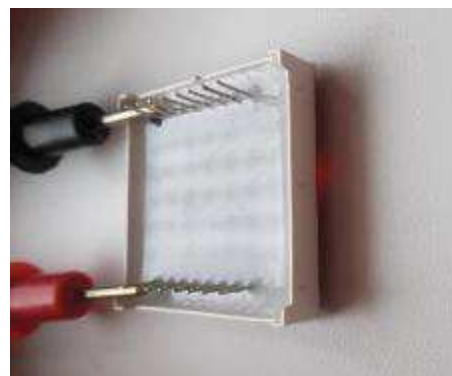


Рис. 91.

Найдённый первый вывод рекомендуется отметить чёрной точкой во избежание путаницы в дальнейшем.

10.7. Сборка макета на базе MAX7219, 1088AS и STM32VLDISCOVERY

Теперь, когда определен первый вывод модуля индикации, можно соединить его с платой, на которой находится драйвер индикации *MAX7219*. Плата уже разведена под этот модуль, и первый вывод совпадает с первым выводом драйвера. Выводы платы показаны на *Рис. 92*.

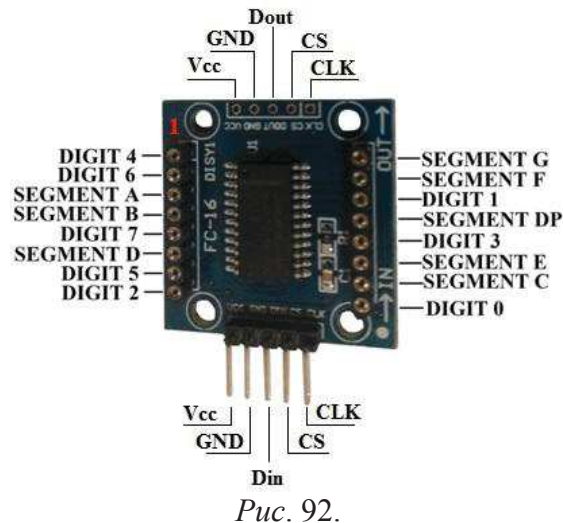


Рис. 92.

Стоит отметить, что обозначения "*ROW*" и "*COL*", показанные на *Рис. 88* соответствуют обозначениям "*DIGIT*" и "*SEGMENT*" на *MAX7219* соответственно.

Теперь необходимо решить задачу с соединением полученной платы и *STM32VLDISCOVERY*. Выводы микроконтроллера выдают напряжение логической единицы около 3,3 В, а у драйвера индикации логическая единица начинается с 4,5 В. Поэтому включим в микроконтроллере для выходных логических сигналов режим "*с открытым стоком*" (функциональный аналог режима "*с открытым коллектором*") и установим внешние подтягивающие резисторы 1 кОм к +5 В, как показано на *Рис. 93*. При этом инверсии сигналов не происходит, т.е. логические уровни будут "*правильные*". Полностью собранная конструкция показана на *Рис. 94*.

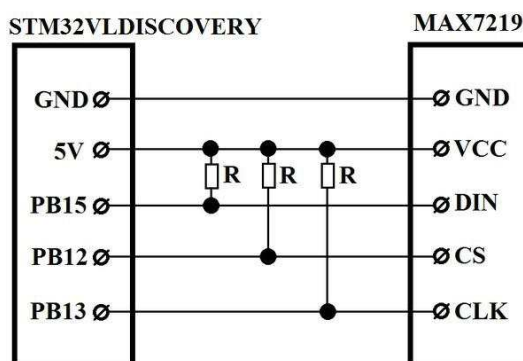


Рис. 93.

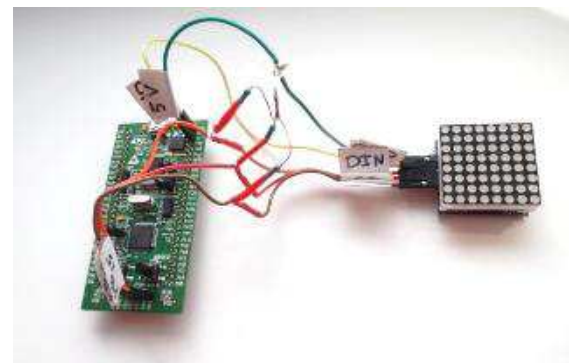


Рис. 94.

Не ошибитесь с стороной подключения. Т.е. не подключите случайно PB15 к DOUT !

Сопrotивление подтягивающего резистора 1 кОм выбрано не случайно. На *Рис. 95* и *Рис. 96* приведены осциллограммы для разных по сопротивлению подтягивающих резисторов.

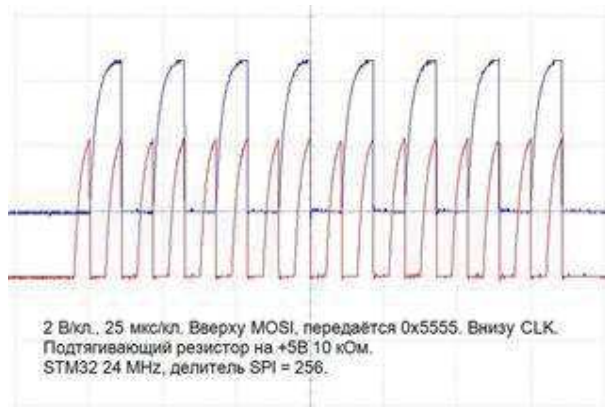


Рис. 95.

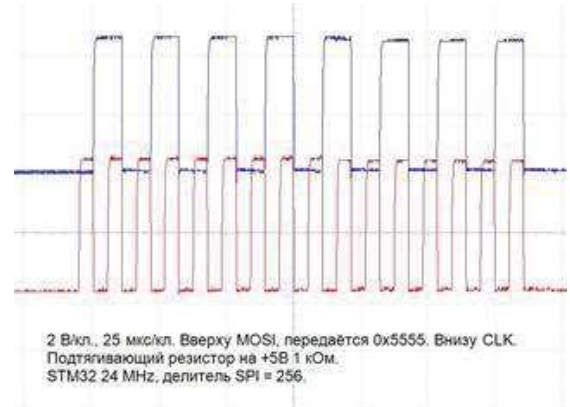


Рис. 96.

Обратите внимание, что при выбранной скорости обмена и использовании подтягивающего резистора с сопротивлением 10 кОм происходит "заваливание" нарастающего фронта, что приводит к неправильному восприятию входных данных микросхемой *MAX7219*.

Так же не рекомендуется использовать большие скорости обмена данными и длинные (больше 10 см) линии связи.

Для передачи данных в драйвер индикации используется последовательный интерфейс *SPI2* в режиме неполного дуплекса (только передача данных от микроконтроллера в *MAX7219*).

Обратите внимание, что сигнал у микроконтроллера "*NSS*" не является функциональным аналогом сигнала "*CS*" по смыслу. У них совершенно разное функциональное назначение.

10.8. Разработка программы

Вначале произведём начальную настройку подсистемы *SPI2*.

```
SPI_InitTypeDef      SPI_InitStructure;

// Включаем тактирование PORTB и SPI2
RCC_APB2PeriphClockCmd(RCC_APB2Periph_GPIOB, ENABLE);
RCC_APB1PeriphClockCmd(RCC_APB1Periph_SPI2, ENABLE);
.....
// Настраиваем порты как выходы с режимом "открытый сток"
// SPI2: PB13 = SCLK, PB15 = MOSI
Init_PORTB.GPIO_Pin = GPIO_Pin_13 | GPIO_Pin_15;
Init_PORTB.GPIO_Speed = GPIO_Speed_10MHz;
Init_PORTB.GPIO_Mode = GPIO_Mode_AF_OD;
GPIO_Init(GPIOB, &Init_PORTB);
Init_PORTB.GPIO_Pin = GPIO_Pin_12;
Init_PORTB.GPIO_Mode = GPIO_Mode_Out_OD;
```

```

GPIO_Init(GPIOB, &Init_PORTB);
.....
// Настраиваем режимы работы SPI2
SPI_InitStructure.SPI_Direction = SPI_Direction_1Line_Tx;
SPI_InitStructure.SPI_Mode = SPI_Mode_Master;
SPI_InitStructure.SPI_DataSize = SPI_DataSize_16b;
// Не активный SCLK = 0
SPI_InitStructure.SPI_CPOL = SPI_CPOL_Low;
// Данные готовы по переднему фронту
SPI_InitStructure.SPI_CPHA = SPI_CPHA_1Edge;
SPI_InitStructure.SPI_NSS = SPI_NSS_Soft;
SPI_InitStructure.SPI_BaudRatePrescaler = SPI_BaudRatePrescaler_256;
SPI_InitStructure.SPI_FirstBit = SPI_FirstBit_MSB;
SPI_Init(SPI2, &SPI_InitStructure);
.....
// Разрешаем работу SPI2
SPI_Cmd(SPI2, ENABLE);

```

Для упрощения программы создадим вначале несколько подпрограмм.

```

// PORTB
#define CS_Set_0 GPIO_ResetBits(GPIOB, GPIO_Pin_12)
#define CS_Set_1 GPIO_SetBits(GPIOB, GPIO_Pin_12)
//==== Подпрограммы SPI2 ====
void PauseSPI2(void) {
static volatile uint32_t i;
for(i = 0; i < 10000; i++) {};
}

void SendDataSPI2(uint16_t data) {
CS_Set_0; PauseSPI2();
SPI_I2S_SendData(SPI2, data);
PauseSPI2(); CS_Set_1; PauseSPI2();
}

void ClearMAX7219(void) {
SendDataSPI2(0x0800); SendDataSPI2(0x0700);
SendDataSPI2(0x0600); SendDataSPI2(0x0500);
SendDataSPI2(0x0400); SendDataSPI2(0x0300);
SendDataSPI2(0x0200); SendDataSPI2(0x0100);
}

```

После этого проведём начальные настройки (инициализацию) MAX7219.

```

//===== Инициализация MAX7219 =====
CS_Set_1; // начальное состояние линии = "1"
PauseSPI2();
// "Нормальный" режим работы, не "Тест"
SendDataSPI2(0x0F00);
// "Нормальный" режим работы, не "Спящий"
SendDataSPI2(0x0C01);

```

```

// Максимальная яркость
SendDataSPI2(0x0A0F);
// Активные все 8 индикаторов
SendDataSPI2(0x0B07);
// "Режим без декодирования"
SendDataSPI2(0x0900);
Ну и наконец, основная программа.

// Описание глобальных переменных
uint16_t i;
// "Улыбашка"
static const uint16_t Mass[] =
{0x13c,0x242,0x3a5,0x481,0x5a5,0x699,0x742,
0x83c,
//Аналог паузы
0x13c,0x13c,0x13c,0x13c,0x13c,0x13c,0x13c,
0x13c,0x13c,0x13c,0x13c,0x13c, 0x13c,
// "Грустяшка"
0x242,0x3a5,0x481,0x5bd,0x6a5,0x742,0x83c, 0};

//=====Программа=====
// "1" = сегмент горит
ClearMAX7219();

while (1) { i = 0;
  while (Mass[i] != 0) {
    SendDataSPI2(Mass[i++]); }
  Pause(); Pause(); Pause();
}

```

Результат работы программы можно увидеть на *Рис. 97* и *Рис. 98*.

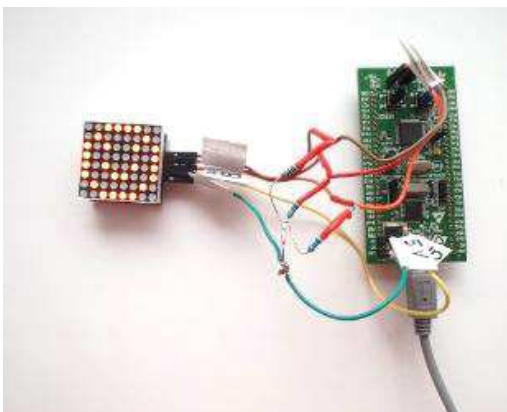


Рис. 97.

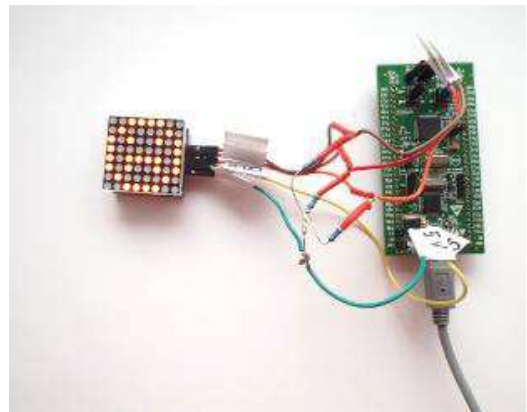


Рис. 98.

Так же к *MAX7219* можно подключить семисегментные светодиодные индикаторы, см. *Рис. 99*.

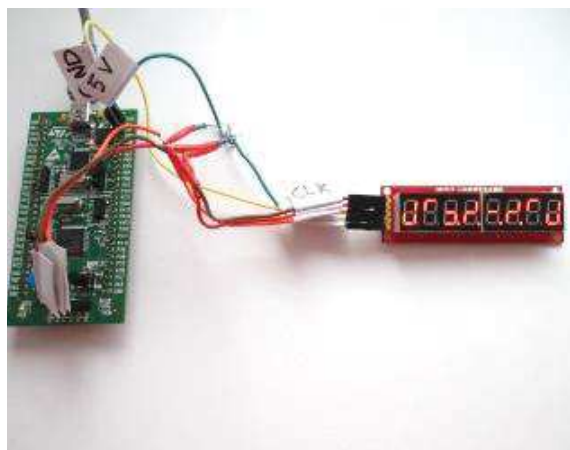


Рис. 99.

10.9. Выводы

- Светодиоды и светодиодные индикаторы являются хорошими устройствами отображения информации с большим списком преимуществ. Но для обеспечения большого срока службы требуется выполнение ряда ключевых требований по их эксплуатации, которые изложены в документации. Нельзя превышать максимальную допустимую температуру кристалла, максимальный протекающий ток, максимальное обратное напряжение и т.д.

- Не все светодиоды могут питаться импульсным током (*ШИМ-модуляция*). Даже если светодиод может питаться импульсным током, то обычно есть ограничение на допустимый максимальный импульсный ток и время его воздействия. Рекомендуется внимательно изучать документацию.

- Для управления группой светодиодов рекомендуется использовать специализированные светодиодные драйверы (управляющие микросхемы), например, *MAX7219*.

10.10. Контрольные вопросы

1. Почему двухвольтовый светодиод нельзя подключать к источнику питания с напряжением 2 В?
2. Почему разные светодиоды с одним и тем же напряжением падения нельзя соединять параллельно?
3. Какая связь между скоростью связи и номиналом подтягивающего резистора по линии CLK?

10.11. Литература к разделу 10

[1] L-1503CGDK [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.kingbright.com/content/listitem/psearch/267>

[2] NSI45020T1G datasheet [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/NSI45020-D.PDF

- [3] LM317 datasheet [Электронный ресурс]. Режим доступа:
<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm317.pdf>
- [4] MAX7219 datasheet [Электронный ресурс]. Режим доступа:
<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX7219-MAX7221.pdf>
- [5] SPI [Электронный ресурс]. Режим доступа:
https://ru.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface