

Дисплеи и индикация във вградените системи



Автор: гл. ас. д-р инж. Любомир Богданов



Европейски съюз

ПРОЕКТ BG051PO001--4.3.04-0042

***„Организационна и технологична инфраструктура за учене през
целия живот и развитие на компетенции”***

Проектът се осъществява с финансовата подкрепа на
Оперативна програма „Развитие на човешките ресурси”,
съфинансирана от Европейския социален фонд на Европейския съюз

Инвестира във вашето бъдеще!



Европейски социален фонд

Съдържание

1. Управление на LED индикатори
2. Управление на LCD дисплеи
3. Управление на OLED дисплеи
4. Бутони и клавиатури
5. Тъч сензори
6. Ротационни енкодери

Управление на LED индикатори

Светодиодната индикация (Light Emitting Diode, LED) може да се раздели на:

- *индикация с един светодиода
- *индикация със 7-сегментни индикатори
- *индикация с буквено-цифрови индикатори
- *индикация със светодиодни матрица

В зависимост от това дали в даден момент се управляват всички сегменти/пиксели, се казва, че индикацията е [1]:

- *статична
- *динамична

Управление на LED индикатори

От курса ППЕ е известно, че светодиодите имат пад на **напрежение в права посока V_F** , зависещ от цвета на светодиода.

Типични стойности за дифузни LED са:

	V_{Fmin}, V	V_{Fmax}, V
Червен	1.8	2.2
Зелен	2	2.3
Жълт	2.2	2.8
Бял	3.2	3.4
Син	3.2	3.4

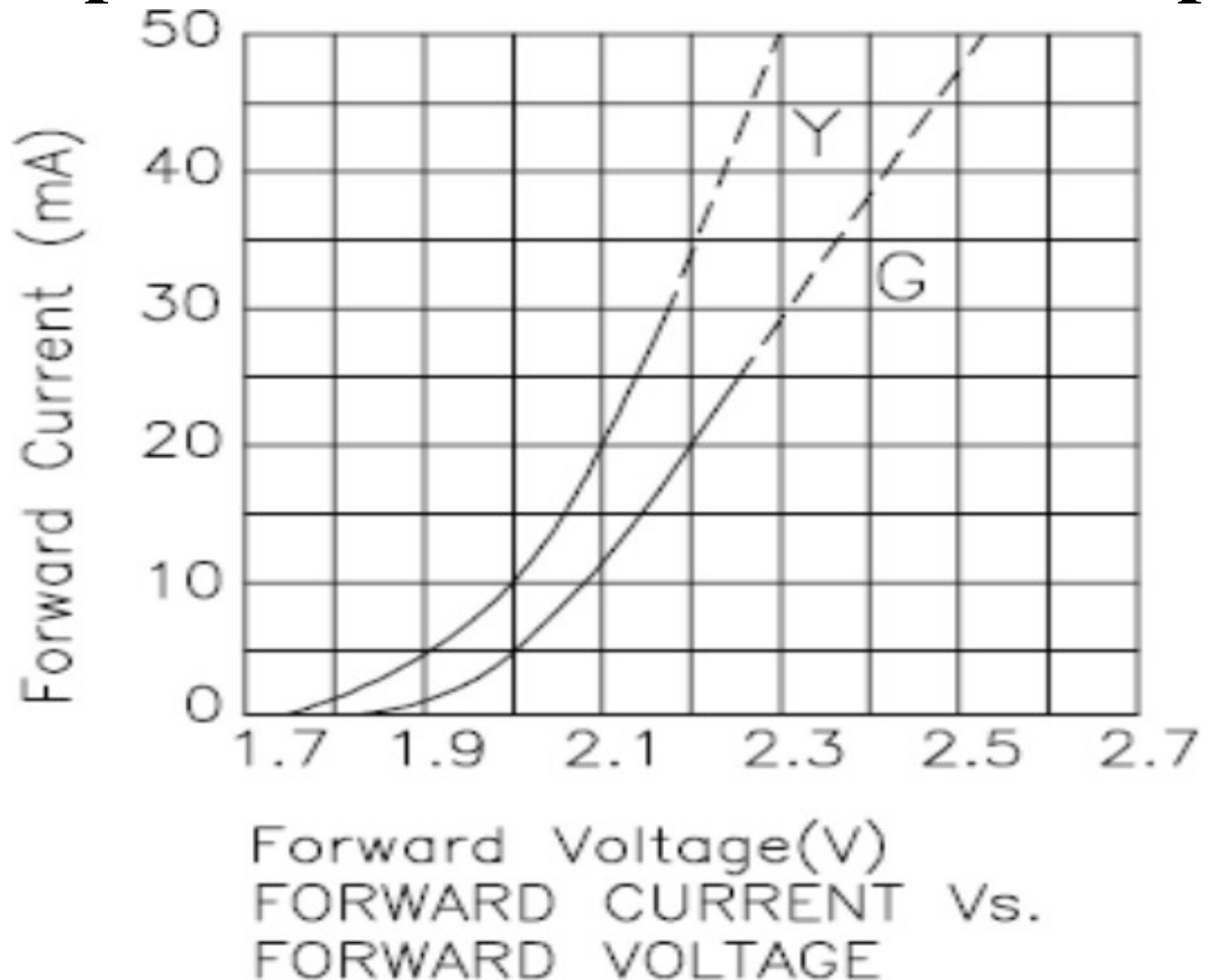
Управление на LED индикатори

Ярките светодиоди (bright LED) имат по-високи падове и светят по-ярко от дифузните при едни и същи токове (напр. ярък зелен LED може да има $V_F = 3 \text{ V}$).

Токът в права посока I_F варира в по-големи граници. Дифузните светодиоди имат $I_F = 10 \div 30 \text{ mA}$, ярките $I_F = 1 \div 20 \text{ mA}$, а мощните – $x1 \div x10 \text{ A}$.

Типична ВАХ на маломощен LED е показана на следващия слайд[2].

Управление на LED индикатори



Управление на LED индикатори

Яркостта на светодиодиите (luminous intensity) се мери в кандели и за индикаторни светодиоди варира в обхвата $0.6 \div 1800 \text{ mcd}$.

Интензитетът зависи от тока в права посока I_F [3]:

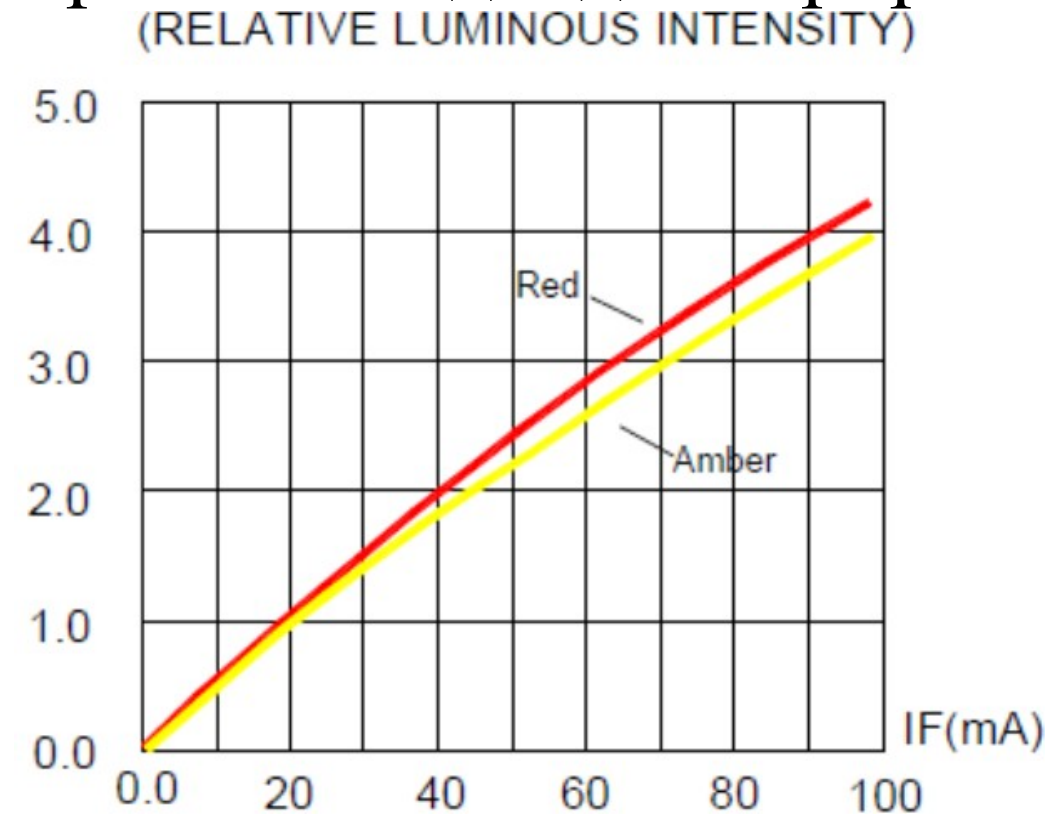


FIG.2 RELATIVE LUMINOUS INTENSITY VS.
FORWARD CURRENT

Управление на LED индикатори

Яркостта на светодиодиите зависи от ъгъла, от който наблюдаващия вижда светодиода. Това се нарича **ЪГЪЛ на виждане** (viewing angle) [3]. Използва се също понятието “far field pattern”.

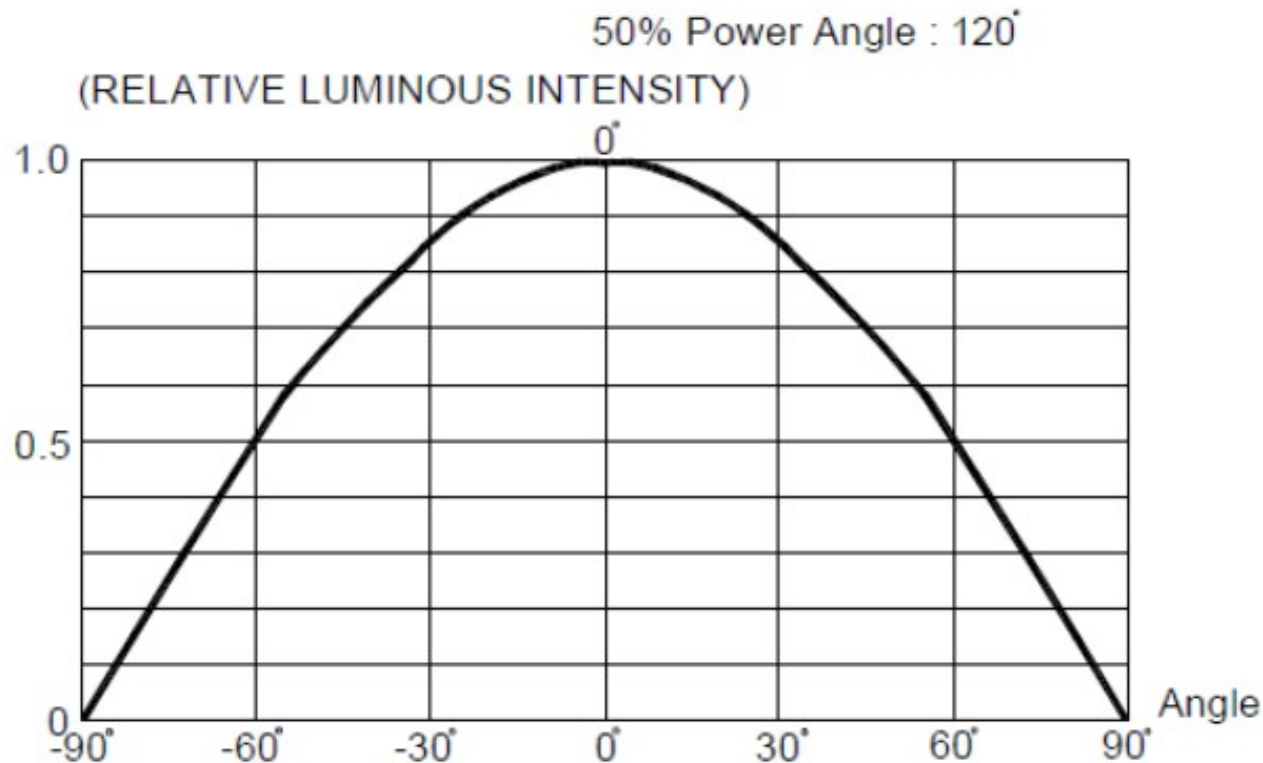


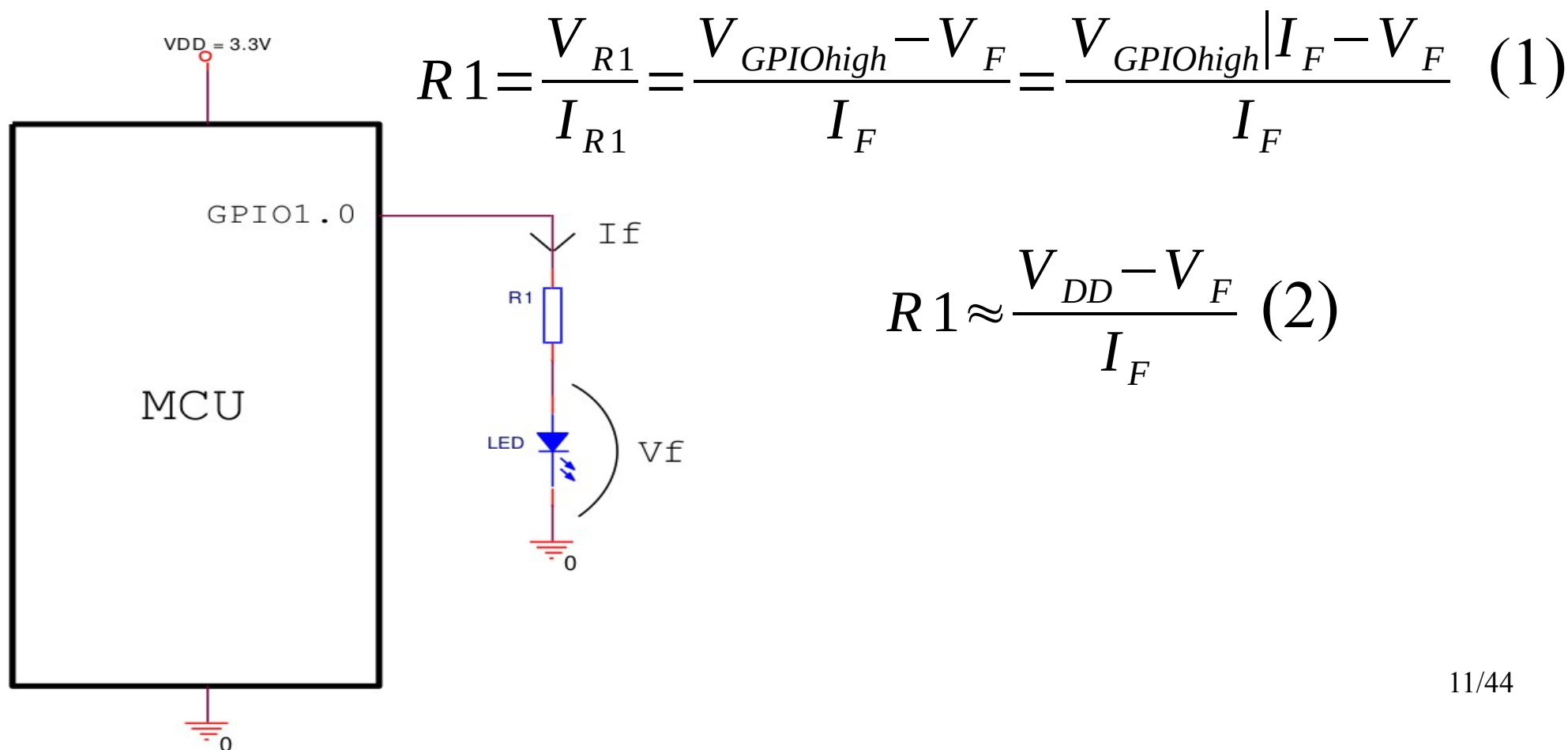
FIG.6 FAR FIELD PATTERN

Управление на LED индикатори

ВНИМАНИЕ! Всеки един от изброените параметри трябва да се провери от техническата спецификация (datasheet) за конкретния модел светодиода, за конкретния производител.

Управление на LED индикатори

За повечето μ CU номиналното захранване е 3.3 V или 5 V. Това означава, че в изхода на GPIO ще има приблизително захранващото напрежение.



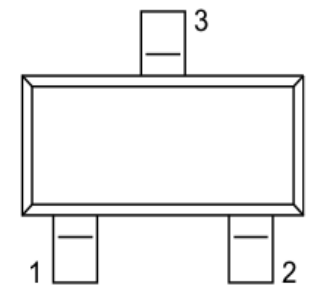
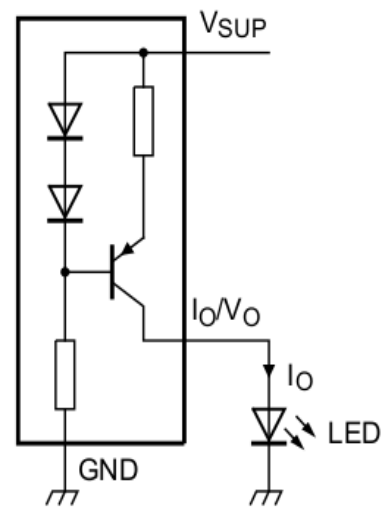
Управление на LED индикатори

Светодиодите се захранват с генератори на ток. Такива има в интегрално изпълнение.

Пример – NCR402T на Nexperia е параметричен, линеен генератор на ток в три-изводен SOT23 корпус.

$$I_F = 17 \div 23 \text{ mA.}$$

Table 2. Pinning information

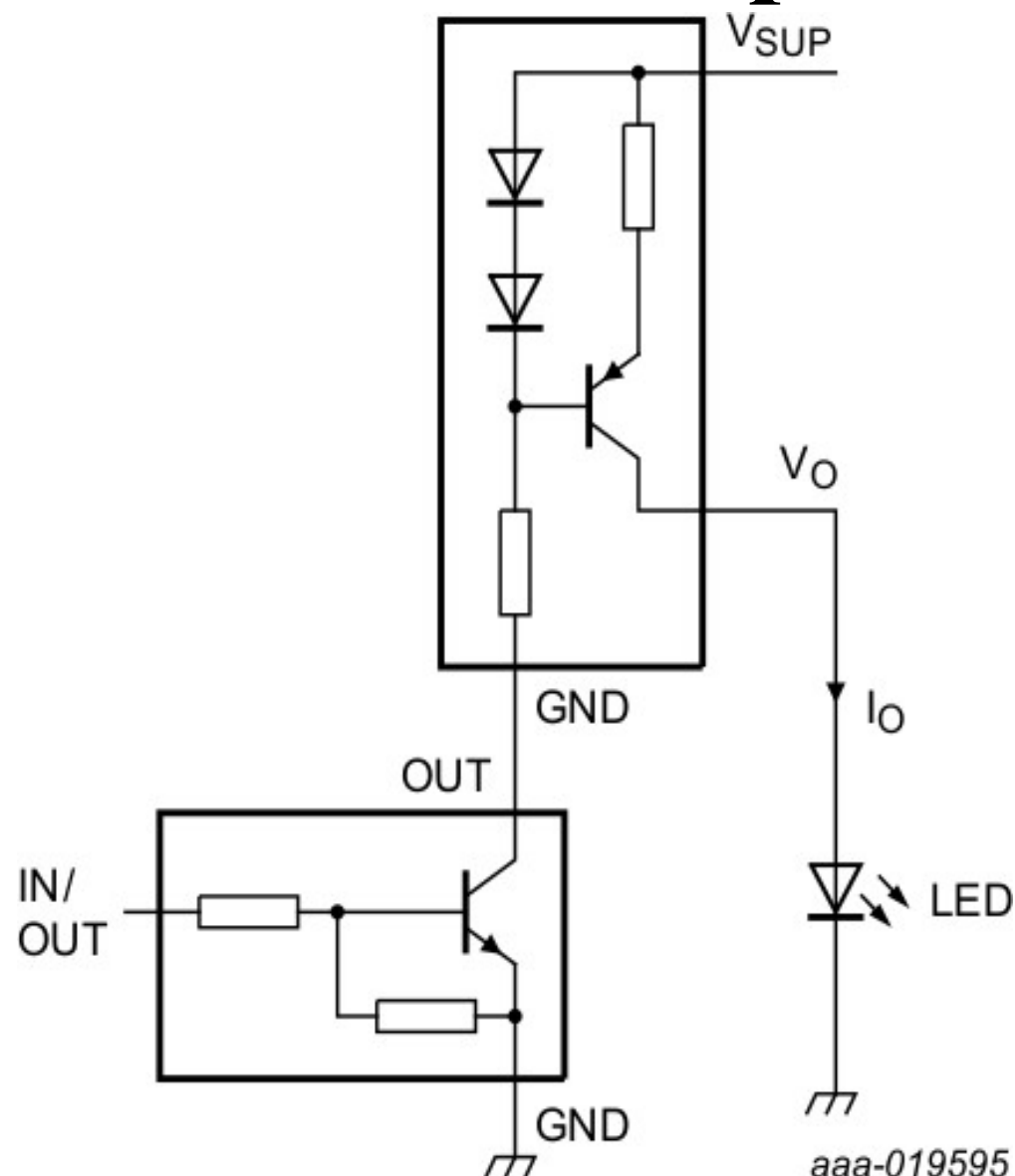
Pin	Symbol	Description	Simplified outline	Graphic symbol
1	GND	ground	 <p>TO-236AB (SOT23)</p>	 <p>aaa-019596</p>
2	V _{SUP}	supply voltage		
3	I _O /V _O	output current/output voltage		

Управление на LED индикатори

Захранващото напрежение V_{SUP} може да варира в широки граници $5 \div 20\text{ V}$.

За да стане управляем, генераторът се нуждае от електронен ключ. Така се получава схемата по-долу.

GPIO извода на микроконтролера се свързва към базата “IN/OUT” на цифровия транзистор.



Управление на LED индикатори

Такова схемно решение може да е подходящо за някои приложения (габаритните LED светлини на автомобил се проектират $50 \div 70 \text{ mA} / 12 \text{ V}$), но да се окаже **твърде скъпо** за други.

Затова схемата, показана преди два слайда, с **токоограничаващия резистор** се използва най-често за индикация на ел. панели. Тази схема разчита на две условия:

- *напрежението V_{DD} да е стабилизирано;

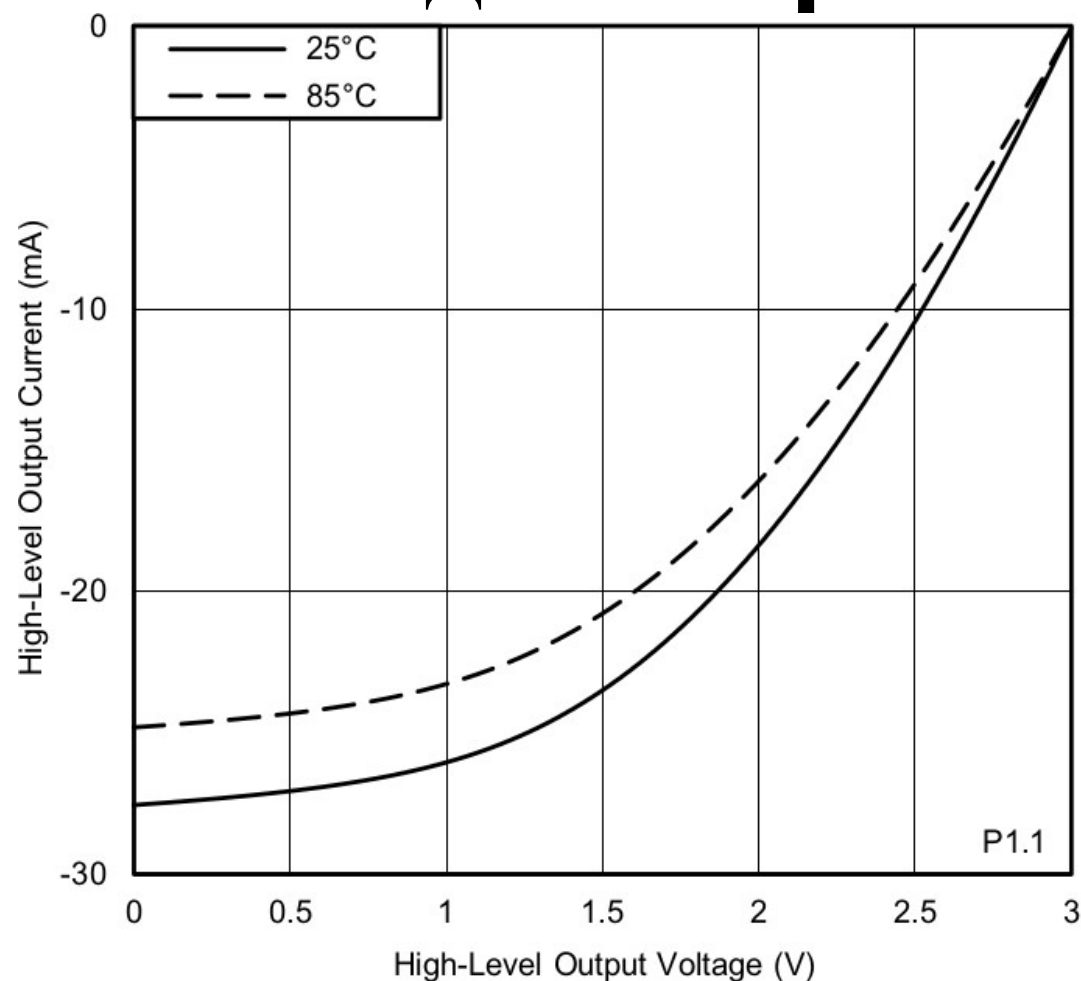
- *напрежението V_F да е неизменящо се.

Ако едно от двете не може да бъде гарантирано (V_{DD} се взима директно от батерия, V_F се променя от температурата/старееене), трябва да се използва управляем генератор на ток.

Управление на LED индикатори

Във формула (1) се прави едно допускане, за да се стигне до съкратената формула (2), и това е – приема се, че **високото логическо ниво на GPIO е равно на захранващото напрежение**.

Това, обаче, е **много грубо допускане**. Реално изходната характеристика на CMOS стъпало изглежда така (MSP430FR6989):



$V_{CC} = 3.0 \text{ V}$

Figure 5-12. Typical High-Level Output Current vs High-Level Output Voltage

Управление на LED индикатори

Тоест може да се окаже, че

$$*V_{\text{GPIOhigh}} = V_{\text{DD}} - 0.5 \text{ V при ток през светодиода } 10 \text{ mA}$$

$$*V_{\text{GPIOhigh}} = V_{\text{DD}} - 1 \text{ V при ток през светодиода } 20 \text{ mA}$$

което прави формула (2) невалидна.

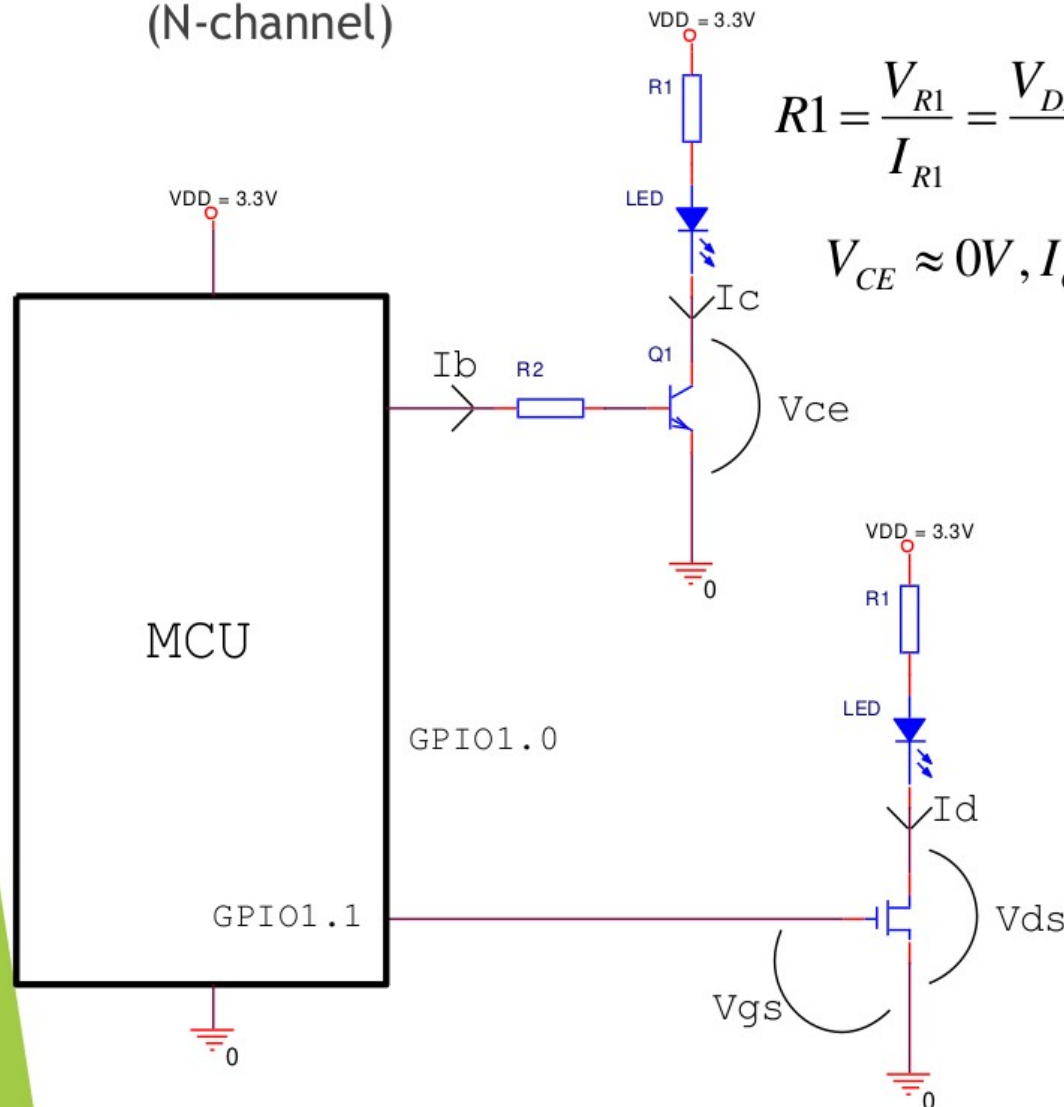
Затова изходите на μCU трябва да се **буферират с електронни ключове**. Тогава формула (2) винаги ще важи.

На следващия слайд са показани схеми за буфериране на изходите на μCU с NPN и NMOS транзистори.

ВНИМАНИЕ! $V_{\text{GStres}} = 1 \div 2 \text{ V}$ за контролери със захранване 3.3 V, иначе може да не отпусти NMOS-а.

Управление на LED индикатори

- Connecting an LED to a MCU with an electronic switch using bipolar (NPN) and MOS (N-channel)



$$R1 = \frac{V_{R1}}{I_{R1}} = \frac{V_{DD} - V_F - V_{CE}}{I_C} \approx \frac{V_{DD} - V_F}{I_F} \quad R2 = \frac{V_{R2}}{I_{R2}} = \frac{V_{DD} - V_{BE}}{I_B}$$

$$V_{CE} \approx 0V, I_C = I_F$$

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} = \frac{I_F}{h_{FE}}$$

$$R1 = \frac{V_{R1}}{I_{R1}} = \frac{V_{DD} - V_F - V_{DS}}{I_D} \approx \frac{V_{DD} - V_F}{I_F}$$

$$V_{DS} \approx 0V, I_D = I_F, V_{GS_threshold} \leq V_{DD}$$

Управление на LED индикатори

Интересно схемно решение може да се види в дебъгера на ST Microelectronics ST-Link: с един GPIO извод се управляват два светодиода.

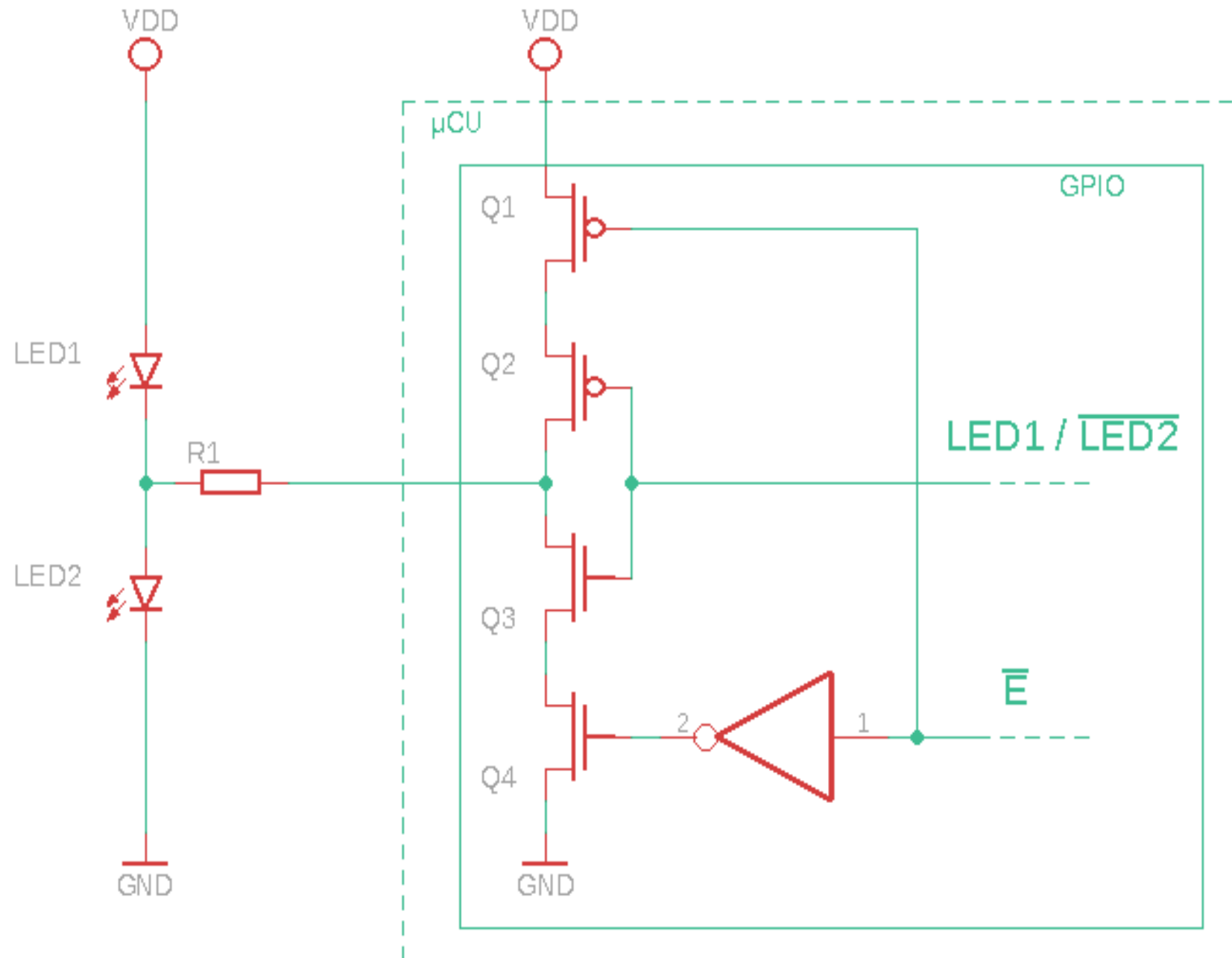
Когато !E = 0 се пуска светодиод, който е избран чрез сигнала LED1/!LED2. Когато Q3 и Q4 са отпушени, LED1 свети, LED2 е шунтиран. Когато Q1 и Q2 са отпушени, LED2 свети, LED1 е шунтиран.

Когато !E = 1, GPIO изводът е конфигуриран като вход и

$$V_{F1} + V_{F2} > VDD,$$

следователно и двата LED са изгасени.

Управление на LED индикатори



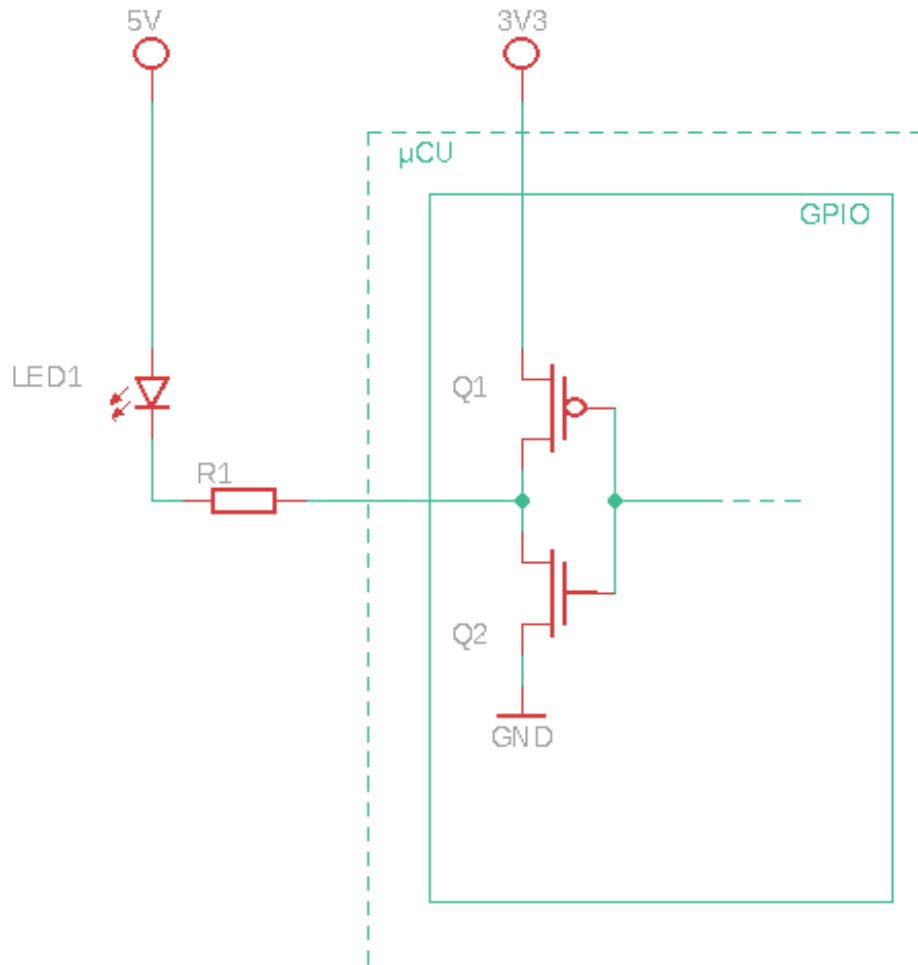
Управление на LED индикатори

Фундаментална грешка може да се допусне с ярък светодиод с голям пад, например с цвят синьо. Схемата вляво използва противотактно изходно стъпало (push-pull) и разчита, че при $\text{GPIO}_{\text{high}} = 3.3 \text{ V}$, а падът $5 - 3.3 = 1.7 \text{ V}$ няма да е достатъчен, за да отпусне диода. Всъщност, при ярките светодиоди светлина може да се види и при $10 \div 100 \mu\text{A}$, т.е. 1.7 V е в началото на ВАХ, но ток все пак ще протече и е **възможно диода да свети слабо**, когато уж трябва да е изключен.

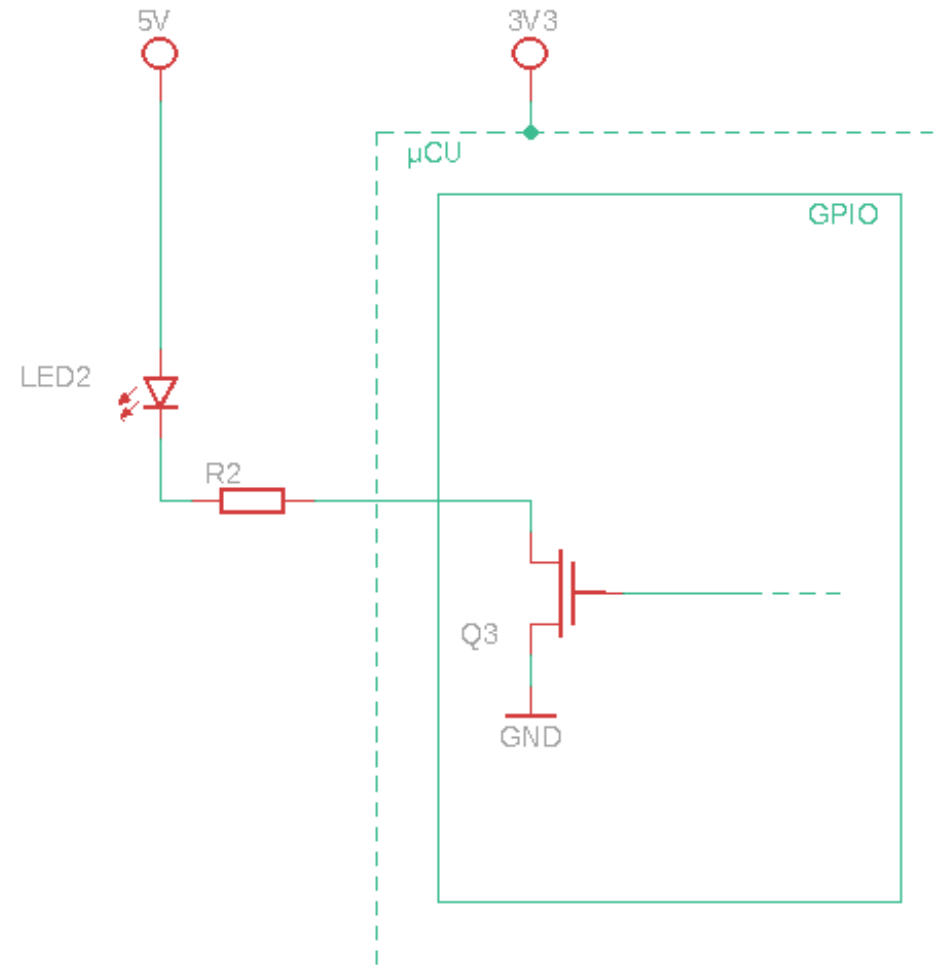
За да не се случва това, **трябва да се използва стъпало по схема отворен-дрейн.**

Управление на LED индикатори

НЕ!!!



ДА



Управление на LED индикатори

На пазара съществуват интегрирани в един корпус светодиоди с различни цветове. Най-често това са **дву- и трицветни светодиоди**.

Ако бъдат свързани към изходите на един таймер, **чрез ШИМ може да се изменя цвета на светодиода**, увеличавайки и намалявайки коефициента на запълване на всеки един цвят поотделно.

За да се получат всички видими цветове, трябва да се използва светодиод с интегрирани:

- *червено (R)

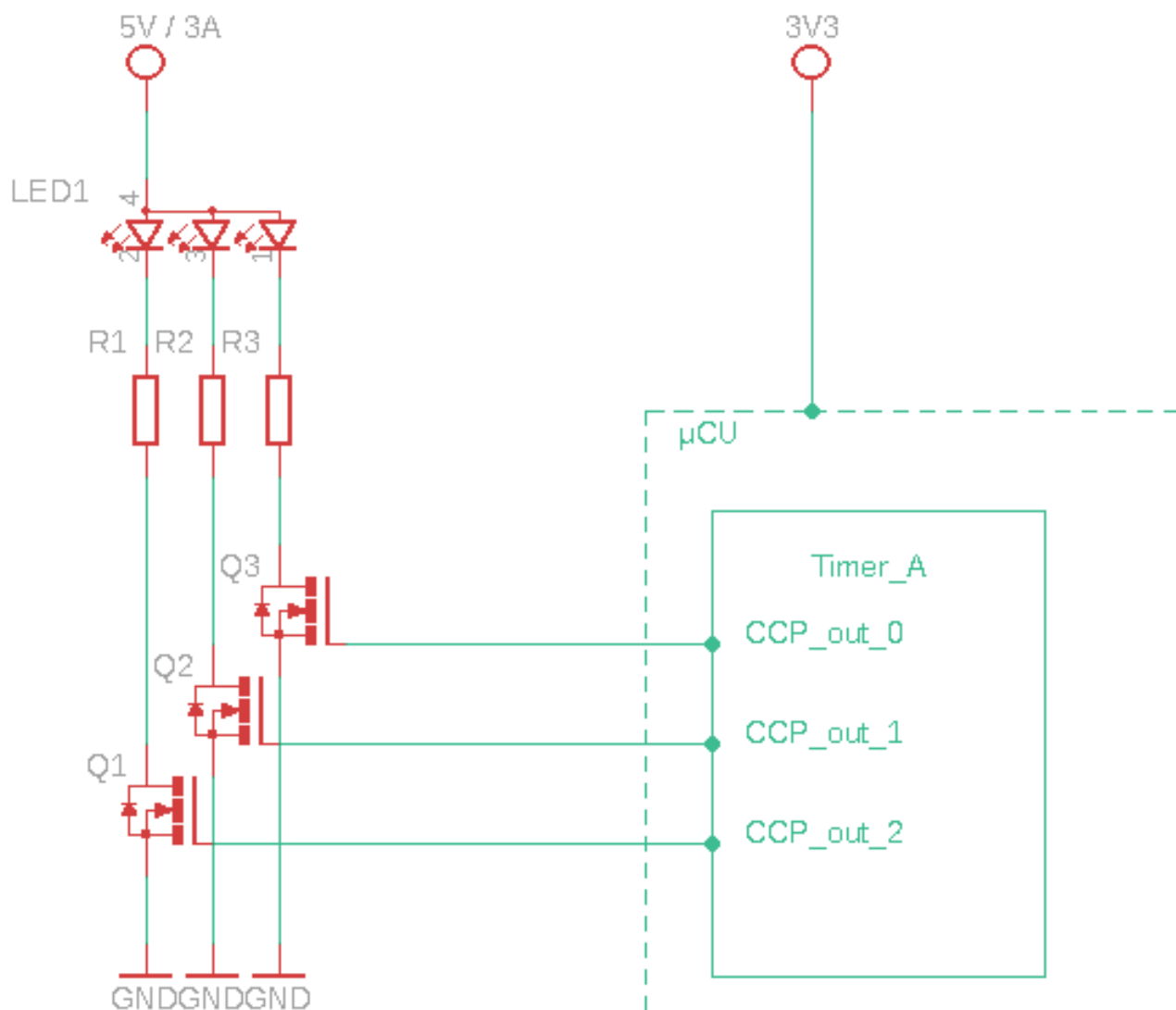
- *зелено (G)

- *синьо (B)

Тогава, за да се получи бял цвят, трябва да се зададе коеф. на запълване 100 % и на трите цвята.

Управление на LED индикатори

Управление на мощен RGB светодиод. Чрез използване на таймер в ШИМ режим, може да се направи лампа, чийто цвят се задава програмно.



Управление на LED индикатори

7-сегментните светодиодни индикатори могат да изобразяват цифри.

14-сегментните светодиодни индикатори могат да изобразяват цифри и букви[1].

В зависимост от това дали всеки сегмент се управлява с отделен сигнал, или съответните сегменти са свързани в паралел и в различни периоди от време се пускат само отделни сегменти, казва се че има два вида управление:

- *статична индикация;

- *динамична.

Управление на LED индикатори

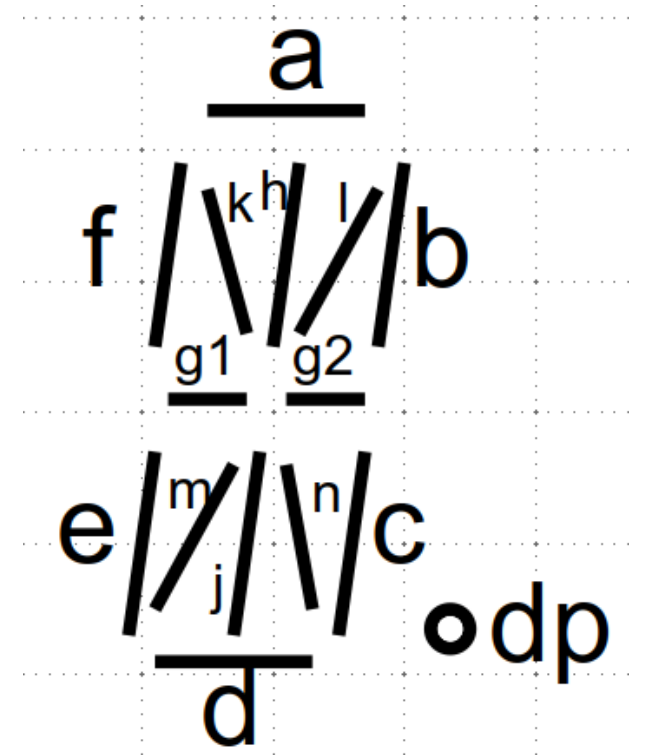
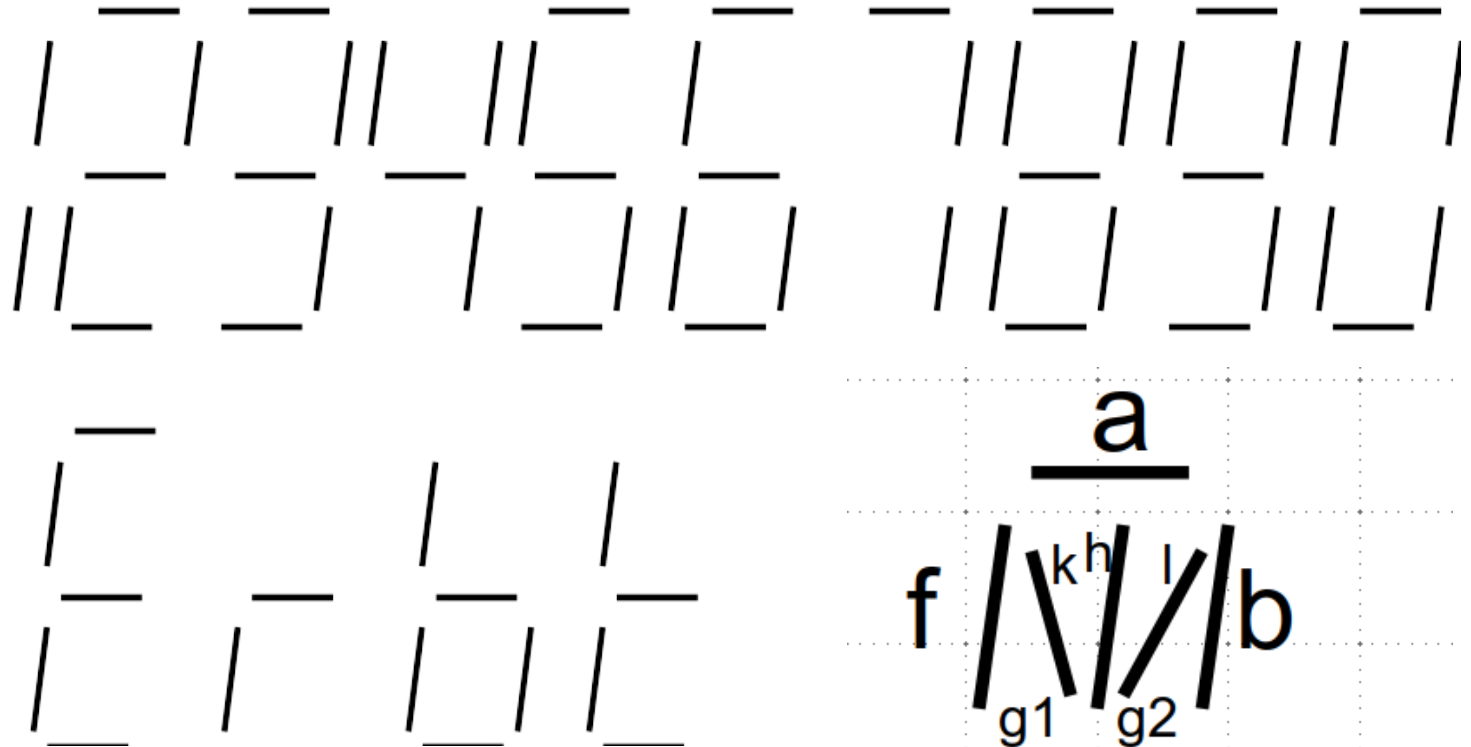
Статична индикация – за всеки сегмент от всеки индикатор има по един управляващ сигнал от GPIO порта на μ CU.

Предимство - във всеки един момент от времето на индикаторите се изобразяват зададените цифри. Ако се прави снимка или се снима видео на табло, индикацията ще бъде винаги видима.

Недостатък – необходимите изводи на μ CU растат пропорционално на броя на индикаторните елементи. Един индикатор ще заеме 8 извода, 2 \rightarrow 16 извода, 3 \rightarrow 24 извода, 4 \rightarrow 32 извода, 8 \rightarrow 64 извода и т.н.

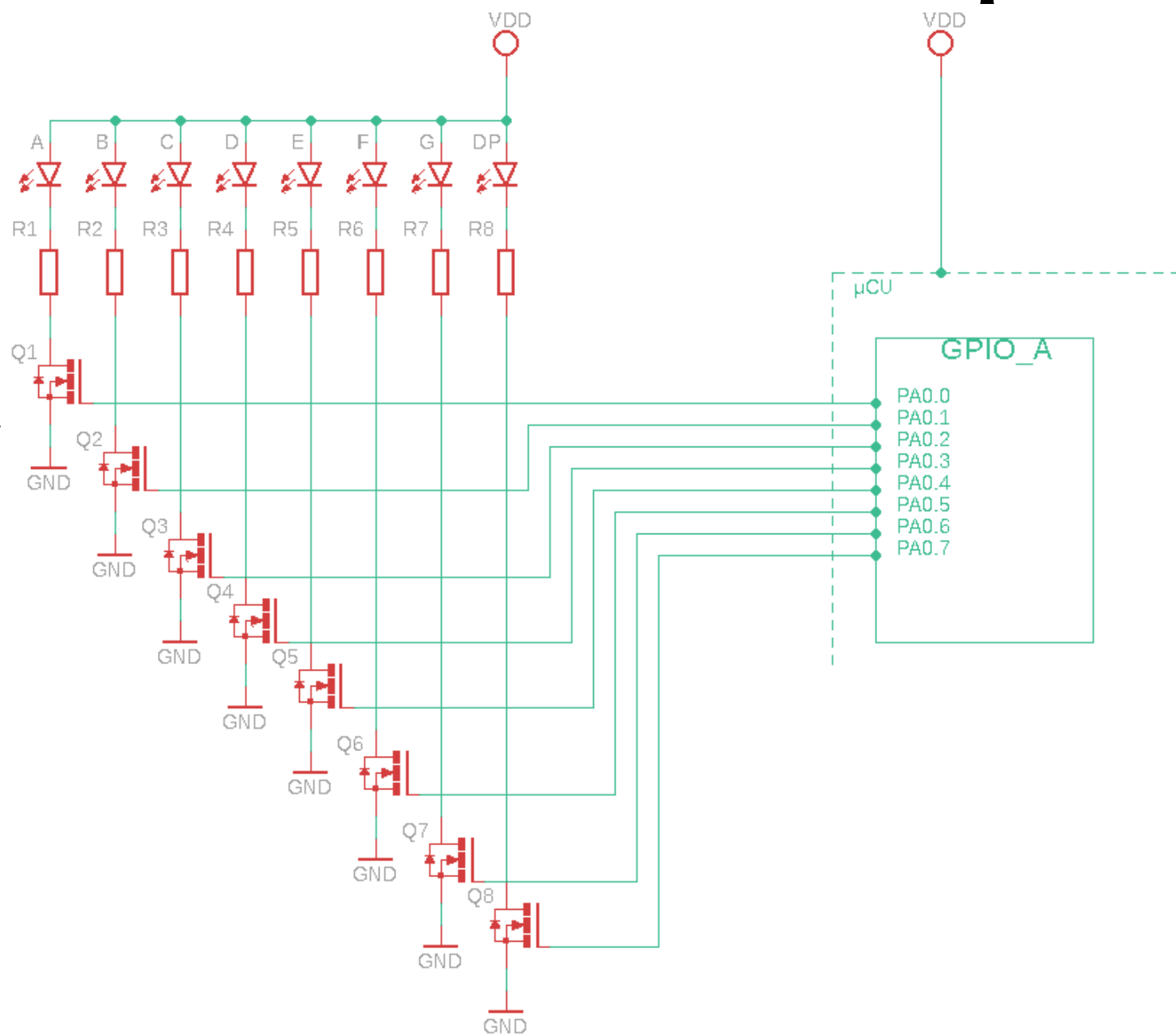
Управление на LED индикатори

$\begin{array}{c} \text{a} \\ \text{f} \text{ / } \underline{\text{g}} \text{ / } \text{b} \\ \text{e} \text{ / } \underline{\text{d}} \text{ / } \text{c} \bullet \text{dp} \end{array}$



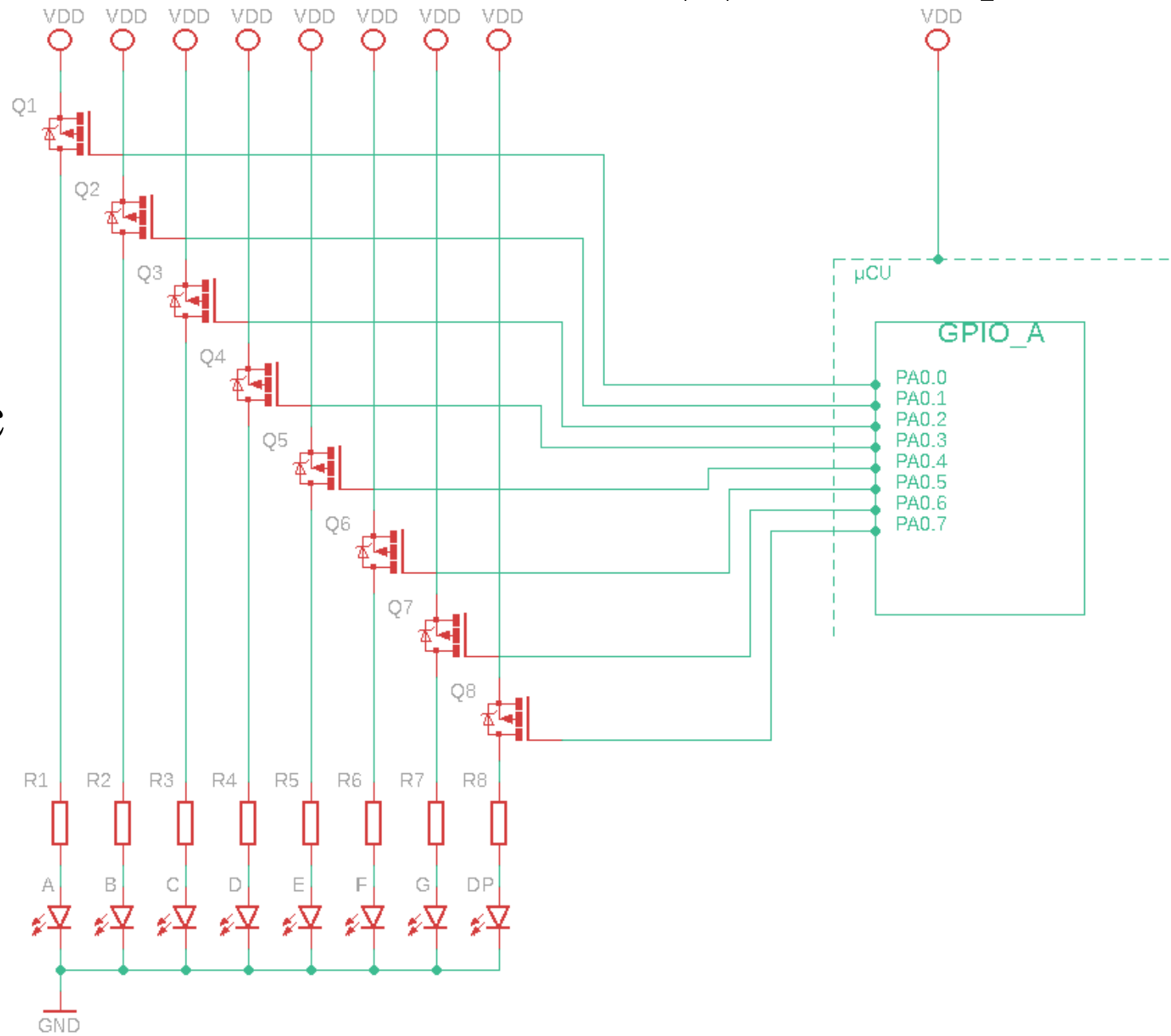
Управление на LED индикатори

Статична
индикация,
1x7-сегментен
индикатор,
общ анод,
ел. ключове с
MOSFET.



Управление на LED индикатори

Статична
индикация,
1x7-сегментен
индикатор,
общ катод,
ел. ключове с
MOSFET.



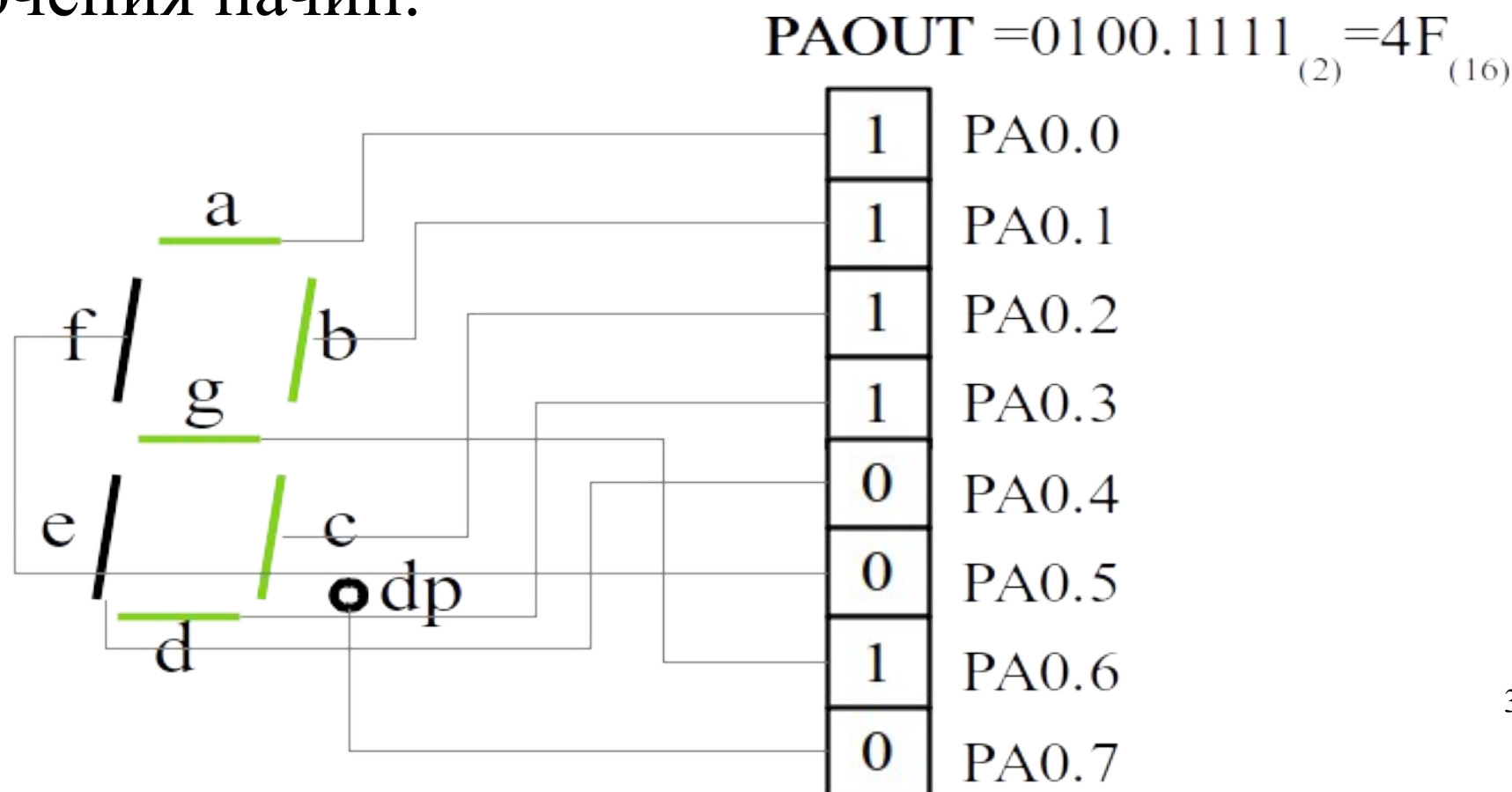
Управление на LED индикатори

ASCII таблица — таблица, която показва връзката на всяка буква (char) в езика C и ѝ съответстващото шестнадесетично число, което се записва в паметта на μ CU.

Dec	Hex	Char	Dec	Hex	Char	Dec	Hex	Char	Dec	Hex	Char
0	00	Null	32	20	Space	64	40	@	96	60	`
1	01	Start of heading	33	21	!	65	41	A	97	61	a
2	02	Start of text	34	22	"	66	42	B	98	62	b
3	03	End of text	35	23	#	67	43	C	99	63	c
4	04	End of transmit	36	24	\$	68	44	D	100	64	d
5	05	Enquiry	37	25	%	69	45	E	101	65	e
6	06	Acknowledge	38	26	&	70	46	F	102	66	f
7	07	Audible bell	39	27	'	71	47	G	103	67	g
8	08	Backspace	40	28	(	72	48	H	104	68	h
9	09	Horizontal tab	41	29	)	73	49	I	105	69	i
10	0A	Line feed	42	2A	*	74	4A	J	106	6A	j
11	0B	Vertical tab	43	2B	+	75	4B	K	107	6B	k
12	0C	Form feed	44	2C	,	76	4C	L	108	6C	l
13	0D	Carriage return	45	2D	-	77	4D	M	109	6D	m
14	0E	Shift out	46	2E	.	78	4E	N	110	6E	n
15	0F	Shift in	47	2F	/	79	4F	O	111	6F	o
16	10	Data link escape	48	30	0	80	50	P	112	70	p
17	11	Device control 1	49	31	1	81	51	Q	113	71	q
18	12	Device control 2	50	32	2	82	52	R	114	72	r
19	13	Device control 3	51	33	3	83	53	S	115	73	s
20	14	Device control 4	52	34	4	84	54	T	116	74	t
21	15	Neg. acknowledge	53	35	5	85	55	U	117	75	u
22	16	Synchronous idle	54	36	6	86	56	V	118	76	v
23	17	End trans. block	55	37	7	87	57	W	119	77	w
24	18	Cancel	56	38	8	88	58	X	120	78	x
25	19	End of medium	57	39	9	89	59	Y	121	79	y
26	1A	Substitution	58	3A	:	90	5A	Z	122	7A	z
27	1B	Escape	59	3B	;	91	5B	[	123	7B	{
28	1C	File separator	60	3C	<	92	5C	\	124	7C	|
29	1D	Group separator	61	3D	=	93	5D	]	125	7D	}
30	1E	Record separator	62	3E	>	94	5E	^	126	7E	~
31	1F	Unit separator	63	3F	?	95	5F	_	127	7F	□

Управление на LED индикатори

Пример – за да се изобрази цифрата 3 на индикатора, в изходния регистър на GPIO порта, който се казва PAOUT, трябва да се запише числото 0x4F, ако управляващите сигнали са свързани към сегментите по посочения начин.



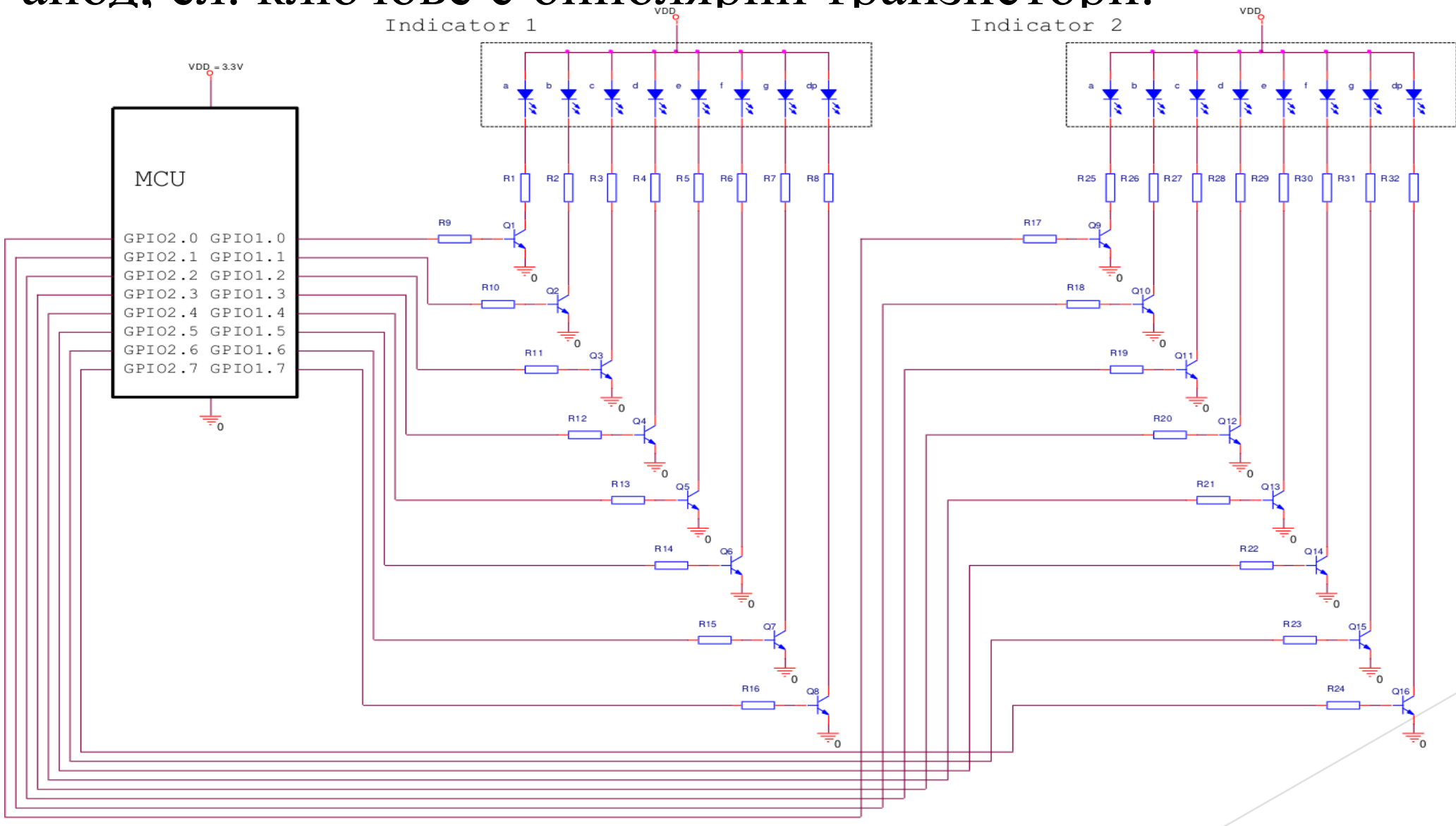
Управление на LED индикатори

Пример – използване на статична индикация и таблица на съответствието в LPC845.

```
const uint8_t digit_map_char[12] = {  
    0x3F, //0 (0)  
    0x06, //1 (1)  
    0x5B, //2 (2)  
    0x4F, //3 (3)  
    0x66, //4 (4)  
    0x6D, //5 (5)  
    0x7D, //6 (6)  
    0x07, //7 (7)  
    0x7F, //8 (8)  
    0x6F, //9 (9)  
    0x40, //- (10)  
    0x00, //*space* (11)  
};  
  
uint8_t char_to_encoded_number(char ch){  
    uint8_t digit;  
    uint8_t encoded_num = 0;  
  
    if(ch >= '0' && ch <= '9'){  
        digit = ch - 0x30;  
  
        if(digit < 12){  
            encoded_num = digit_map_char[digit];  
        }  
    }  
  
    if(ch == ' '){  
        encoded_num = digit_map_char[11];  
    }  
  
    return encoded_num;  
}
```

Управление на LED индикатори

Статична индикация, 2x7-сегментни индикатори, общ анод, ел. ключове с биполярни транзистори.



Управление на LED индикатори

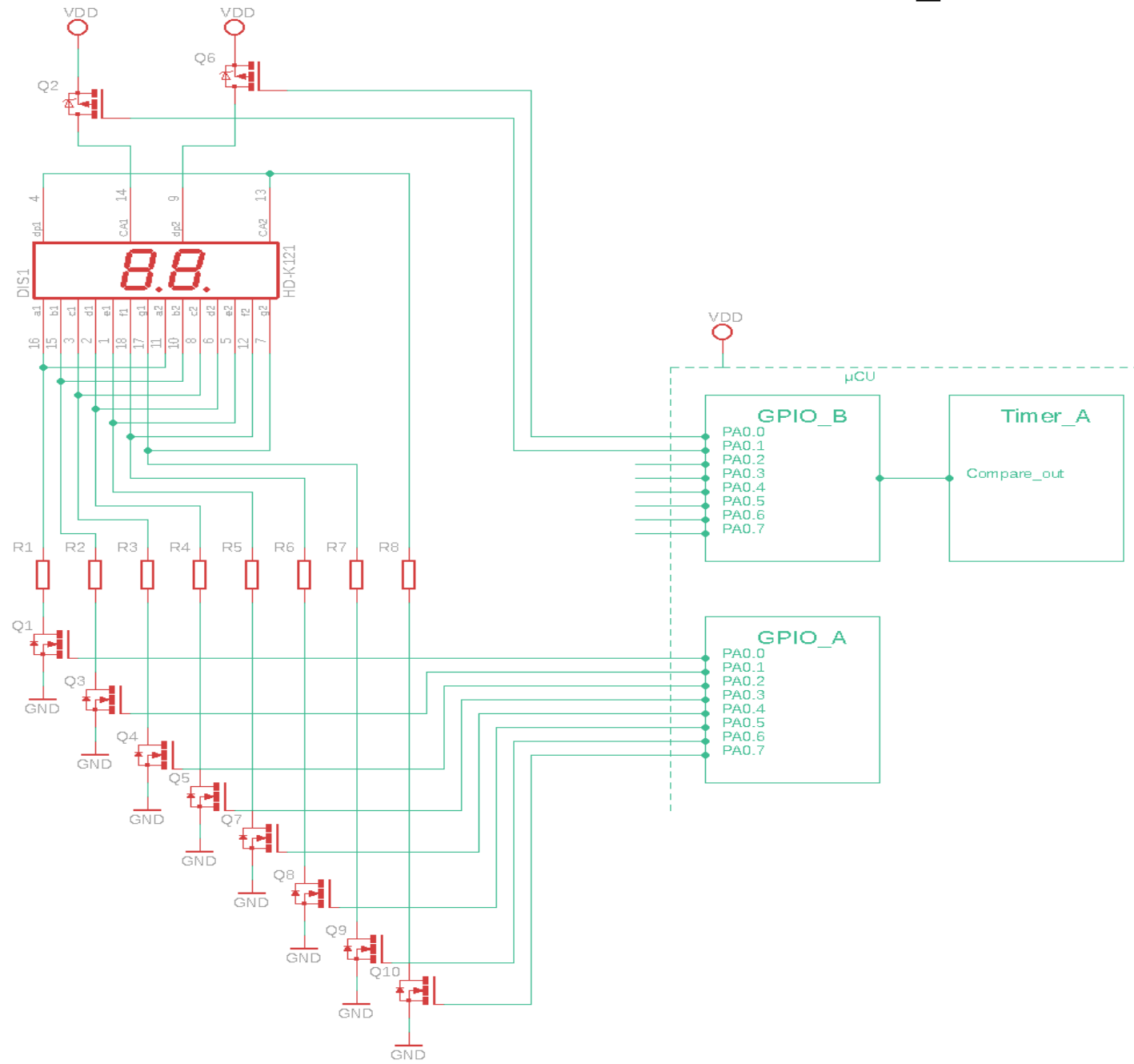
Динамична индикация – съответстващите сегменти на различните индикатори се свързват в паралел и има допълнителни сигнали за избор на индикатор. Тези сигнали се превключват във времето много бързо, така че човешкото око да не забележи и да вижда псевдо-едновременно всички цифри, на всички индикатори.

Предимство – броят на управляващите сигнали е по-малък от този на статичната индикация. Един индикатор ще заеме 8 извода, $2 \rightarrow 10$ извода, $3 \rightarrow 11$ извода, $4 \rightarrow 12$ извода, $8 \rightarrow 16$ извода и т.н.

Недостатък – в даден момент от времето се изобразява само една цифра и ако панела се заснеме с фотоапарат или видеокамера, ще се виждат само някои от цифрите.

Управление на LED индикатори

Динамична индикация,
2x7-сегментен индикатор,
общ анод,
ел. ключове с MOSFET.
Токът през Q1 и Q5 е 8 пъти по-голям от останалите транзистори.



Управление на LED индикатори

Пример - използване на динамична индикация и таблица на съответствието в LPC845 за обхождане на 8 индикатора.

Функцията `segm_led_callback` се извиква периодично на всяка 1 ms.

Променливата `digit` съдържа номера на индикаторния елемент, който в настоящия квант от време е активен.

За сегментите и за избор на индикатор се използват 2 преместващи регистъра, които намаляват броя на използваните изводи от 16 на 3.

Управление на LED индикатори

```
void segm_led_callback(void){
    uint8_t encoded_num;
    uint8_t dot = 0;
    static uint8_t digit = 1;

    if(digit < 5){
        encoded_num = char_to_encoded_number(line_1_buff[digit-1]);

        if(line_1_dot_position == digit){
            dot = 1;
        }
        segm_led_show_digit(1, digit, encoded_num, dot);
    }
    else{
        encoded_num = char_to_encoded_number(line_2_buff[digit-5]);

        if(line_2_dot_position == (digit-4)){
            dot = 1;
        }
        segm_led_show_digit(2, digit-4, encoded_num, dot);
    }
    digit++;

    if(digit > 8){
        digit = 1;
    }
}
```

//12.34
//5.678
char line_1_buff[5] = {'1', '2', '3', '4'};
uint8_t line_1_dot_position = 2;
char line_2_buff[5] = {'5', '6', '7', '8'};
uint8_t line_2_dot_position = 1; 36/44

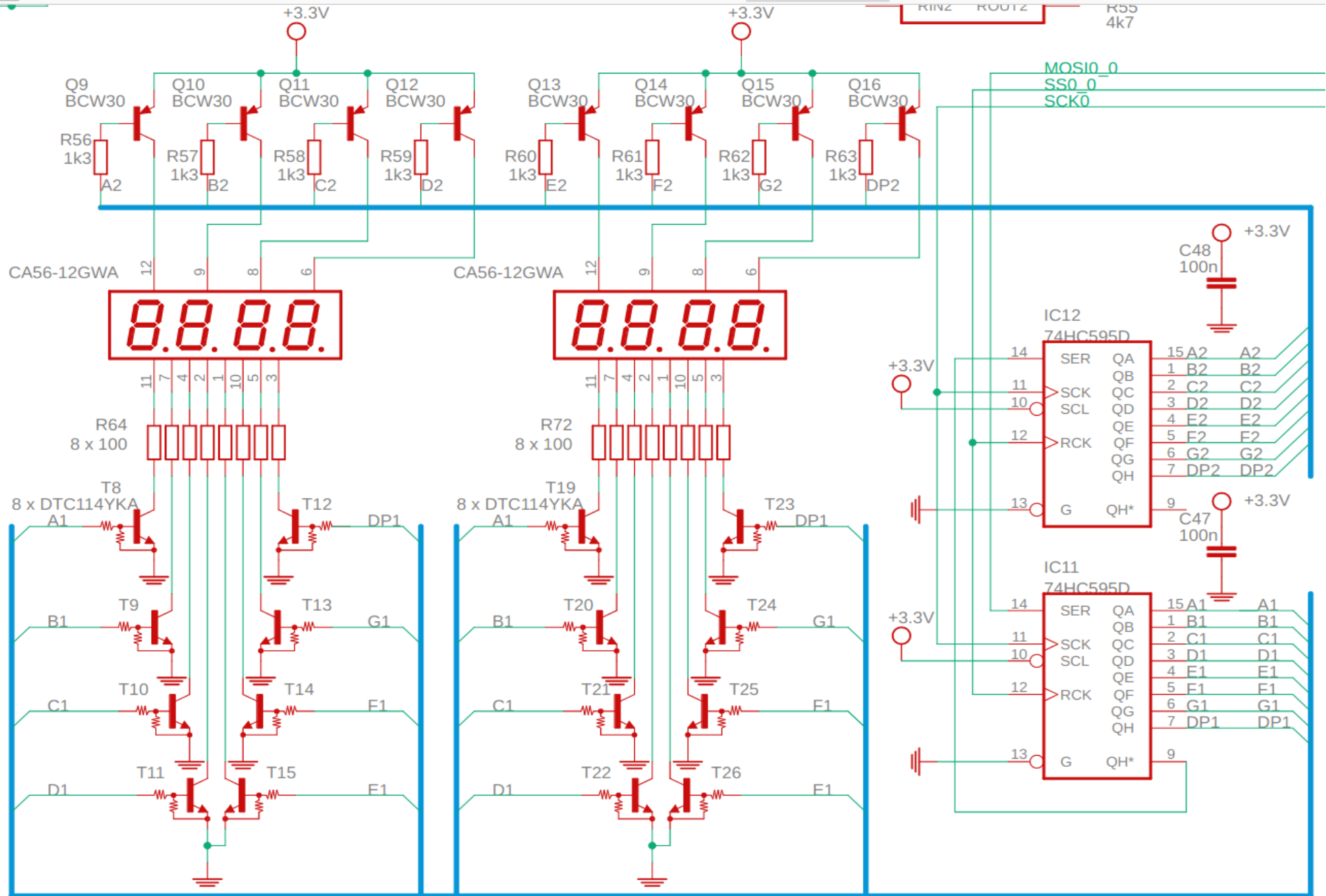
Управление на LED индикатори

```
void segm_led_show_digit(
uint8_t line_number,
uint8_t digit_position,
uint8_t segments,
uint8_t dot
){
    uint8_t tx_buff[2] = { 0x00, 0xFF };

    switch(line_number){
    case 1:
        switch(digit_position){
        case 1:
            tx_buff[1] &= ~BIT0;
            break;
        case 2:
            tx_buff[1] &= ~BIT1;
            break;
        case 3:
            tx_buff[1] &= ~BIT2;
            break;
        case 4:
            tx_buff[1] &= ~BIT3;
            break;
        }
        break;
    case 2:
        switch(digit_position){
        case 1:
            tx_buff[1] &= ~BIT4;
            break;
        case 2:
            tx_buff[1] &= ~BIT5;
            break;
        case 3:
            tx_buff[1] &= ~BIT6;
            break;
        case 4:
            tx_buff[1] &= ~BIT7; }
        break;
    }
    break;
    if(dot){
        segments |= 0x80;
    }
    tx_buff[0] = segments;

    while(pps_flags.spi_busy){ }
    spi_busy = 1;
    GPIO_PinWrite(GPIO, 1, 7, 0);
    spi_write_half_word(tx_buff);
    GPIO_PinWrite(GPIO, 1, 7, 1);
    spi_busy = 0;
}
```

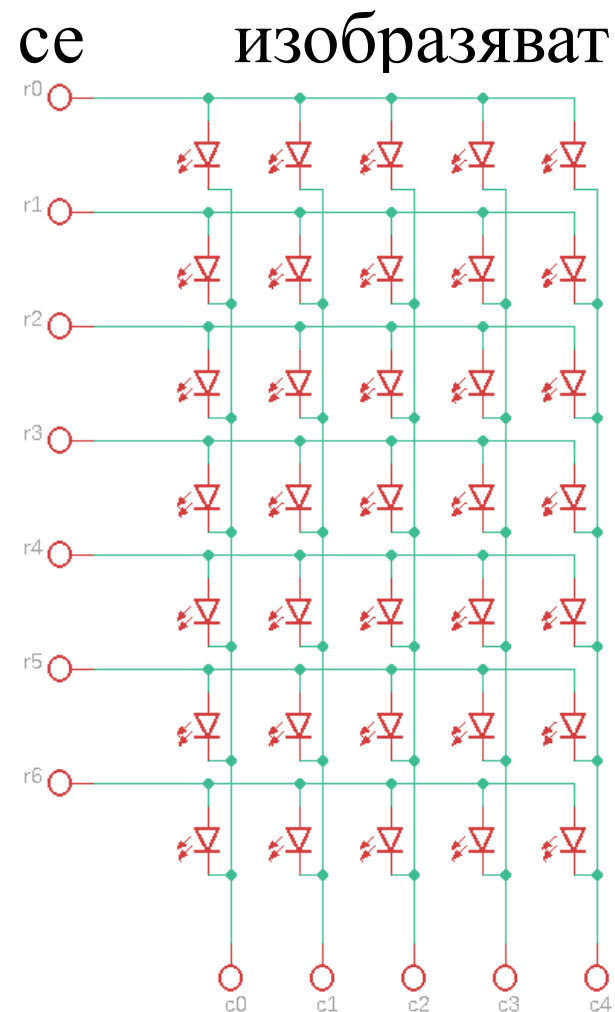
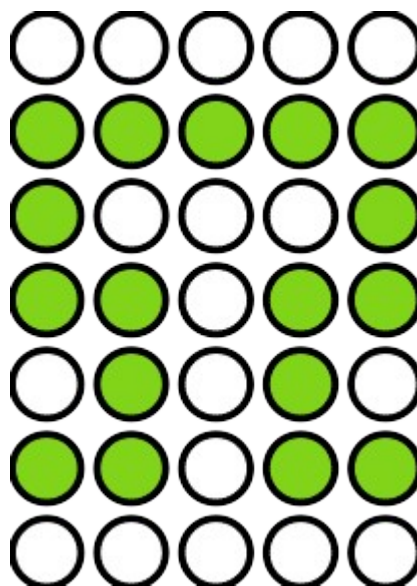
Управление на LED индикатори



Управление на LED индикатори

Управление на **LED матрица** (LED dot matrix)– светодиоди /едноцветни или многоцветни/ се разполагат един до друг в пластмасов корпус. Подреждат се в квадрат или правоъгълник. С тяхна помощ може да се изобразяват букви/цифри/специални символи.

Анодите на светодиодите от всеки ред са свързани накъсо, също и катодите от всяка колона. Задължително се използва динамична индикация.

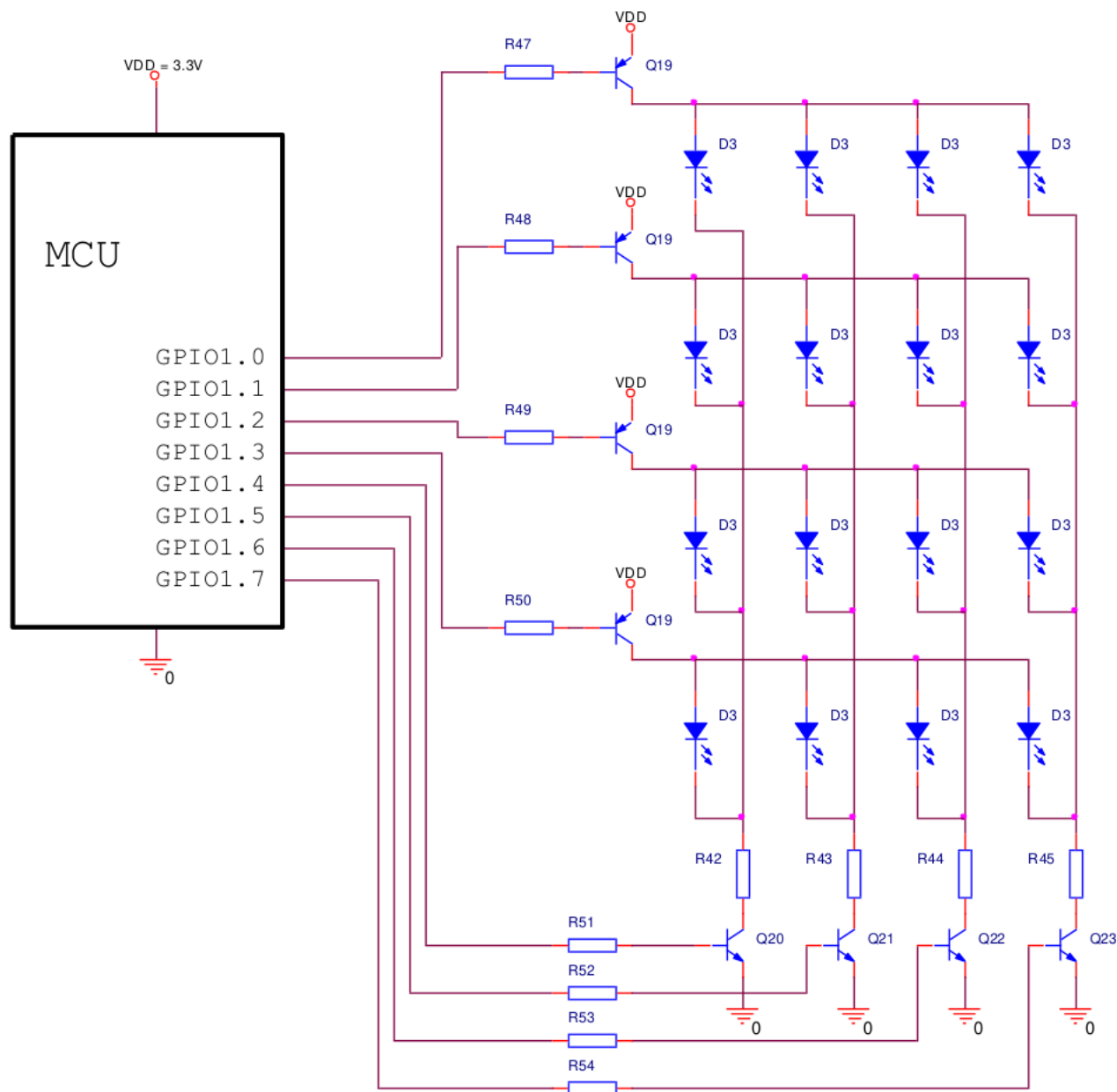


Управление на LED индикатори

Динамична индикация, матричен светодиоден индикатор, ел. ключове с биполярни транзистори.

Транзисторите на редовете трябва да издържат тока на всички пиксели, докато тр. на колоните – само на 1 светодиод.

Обхождането (опресняването) става по редове.



Управление на LED индикатори

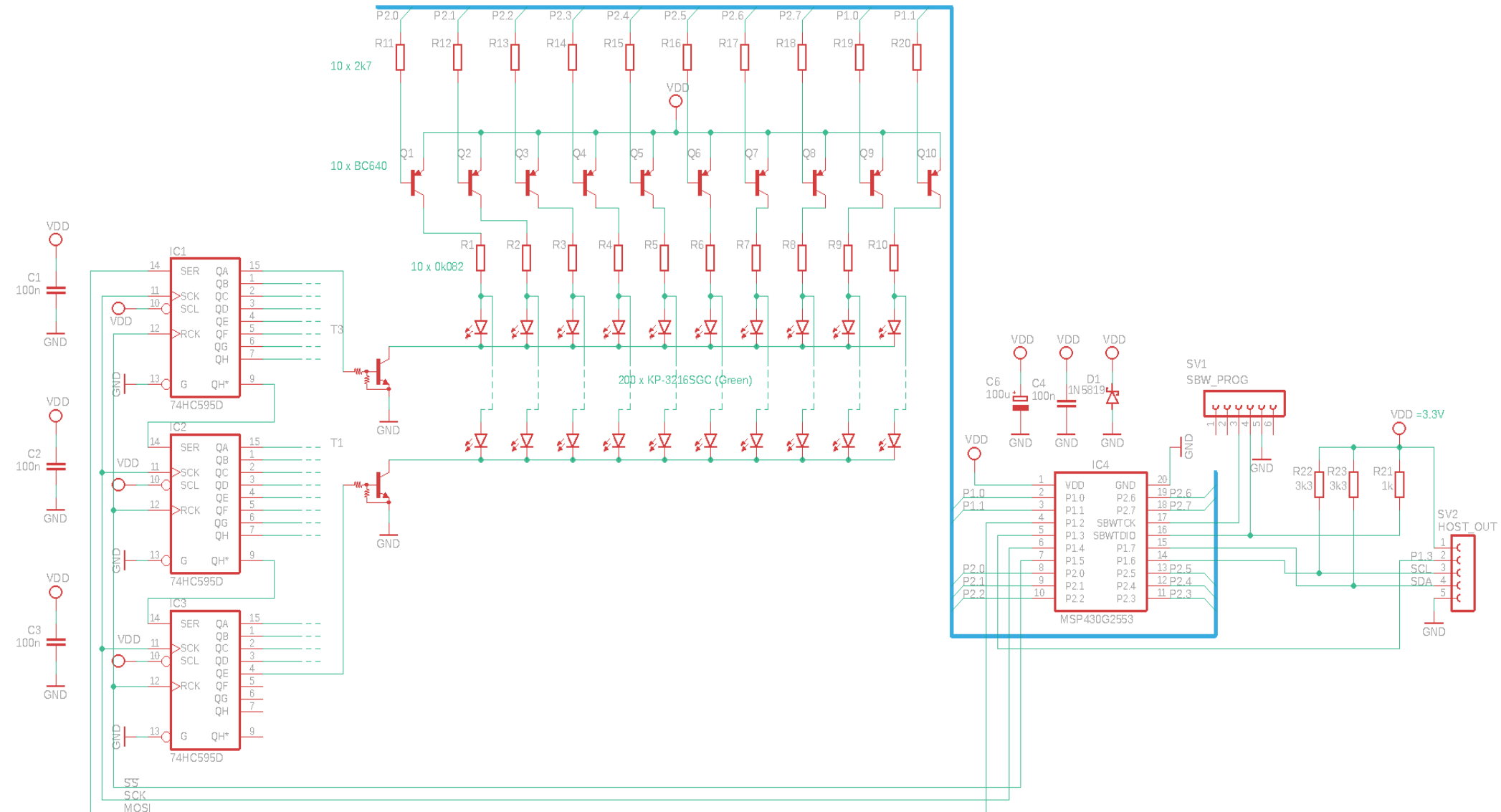
Пример – управление на зелена светодиодна матрица с резолюция 10x20. Изображението се зарежда по I2C интерфейс. Управлението е реализирано с MSP430G2553.

По I2C се приемат 2 байта, от които само 10 бита се използват. Всеки бит отговаря на един светодиод от съответния ред.

Таймер реализира обхождането на редовете. Когато контролера на дисплея е готов да приеме данни за нов ред, изработва синхро-сигнал на P1.3. Тогава главното устройство (HOST) трябва да изпрати данните за следващия ред и т.н.

Показано е свързване общ катод на всеки ред / общ анод на всяка колона. Обхождането е ред по ред.

Управление на LED индикатори



Управление на LED индикатори

```
int main(void){
    uint8_t i;
    uint16_t row_data;

    WDTCTL = WDTPW + WDT HOLD;

    init();

    while(1){
        set_sync(1);
        for(i = 0; i < 20; i++){
            row_data = i2c_recv[i][0];
            row_data |= (i2c_recv[i][1]<<8);
            draw_row(i, row_data);
            __bis_SR_register(CPUOFF + GIE); //Awaken by timer & i2c interrupt
        }
        set_sync(0);
        __delay_cycles(1000000);
    }
}
```

Литература

- [1]Г. Михов, “Цифрова схемотехника”, ТУ-София, 1999.
- [2]L-115WGYW Datasheet, Kingbright, 2003.
- [3]CLM1B-RKW/AKW Product Family Datasheet, CREE, 2011.