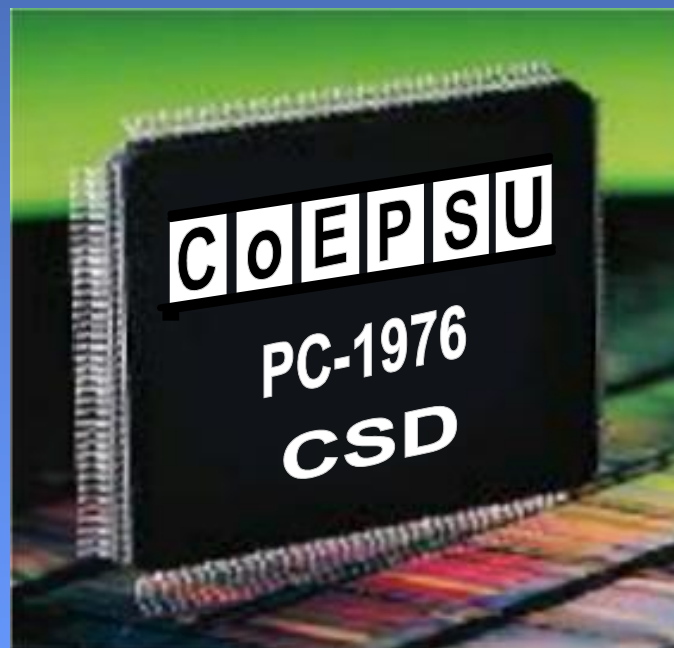


Department of Computer Engineering
Faculty of Engineering
Prince of Songkla University

240-319

Embedded System Developer Module



March 23, 2023

Associate Prof. Dr. Panyayot Chaikan
panyayot@coe.psu.ac.th



Chapter 2

เทคนิคการอินเทอร์เน็ตเฟส 1





เนื้อหา

การอินเตอร์เฟซแอลอีดี

การเชื่อมต่อแอลอีดีชนิด 7 ส่วน

การเชื่อมต่อแอลอีดีชนิด 7 ส่วนด้วยวิธีมัลติเพล็กซ์

การเชื่อมต่อสวิตช์จำนวนมาก

การเชื่อมต่อคีย์แพ็ค

การเชื่อมต่อแอลอีดีแบบชาร์ลีเพลิกซ์

การเชื่อมต่อโดยใช้ฮอปโตคับเปลอร์ รีเลย์





ลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้า

(Electrical Characteristics) ของพอร์ต

- ◆ ค่าแรงดันอินพุตขณะเป็นตรรกะต่ำ ใช้สัญลักษณ์ตัวย่อว่า V_{IL} (ย่อมาจาก Input Low Voltage)
- ◆ ค่าแรงดันอินพุตขณะเป็นตรรกะสูง ใช้สัญลักษณ์ตัวย่อว่า V_{IH} (ย่อมาจาก Input High Voltage)
- ◆ ค่าแรงดันเอาต์พุตขณะเป็นตรรกะต่ำ ใช้สัญลักษณ์ตัวย่อว่า V_{OL} (ย่อมาจาก Output Low Voltage)
- ◆ ค่าแรงดันเอาต์พุตขณะเป็นตรรกะสูง ใช้สัญลักษณ์ตัวย่อว่า V_{OH} (ย่อมาจาก Output High Voltage)



ลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้า

(Electrical Characteristics) ของพอร์ต

- ◆ ค่ากระแสอินพุตขณะเป็นตรรกะต่ำ ใช้สัญลักษณ์ตัวย่อว่า I_{IL} (ย่อมาจาก Low-level Input Current)
- ◆ ค่ากระแสอินพุตขณะเป็นตรรกะสูง ใช้สัญลักษณ์ตัวย่อว่า I_{IH} (ย่อมาจาก High-level Input Current)
- ◆ ค่ากระแสเอาต์พุตขณะเป็นตรรกะต่ำ ใช้สัญลักษณ์ตัวย่อว่า I_{OL} (ย่อมาจาก Low-level Output Current)
- ◆ ค่ากระแสเอาต์พุตขณะเป็นตรรกะสูง ใช้สัญลักษณ์ตัวย่อว่า I_{OH} (ย่อมาจาก High-level Output Current)





ค่าลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้า ของตัวประมวลผลในชุด ATmega

สัญลักษณ์	คำอธิบาย	เงื่อนไข	ค่าต่ำสุด	ค่าปกติ	ค่าสูงสุด	หน่วย
V_{IL}	ค่าแรงดันอินพุตขณะเป็นตรรกะต่ำ (ยกเว้นขา XTAL1 และขา RESET)	$V_{CC}=1.8V-2.4V$	-0.5	-	$0.2V_{CC}$	V
		$V_{CC}=2.4V-5.5V$	-0.5	-	$0.3V_{CC}$	V
V_{IH}	ค่าแรงดันอินพุตขณะเป็นตรรกะสูง (ยกเว้นขา XTAL1 และขา RESET)	$V_{CC}=1.8V-2.4V$	$0.7V_{CC}$	-	$V_{CC}+0.5$	V
		$V_{CC}=2.4V-5.5V$	$0.6V_{CC}$	-	$V_{CC}+0.5$	V
V_{OL}	ค่าแรงดันเอาต์พุตขณะเป็นตรรกะต่ำ (ยกเว้นขา RESET)	$I_{OL}=20mA, V_{CC}=5V$	-	-	0.9	V
		$I_{OL}=10mA, V_{CC}=3V$	-	-	0.6	V
V_{OH}	ค่าแรงดันเอาต์พุตขณะเป็นตรรกะสูง (ยกเว้นขา RESET)	$I_{OL}=-20mA, V_{CC}=5V$	4.2	-	-	V
		$I_{OL}=-10mA, V_{CC}=3V$	2.3	-	-	V
I_{IL}	ค่ากระแสอินพุตขณะเป็นตรรกะต่ำ	$V_{CC}=5V$ (ค่าสัมบูรณ์)			1	μA
I_{IH}	ค่ากระแสอินพุตขณะเป็นตรรกะสูง	$V_{CC}=5V$ (ค่าสัมบูรณ์)			1	μA
I_{OL}	ค่ากระแสเอาต์พุตขณะเป็นตรรกะต่ำ	$V_{CC}=5V$		20		mA
		$V_{CC}=3V$		10		mA
I_{OH}	ค่ากระแสเอาต์พุตขณะเป็นตรรกะสูง	$V_{CC}=5V$		20		mA
		$V_{CC}=3V$		10		mA



ค่าลักษณะเฉพาะทางไฟฟ้า

ของตัวประมวลผลในชุด ATmega

- ◆ ค่ากระแสไหลออก (I_{OH}) ของขา PC0-PC5, PD0-PD4, ADC7 และ RESET รวมกันจะต้องไม่เกิน 150 mA
- ◆ ค่ากระแสไหลออก (I_{OH}) ของขา PB0-PB5, PD5-PD7, ADC6, XTAL1 และ XTAL2 รวมกันจะต้องไม่เกิน 150 mA
- ◆ ค่ากระแสไหลเข้า (I_{OL}) ของขา PC0-PC5, ADC7 และ ADC6 รวมกันจะต้องไม่เกิน 100 mA
- ◆ ค่ากระแสไหลเข้า (I_{OL}) ของขา PB0-PB5, PD5-PD7, XTAL1 และ XTAL2 รวมกันจะต้องไม่เกิน 100 mA
- ◆ ค่ากระแสไหลเข้า (I_{OL}) ของขา PD0-PD4 และขา RESET รวมกันจะต้องไม่เกิน 100 mA



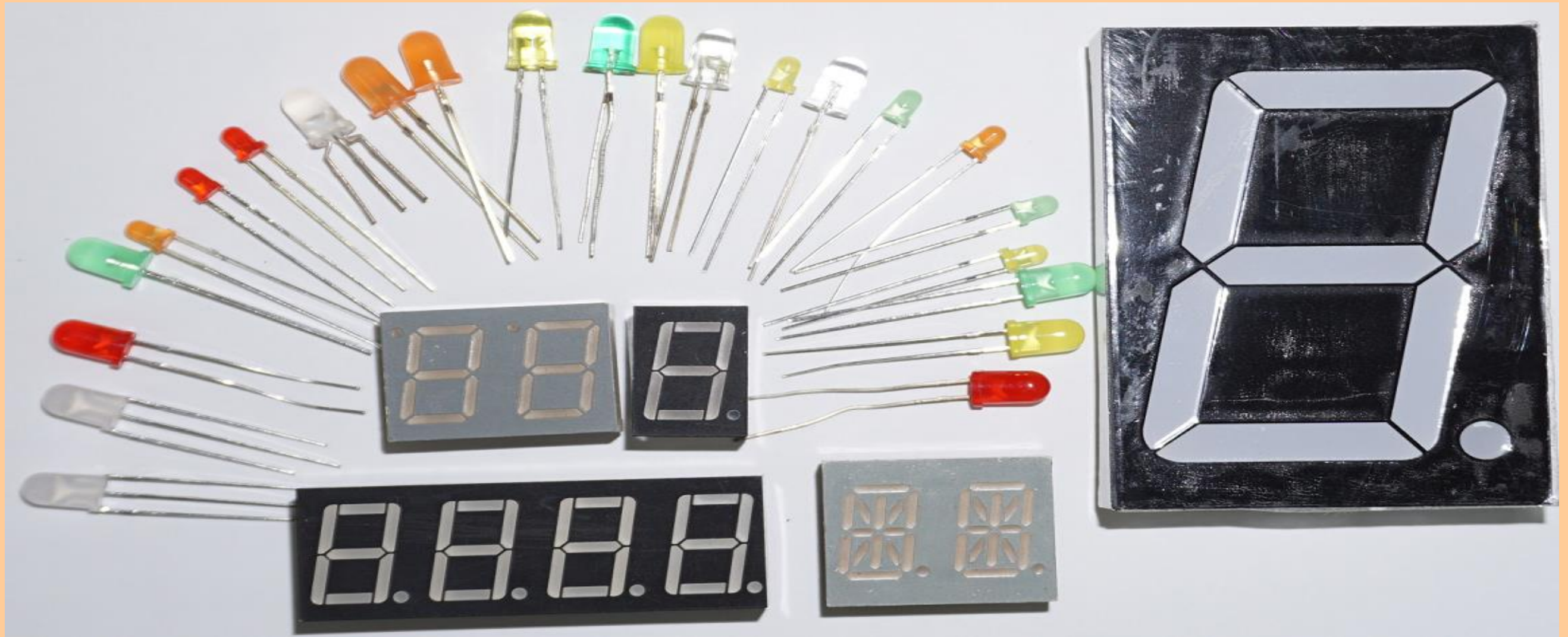


ขาของ ATmega 328P

(PCINT14/RESET) PC6	<input type="checkbox"/>	1	28	<input type="checkbox"/>	PC5 (ADC5/SCL/PCINT13)
(PCINT16/RxD) PD0	<input type="checkbox"/>	2	27	<input type="checkbox"/>	PC4 (ADC4/SDA/PCINT12)
(PCINT17/TxD) PD1	<input type="checkbox"/>	3	26	<input type="checkbox"/>	PC3 (ADC3/PCINT11)
(PCINT18/INT0) PD2	<input type="checkbox"/>	4	25	<input type="checkbox"/>	PC2 (ADC2/PCINT10)
(PCINT19/OC2B/INT1) PD3	<input type="checkbox"/>	5	24	<input type="checkbox"/>	PC1 (ADC1/PCINT9)
(PCINT20/XCK/T0) PD4	<input type="checkbox"/>	6	23	<input type="checkbox"/>	PC0 (ADC0/PCINT8)
VCC	<input type="checkbox"/>	7	22	<input type="checkbox"/>	GND
GND	<input type="checkbox"/>	8	21	<input type="checkbox"/>	AREF
(PCINT6/XTAL1/TOSC1) PB6	<input type="checkbox"/>	9	20	<input type="checkbox"/>	AVCC
(PCINT7/XTAL2/TOSC2) PB7	<input type="checkbox"/>	10	19	<input type="checkbox"/>	PB5 (SCK/PCINT5)
(PCINT21/OC0B/T1) PD5	<input type="checkbox"/>	11	18	<input type="checkbox"/>	PB4 (MISO/PCINT4)
(PCINT22/OC0A/AIN0) PD6	<input type="checkbox"/>	12	17	<input type="checkbox"/>	PB3 (MOSI/OC2A/PCINT3)
(PCINT23/AIN1) PD7	<input type="checkbox"/>	13	16	<input type="checkbox"/>	PB2 (SS/OC1B/PCINT2)
(PCINT0/CLKO/ICP1) PB0	<input type="checkbox"/>	14	15	<input type="checkbox"/>	PB1 (OC1A/PCINT1)



การขับแอลอีดี



หมายเหตุ ถ่ายภาพโดยผู้จัดทำ





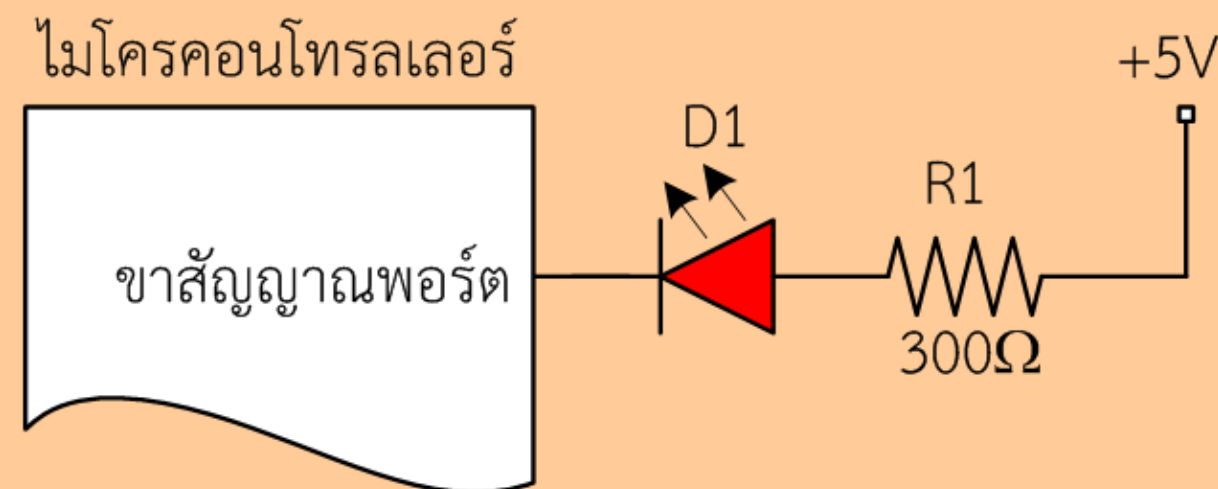
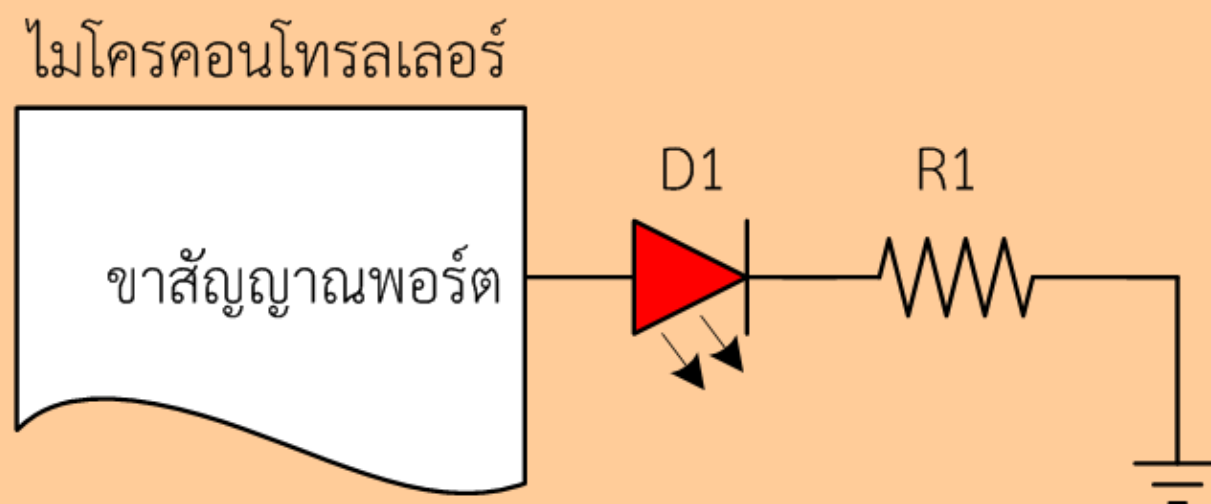
คุณสมบัติที่สำคัญของแอลอีดี

- ◆ ค่ากระแสไปหน้าต่อเนื่อง (IF : Continuous Forward Current)
 - ◆ คือ ค่ากระแสสูงสุดที่แอลอีดีตัวนั้น ๆ สามารถรับได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่เกิดความเสียหายหรือถูกทำลายเมื่อแอลอีดีได้รับการไบแอสไปหน้า
- ◆ ค่าแรงดันไปหน้า (VF : Forward Voltage)
 - ◆ คือ ค่าแรงดันตกคร่อมตัวแอลอีดีเมื่อได้รับการไบแอสไปหน้า



การขับแอลอีดี (LED)

- ◆ ค่าแรงดันไปหน้า และ กระแสไปหน้าของแอลอีดีโดยทั่วไปเท่ากับ 2 V และ 10 mA



- ◆ $R = 3/10\text{mA} = 300 \text{ ohm}$



ตัวอย่างคุณสมบัติของแอลอีดีหมายเลขรุ่น LTL-1CHGE

พารามิเตอร์				ค่าประเมินสูงสุด (ที่ 25 °C)
อัตราสูญเสียกำลังเป็นความร้อน (Power Dissipation)				100 mW
ค่ากระแสไปหน้าแบบเสิร์จ (Surge forward current) (ที่ค่าวัฏจักรหน้าที่ 10 %, และความกว้างของพัลส์เท่ากับ 0.1 มิลลิวินาที)				120 mA
กระแสไปหน้าต่อเนื่อง				30 mA
แรงดันย้อนกลับ (V_R)				5 V
พารามิเตอร์	ค่าต่ำสุด	ค่าปรกติ	ค่าสูงสุด	เงื่อนไขทดสอบ
ความเข้มของการเปล่งแสง	12.6 mcd	40 mcd	-	ที่ $I_F = 10$ mA
ความยาวคลื่นสูงสุดที่ปล่อยออกมา	-	565 nm	-	
ความยาวคลื่นเด่น (Dominant wavelength)	568 nm	573 nm	578 nm	
แรงดันไปหน้า	-	2.1 V	2.6 V	ที่ $I_F = 20$ mA
กระแสย้อนกลับ	-	-	100 μ A	ที่ $V_R = 5$ V
ค่าความจุไฟฟ้า (Capacitance)	-	35 pF	-	ที่ $V_F=0$, ความถี่ 1 MHz

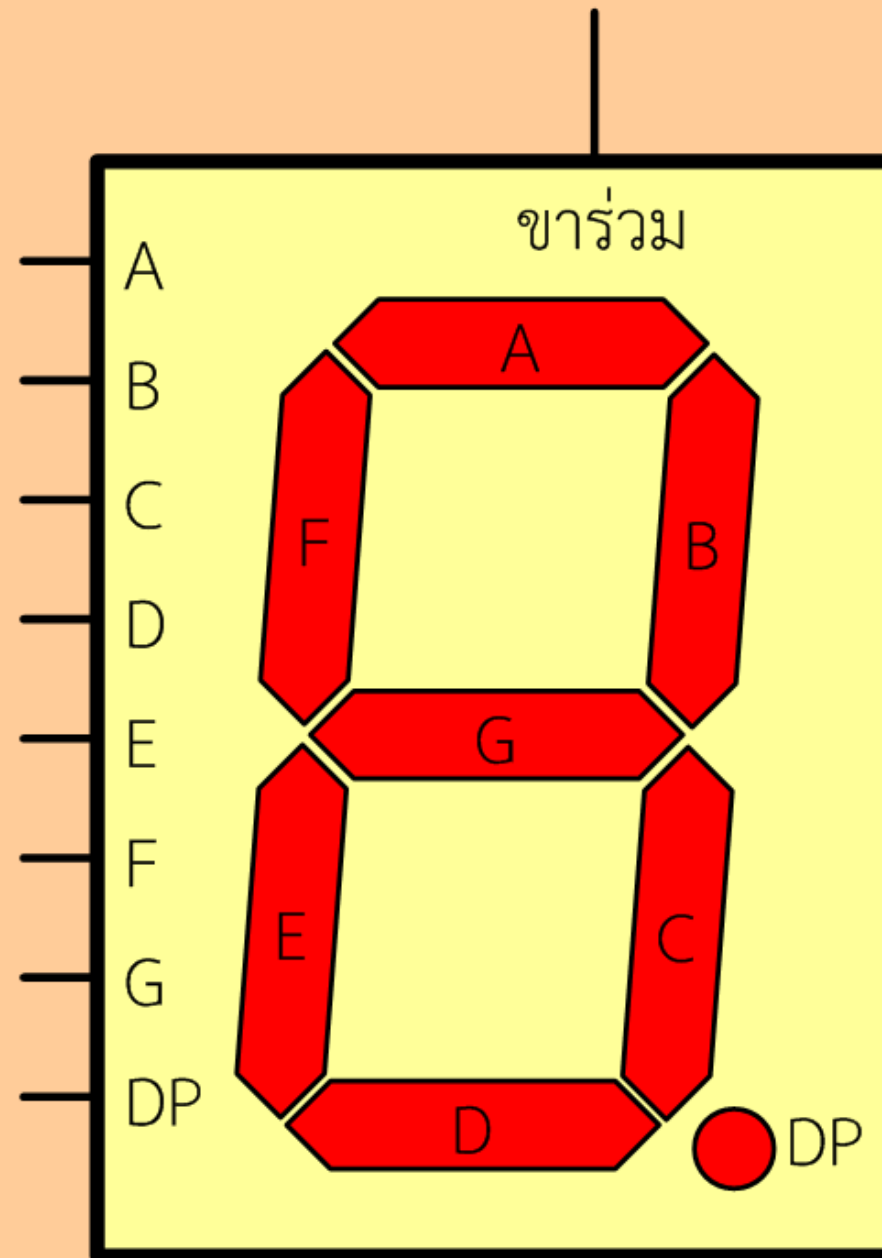


แอลอีดีชนิดกระแสต่ำ

ผู้ผลิต	หมายเลขรุ่น	ความยาวคลื่นของแสง ที่เปล่งออกมา (nm)	V_F	I_F
Kingbright	WP7113LID [3]	617	1.7 V	2 mA
Kingbright	WP7113LYD [4]	588	1.85 V	2 mA
Vishay	TLLR5401 [5]	612	1.9 V	2 mA
Vishay	VLMA3100-GS08 [6]	588	2.2 V	2 mA
OSA OptoLight	OLS-256 HD [7]	615	1.9 V	1.9 mA
OSA OptoLight	OLS-156 BB460 [8]	461.5	2.6 V	1.2 mA

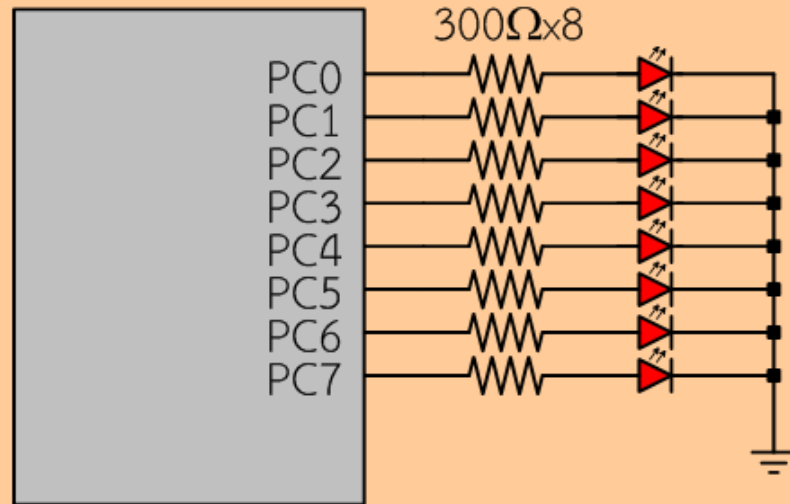


แอลอีดีชนิด 7 ส่วน



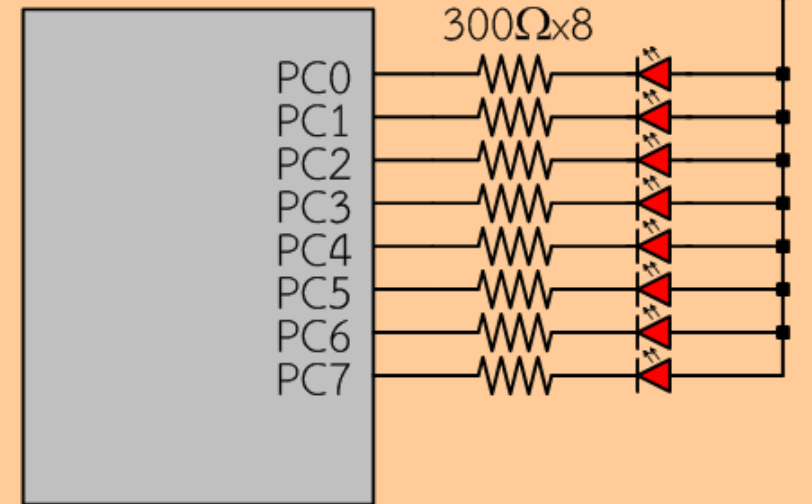
การขับแอลอีดีชนิด 7 ส่วน

ไมโครคอนโทรลเลอร์

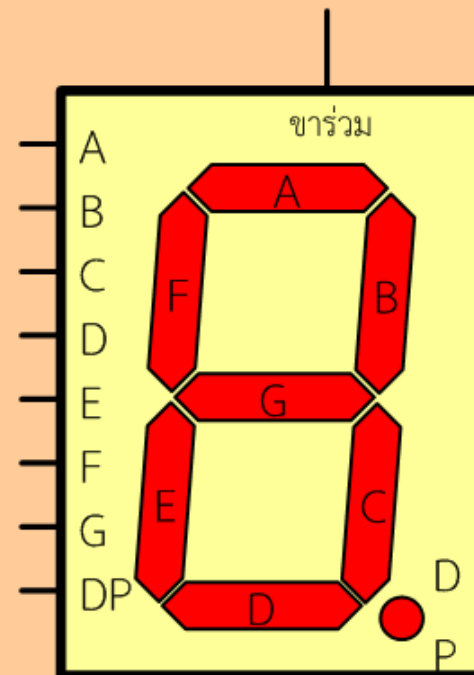


ชนิดแคโทดร่วม

ไมโครคอนโทรลเลอร์

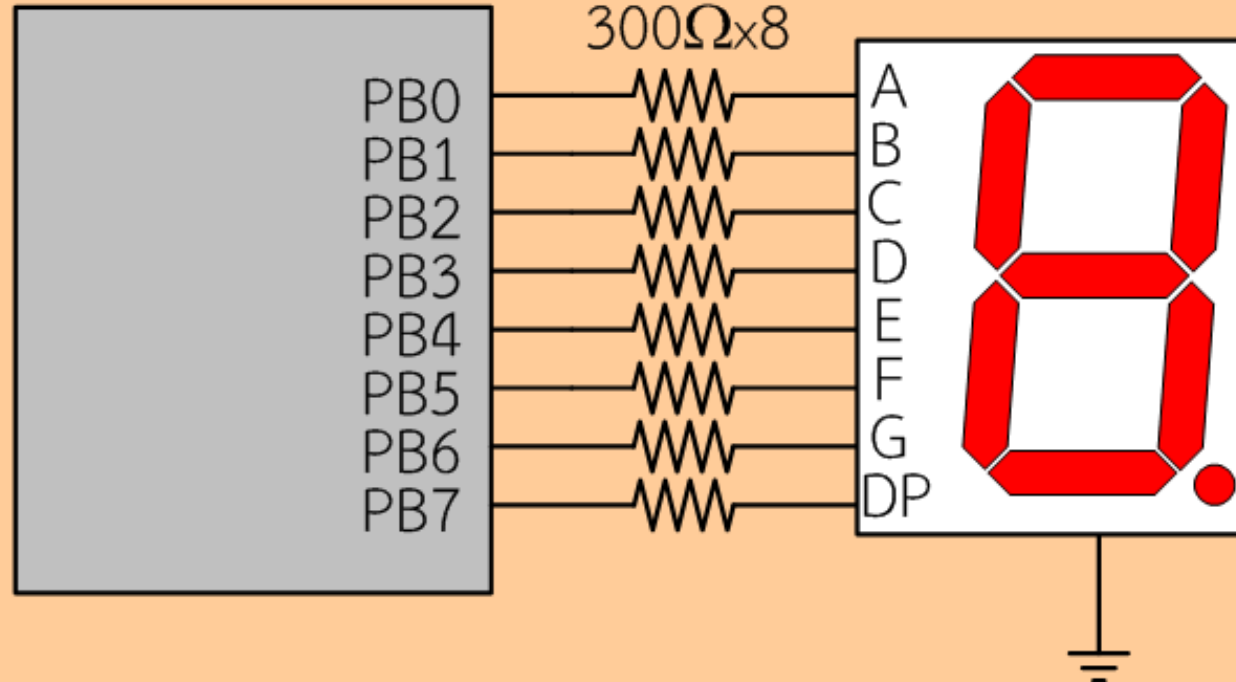


ชนิดแอโนดร่วม

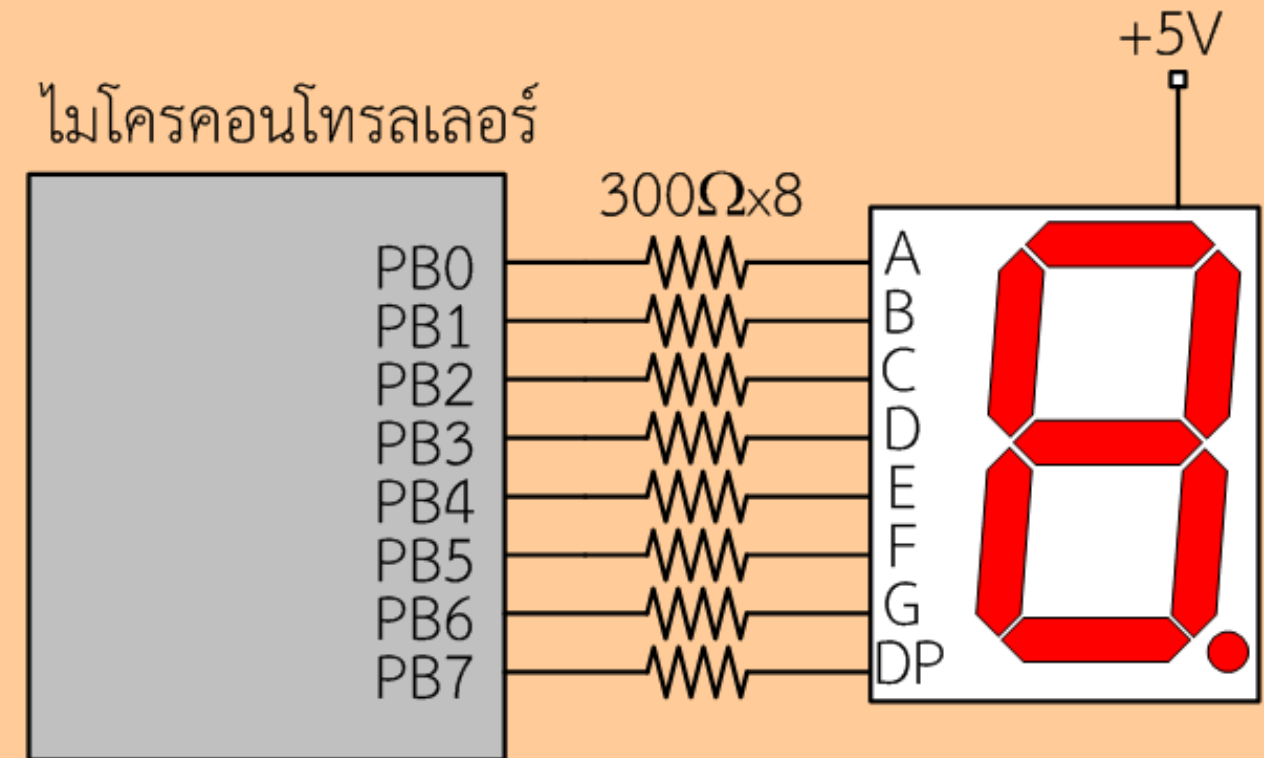


การขับแอลอีดีชนิด 7 ส่วน

ไมโครคอนโทรลเลอร์

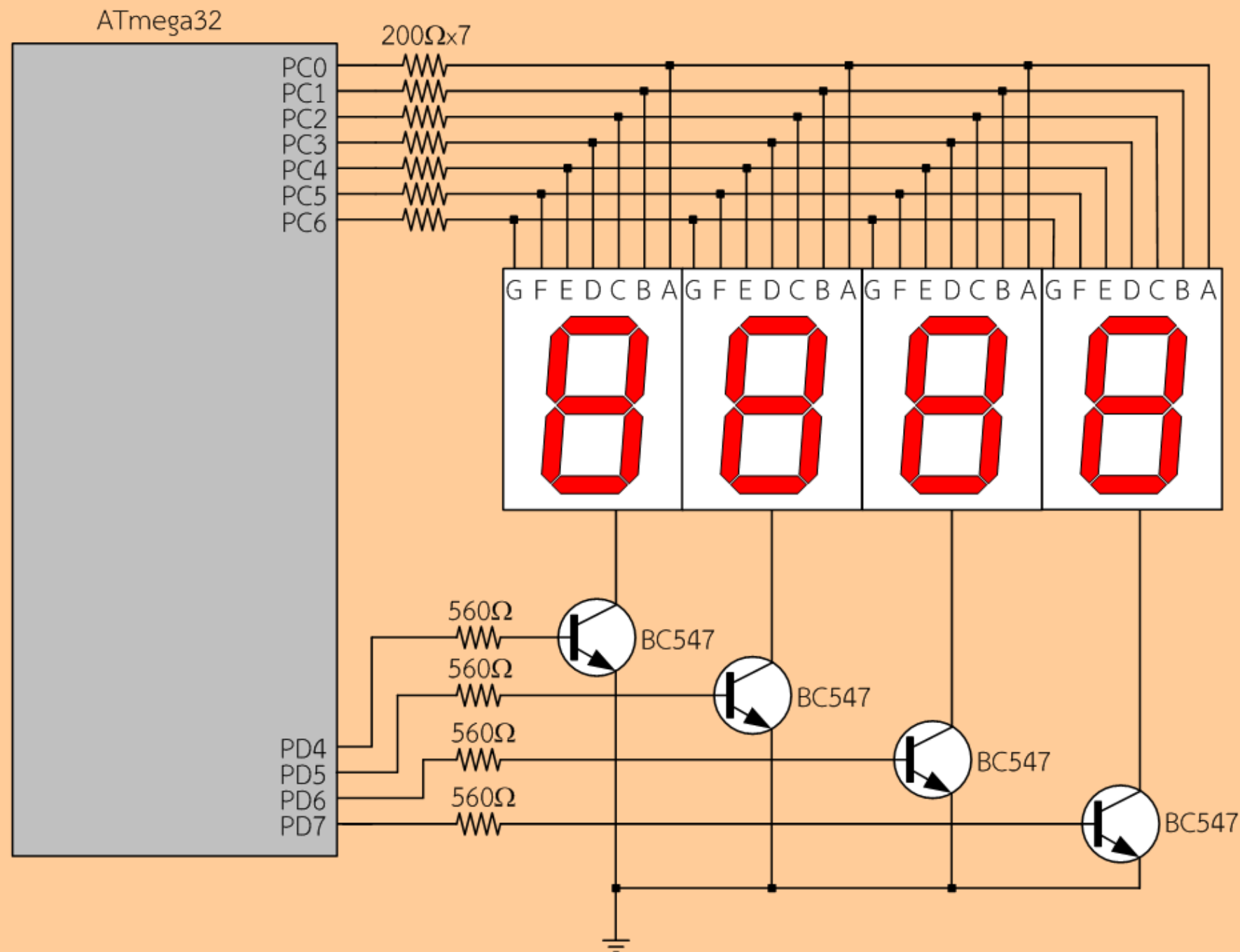


ไมโครคอนโทรลเลอร์



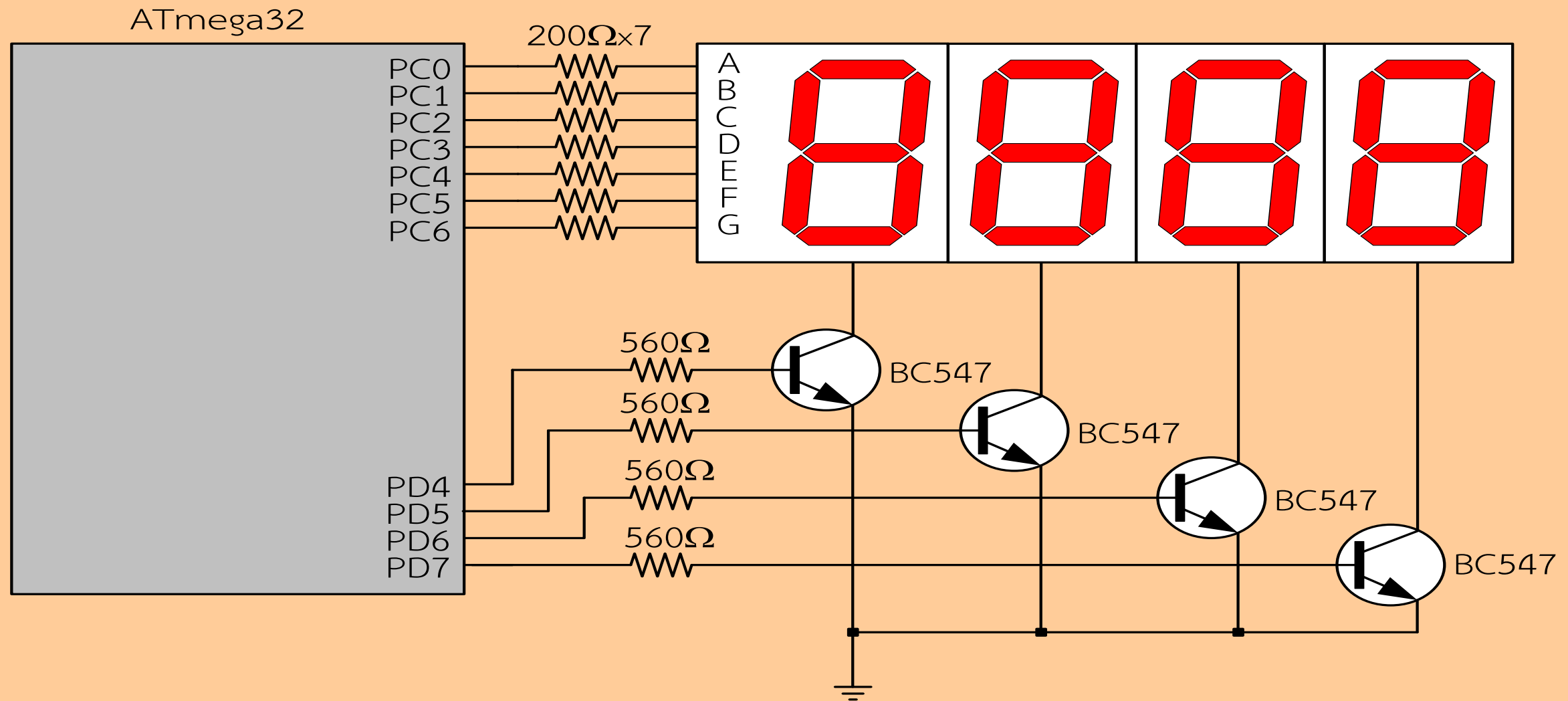


การแสดงผลแอลอีดีชนิด 7 ส่วนแบบมัลติเพล็กซ์



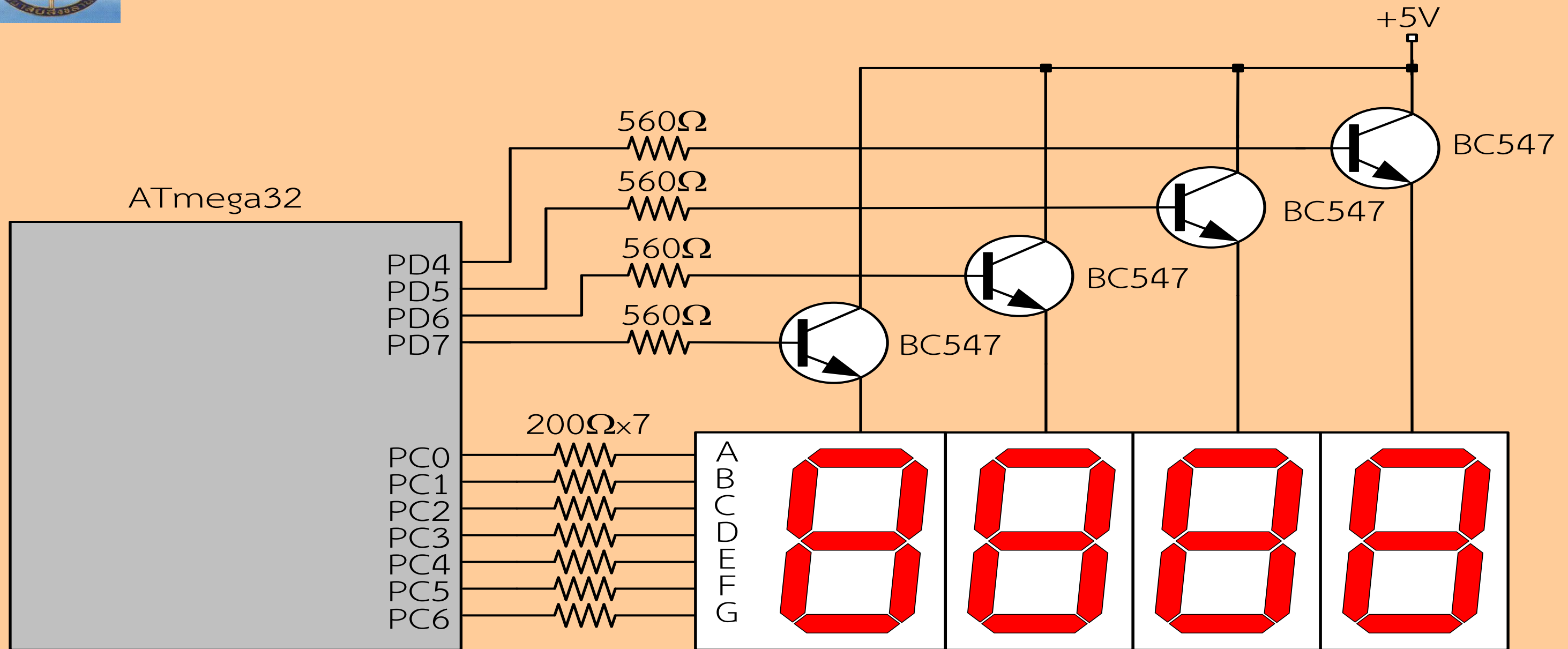


การแสดงผลแอลอีดีชนิด 7 ส่วนแบบมัลติเพล็กซ์

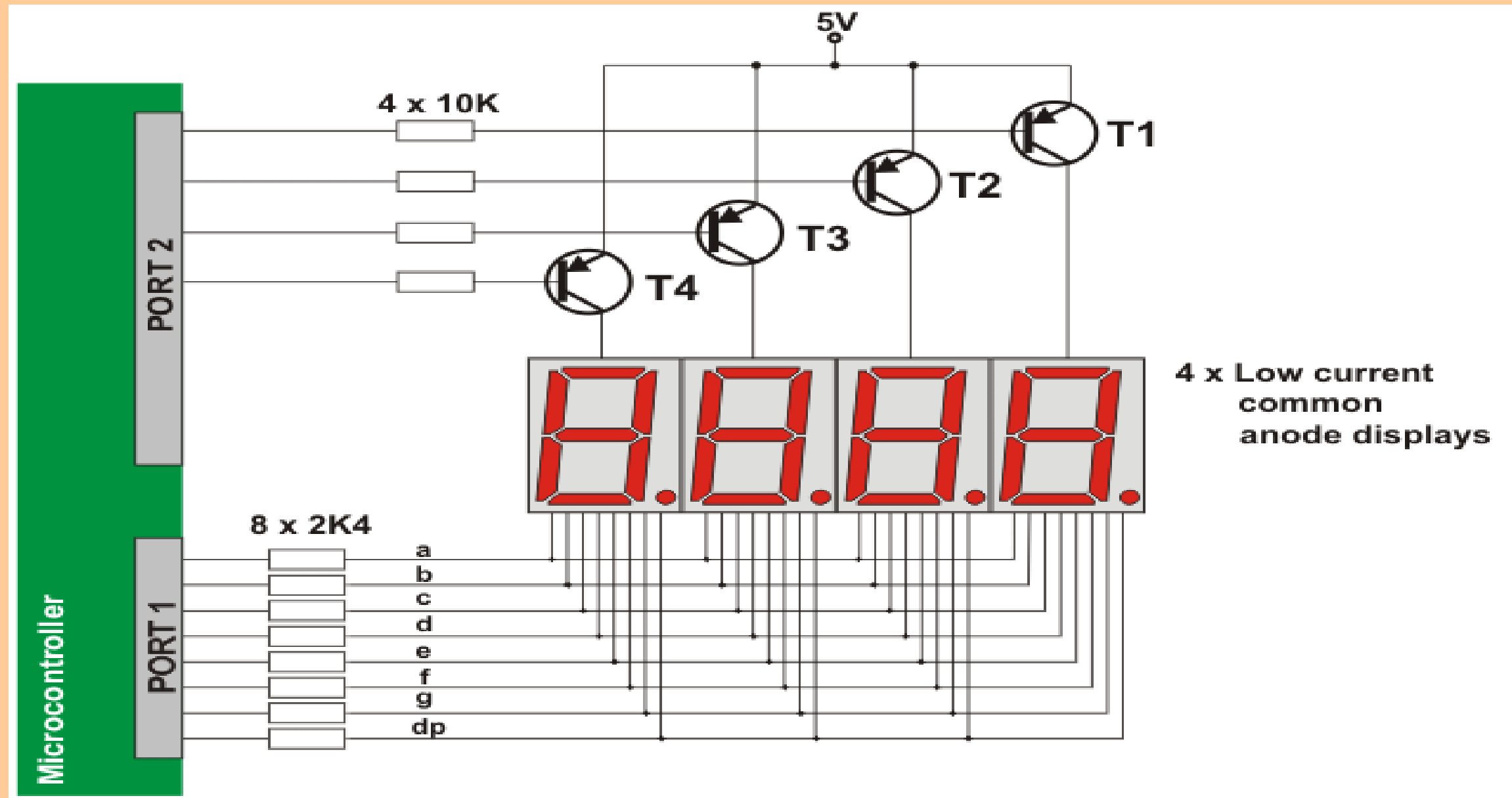




การแสดงผลแอลอีดีชนิด 7 ส่วนแบบมัลติเพล็กซ์

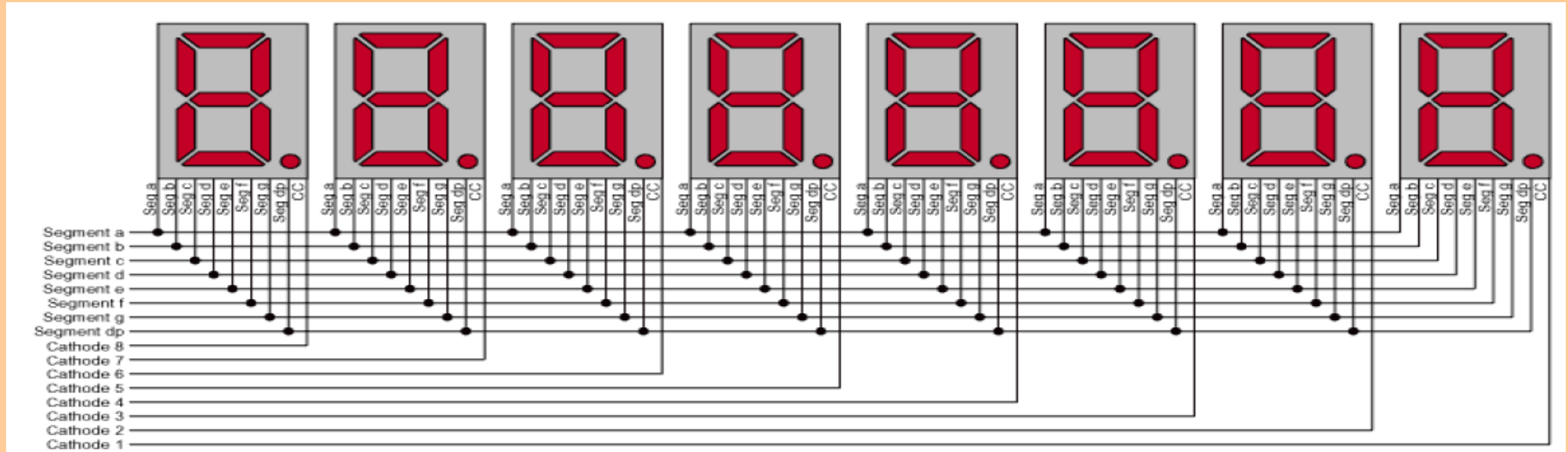


การแสดงผลแอลอีดีชนิด 7 ส่วนแบบมัลติเพล็กซ์



รูปจาก <https://cdn.mikroe.com/ebooks/img/2/2016/01/8051-chapter-06-image-012.gif>

การมัลติเพล็กซ์แอลอีดีชนิด 7 ส่วนจำนวน 8 หลัก

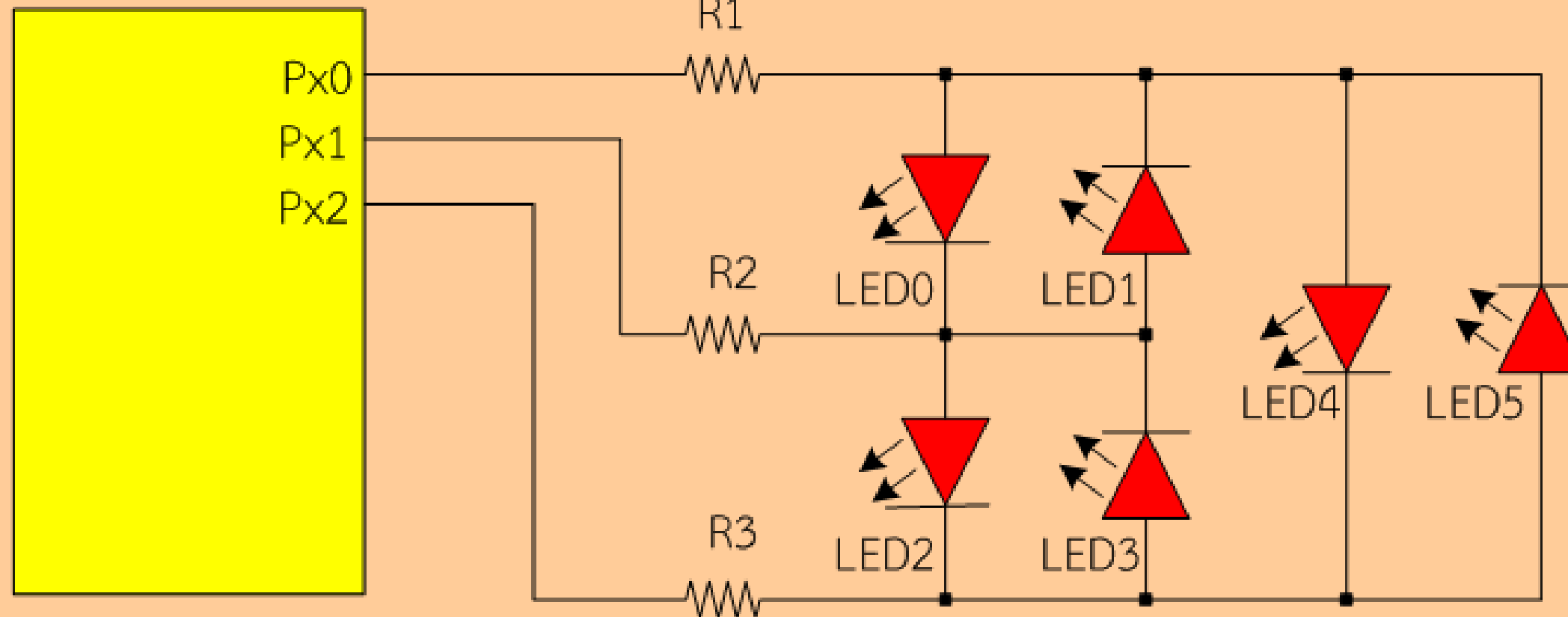


รูปจาก <https://www.maximintegrated.com/en/images/appnotes/1880/DI217Fig01.gif>

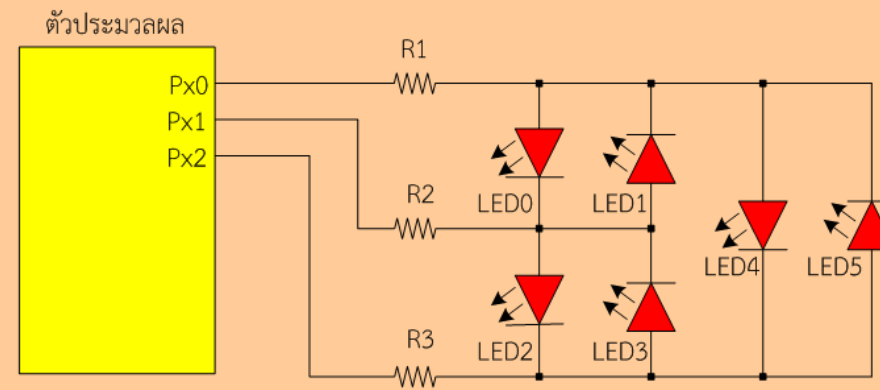


การชาร์ลีเพลกซ์ (Charlieplexing)

ตัวประมวลผล



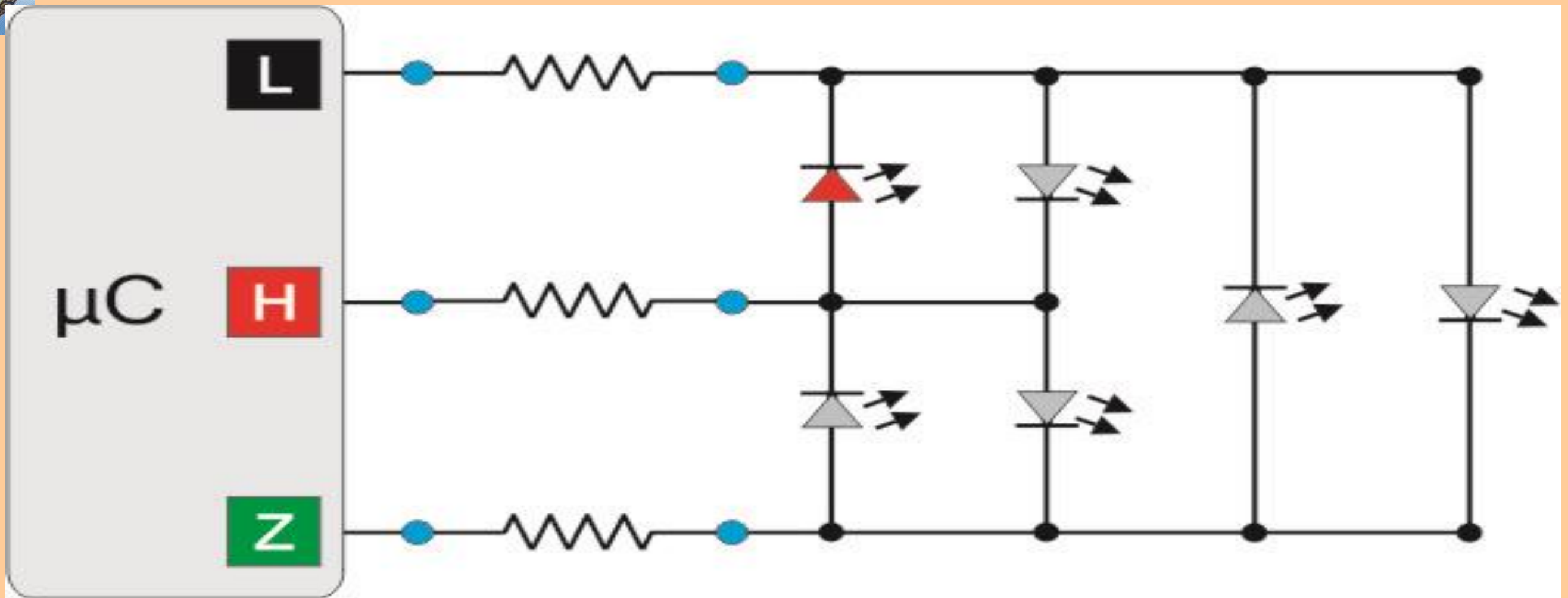
การชาร์ลีเพลกซ์ (Charlieplexing)



สถานะทางตรรกะของพอร์ต Px			หมายเหตุ
บิตที่ 2	บิตที่ 1	บิตที่ 0	
อิมพีแดนซ์สูง	0	1	LED 0 ติด
อิมพีแดนซ์สูง	1	0	LED 1 ติด
0	1	อิมพีแดนซ์สูง	LED 2 ติด
1	0	อิมพีแดนซ์สูง	LED 3 ติด
0	อิมพีแดนซ์สูง	1	LED 4 ติด
1	อิมพีแดนซ์สูง	0	LED 5 ติด



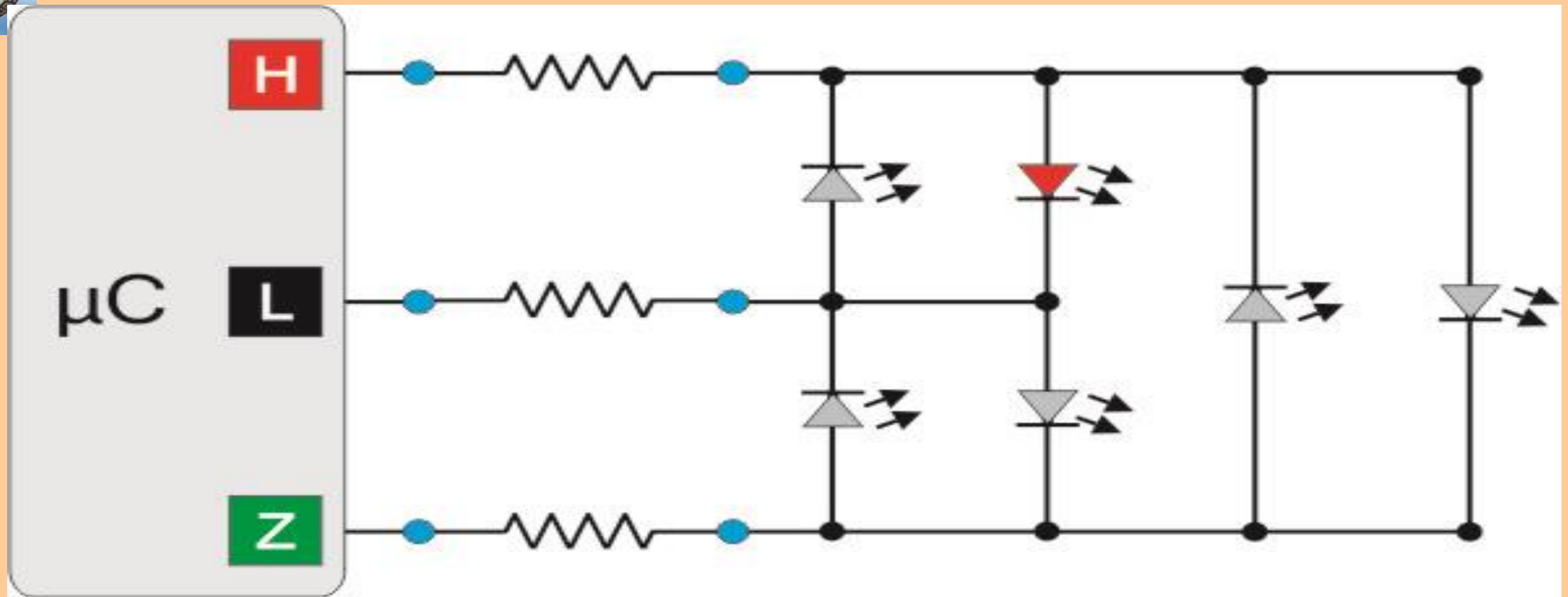
การชาร์ลีเพลกซ์



รูปจาก http://www.pcbheaven.com/wikipages/images/charlieplexing_1302527019.jpg



การชาร์ลีเพลกซ์



รูปจาก http://www.pcbheaven.com/wikipages/images/charlieplexing_1302527012.jpg





การตั้งค่าให้ขาของพอร์ต อยู่ในสถานะอิมพีแดนซ์สูง

ค่าตรรกะของแต่ละบิต			สถานะ ใช้งาน	เกิดการดึงขึ้น ที่ Pxnหรือไม่	สถานะทางไฟฟ้าที่ Pxn
DDxn	PORTxn	บิต PUD			
0	0	0 หรือ 1 ก็ได้	อินพุต	ไม่เกิด	อยู่ในสถานะอิมพีแดนซ์สูง
0	1	0	อินพุต	เกิด	มีการจ่ายกระแสออกจากขา Pxn หากวงจรภายนอกมีการต่ออุปกรณ์จากขา Pxn ลงกราวด์
0	1	1	อินพุต	ไม่เกิด	อยู่ในสถานะอิมพีแดนซ์สูง
1	0	0 หรือ 1 ก็ได้	เอาต์พุต	ไม่เกิด	ส่งค่าตรรกะต่ำออกจากขา Pxn หรือดึงกระแสจากภายนอกมาลงกราวด์ในขา Pxn เอง
1	1	0 หรือ 1 ก็ได้	เอาต์พุต	ไม่เกิด	ส่งค่าตรรกะสูงออกจากขา Pxn หรือจ่ายกระแสออกจากขา Pxn ให้กับวงจรภายนอก

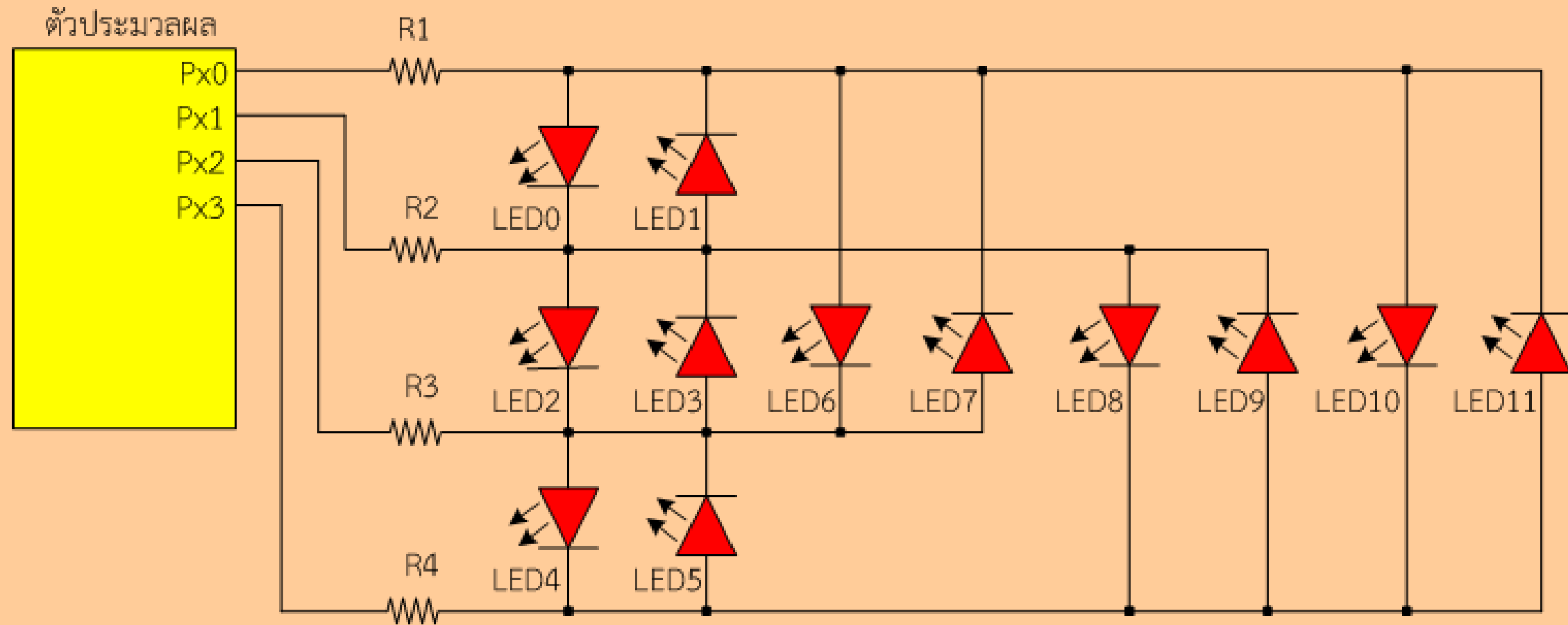
จำนวนแอสลิตีที่ขับได้ด้วยการชาร์ลีเพลกซ์

$$n = P_n \times (P_n - 1)$$

- ◆ n = จำนวนแอสลิตี
- ◆ P_n = จำนวนของขาพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์
- ◆ ยกตัวอย่าง:
 - ◆ พอร์ต 3 ขาสามารถขับแอสลิตีได้ $3 \times (3-1) = 6$ ตัว



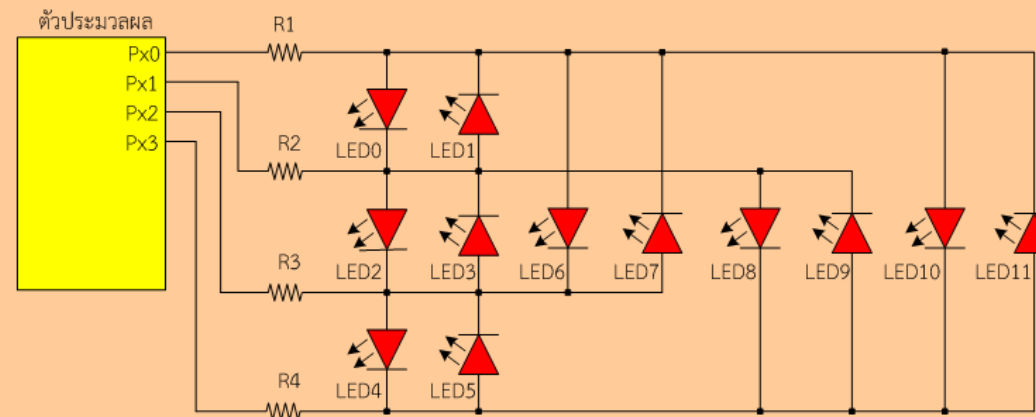
4-bit port Charlieplexing



◆ จำนวนแอลอีดี = $4 * (4-1) = 12$ ตัว

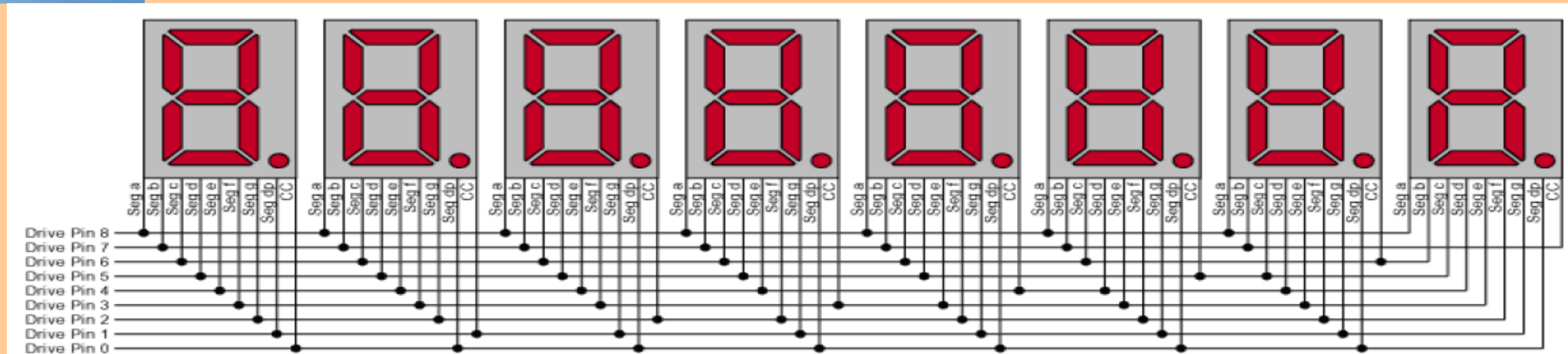


4-bit port Charlieplexing



สถานะทางตรรกะเอาต์พุตของพอร์ต Px				หมายเหตุ
บิตที่ 3	บิตที่ 2	บิตที่ 1	บิตที่ 0	
อิมพีแดนซ์สูง	อิมพีแดนซ์สูง	0	1	LED 0 ติด
อิมพีแดนซ์สูง	อิมพีแดนซ์สูง	1	0	LED 1 ติด
อิมพีแดนซ์สูง	0	1	อิมพีแดนซ์สูง	LED 2 ติด
อิมพีแดนซ์สูง	1	0	อิมพีแดนซ์สูง	LED 3 ติด
0	1	อิมพีแดนซ์สูง	อิมพีแดนซ์สูง	LED 4 ติด
1	0	อิมพีแดนซ์สูง	อิมพีแดนซ์สูง	LED 5 ติด
อิมพีแดนซ์สูง	0	อิมพีแดนซ์สูง	1	LED 6 ติด
อิมพีแดนซ์สูง	1	อิมพีแดนซ์สูง	0	LED 7 ติด
0	อิมพีแดนซ์สูง	1	อิมพีแดนซ์สูง	LED 8 ติด
1	อิมพีแดนซ์สูง	0	อิมพีแดนซ์สูง	LED 9 ติด
0	อิมพีแดนซ์สูง	อิมพีแดนซ์สูง	1	LED 10 ติด
1	อิมพีแดนซ์สูง	อิมพีแดนซ์สูง	0	LED 11 ติด

การชาร์ลีเพลกซ์แอลอีดีชนิด 7 ส่วน



รูปจาก <http://www.maxim-ic.com/app-notes/index.mvp/id/1880>

◆ ขั้วแอลอีดีชนิด 7 ส่วน จำนวน 8 ตัว ใช้ขาของพอร์ต เพียง 9 ขา

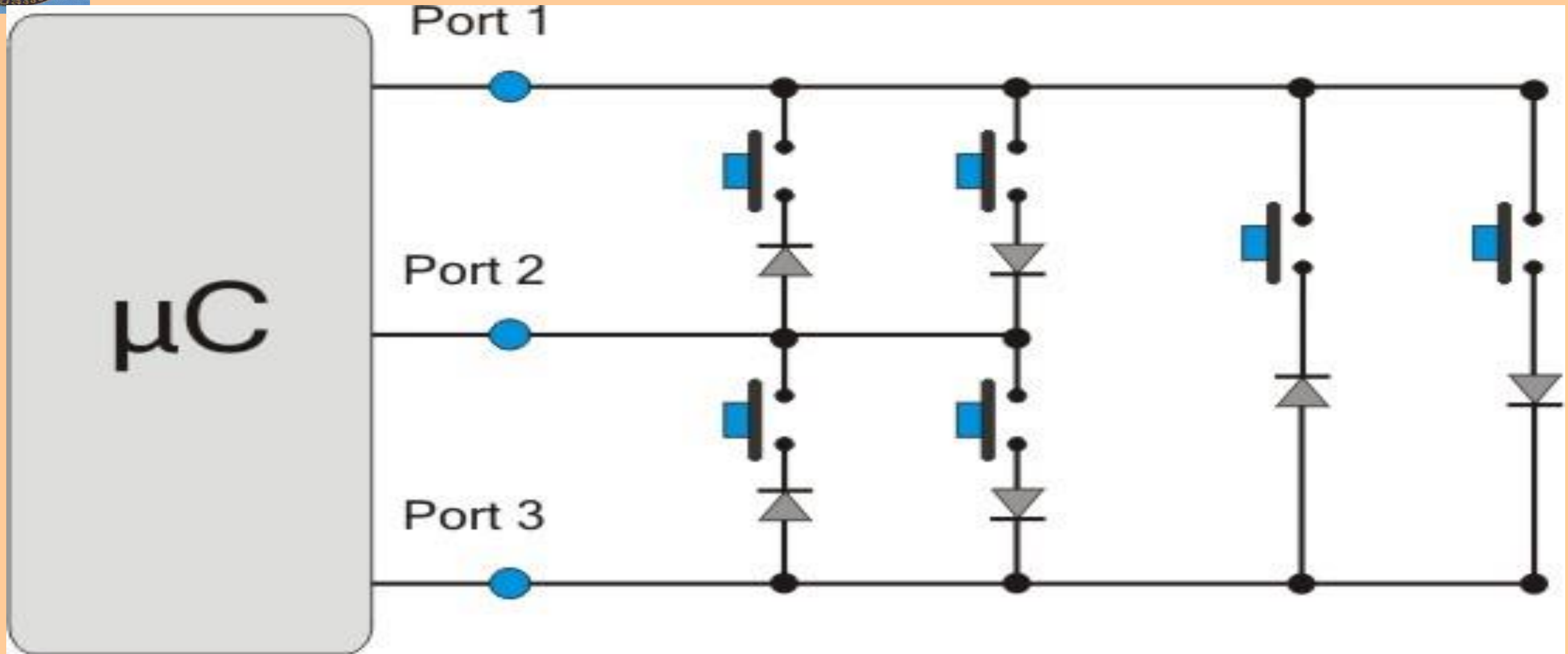


ข้อควรระวังในการชาร์ตลีเพลกซ์

- ◆ แอลอีดีแต่ละดวงถูกขับเป็นห่วงสั้น ๆ ดังนั้นความสว่างจึงลดลง
- ◆ อาจต้องลดค่าความต้านทานอนุกรมแอลอีดีลง
- ◆ ค่ากระแสจะต้องไม่เกินค่ากระแสไปหน้าแบบเสิร์จ (Surge forward current)
- ◆ อาจมีปัญหาในกรณีตัวประมวลผลเกิดอาการค้าง (ทางออกอาจต้องใช้วงจรจับเวลารีเซ็ตดีออกเข้าช่วย)



การชาร์จไฟเพลกซ์และการอ่านค่าจากสวิตช์

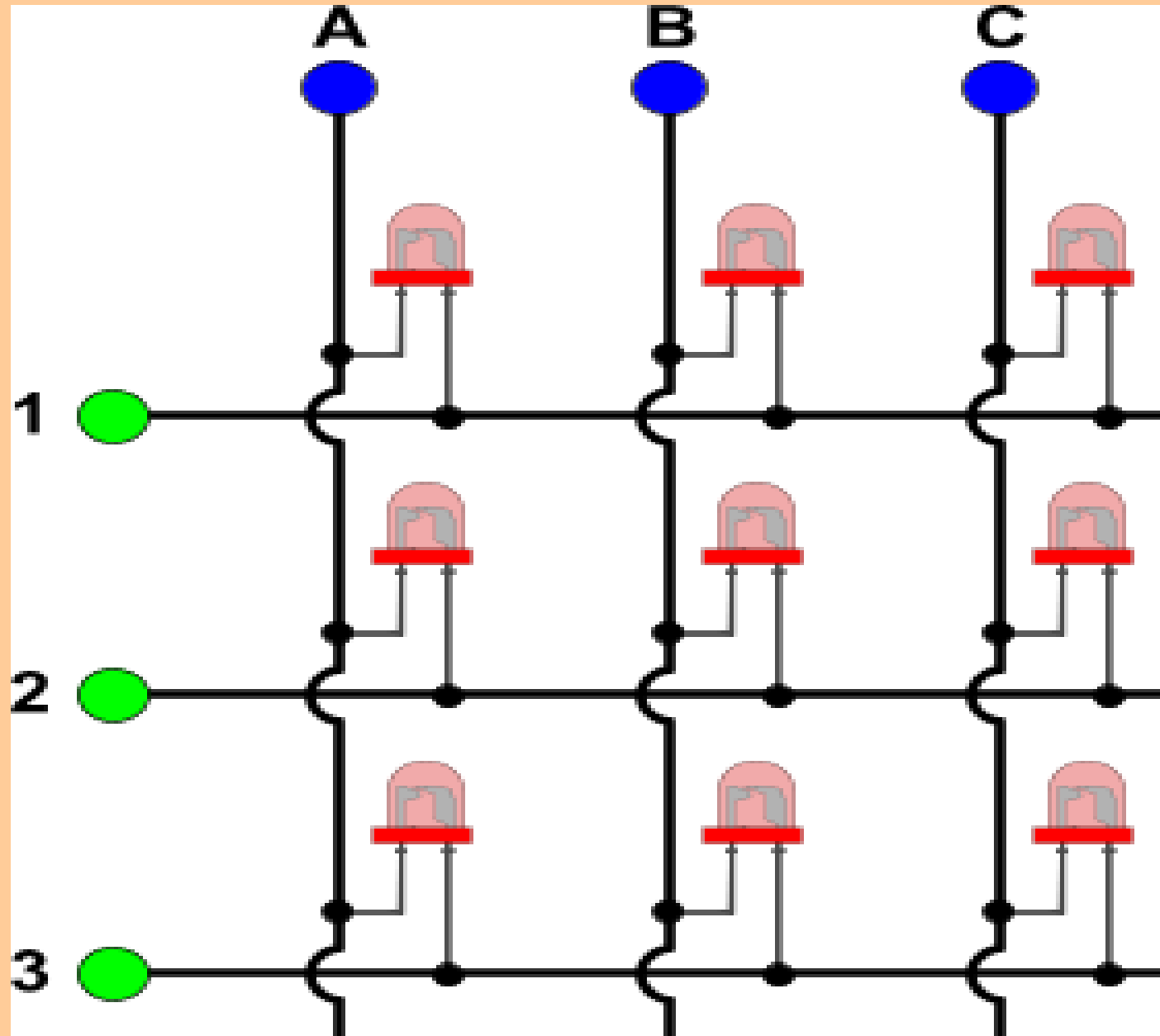


รูปจาก http://www.pcbheaven.com/wikipages/images/charlieplexing_1302613532.jpg





LED matrix



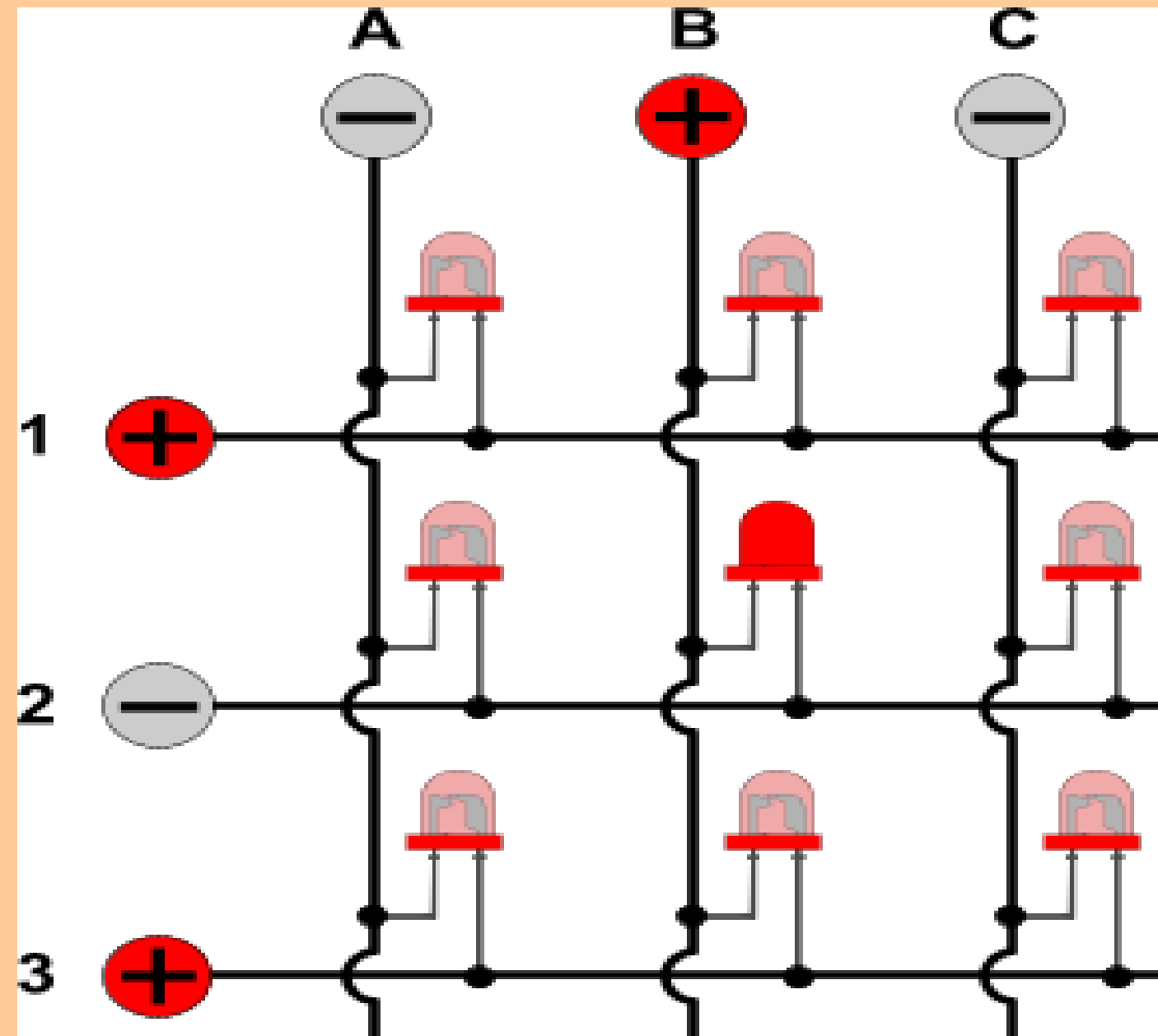
รูปจาก <https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcRdYgjFC0Rpqk3WuDxrDFuroQ-k4d26hXfqXXtYMIneeforFBd0>

รูปจาก http://pcbheaven.com/wikipages/images/howkeymatricesworks_1277657675.png



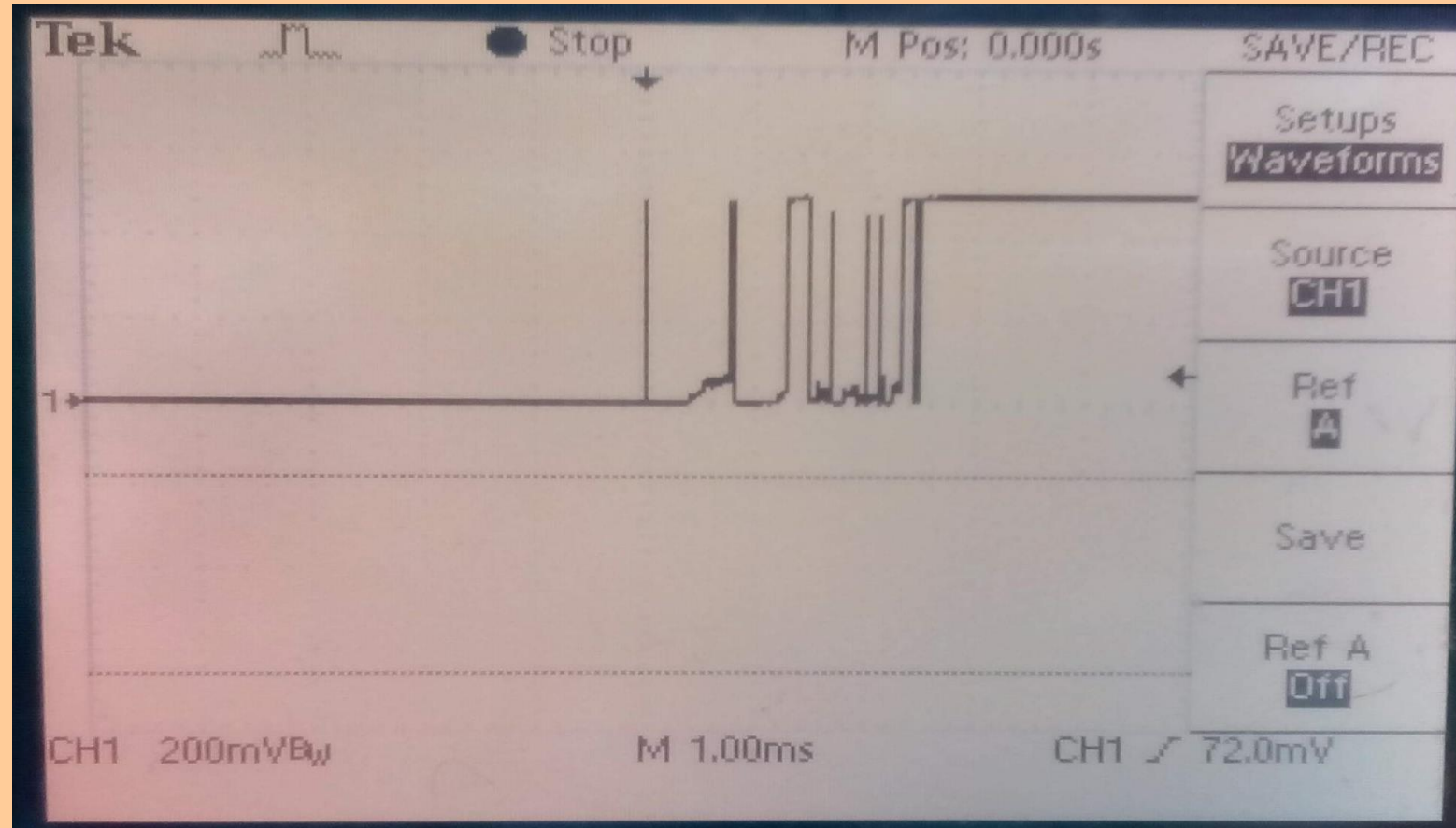


LED matrix



รูปจาก http://pcbheaven.com/wikipages/images/howkeymatricesworks_1277658667.png

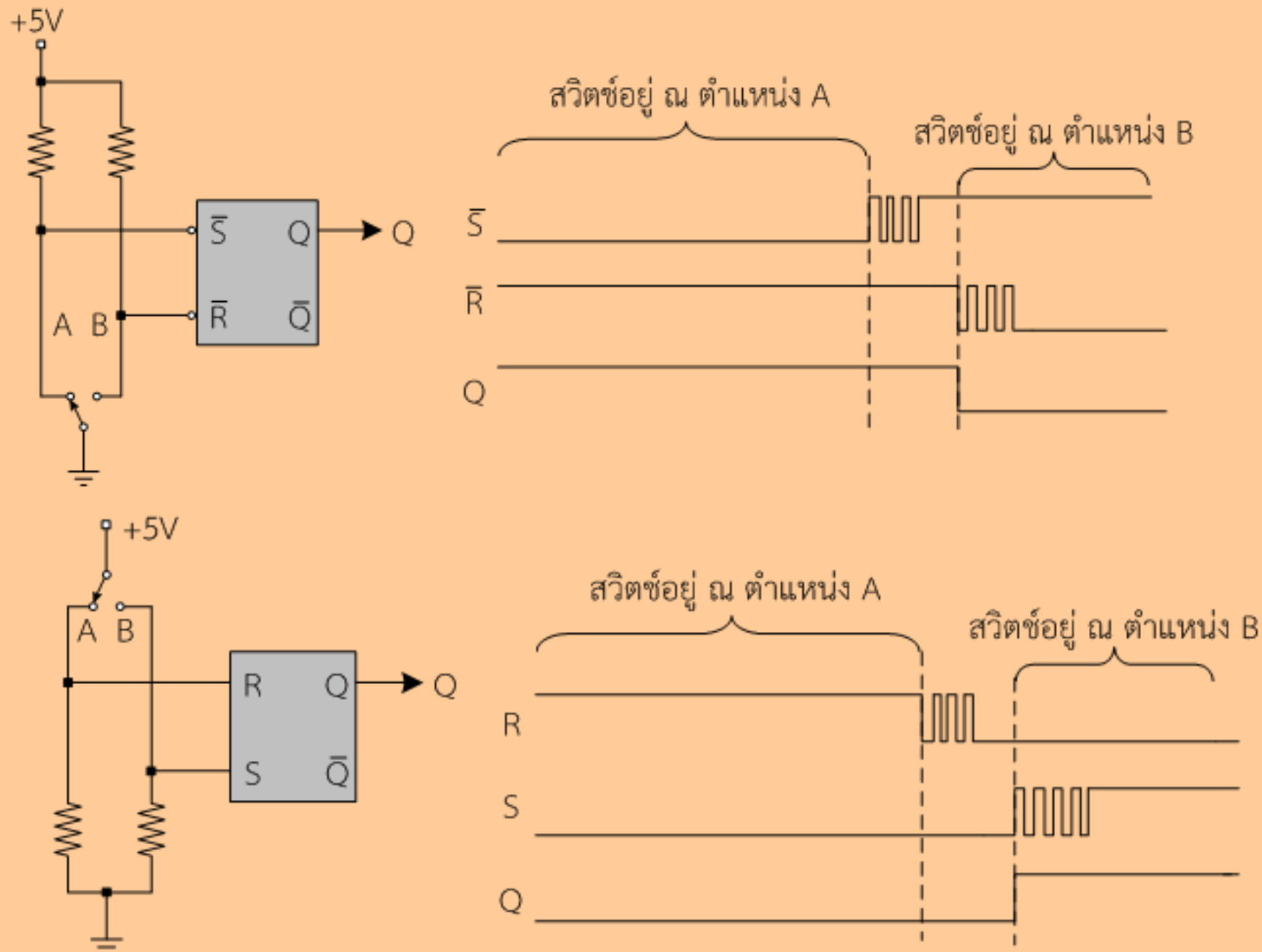
ปัญหาจากสัญญาณรบกวนช่วงสั้น



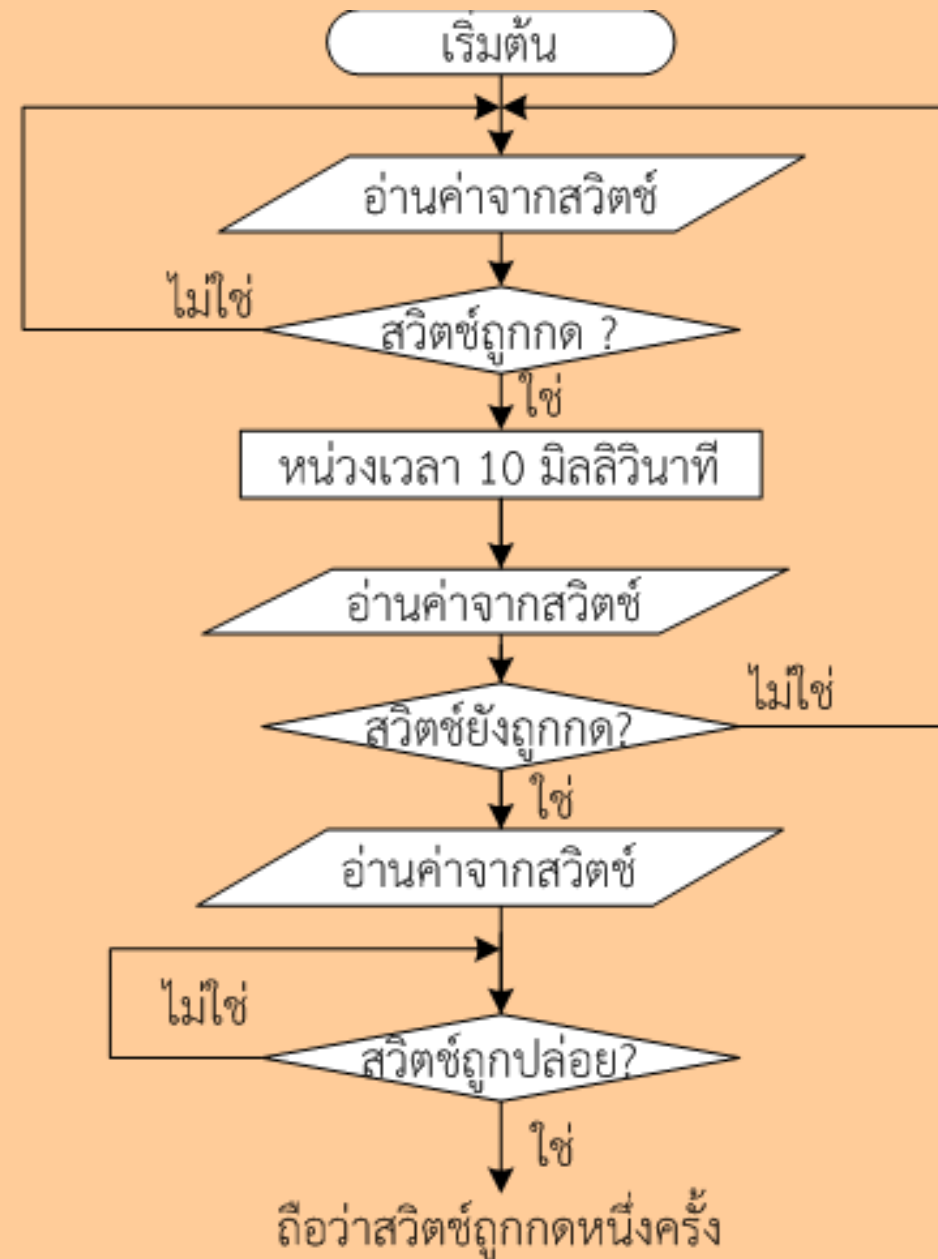
หมายเหตุ ถ่ายภาพโดยผู้จัดทำ



การกำจัตสัญญาณรบกวนช่วงสั้นโดยฮาร์ดแวร์

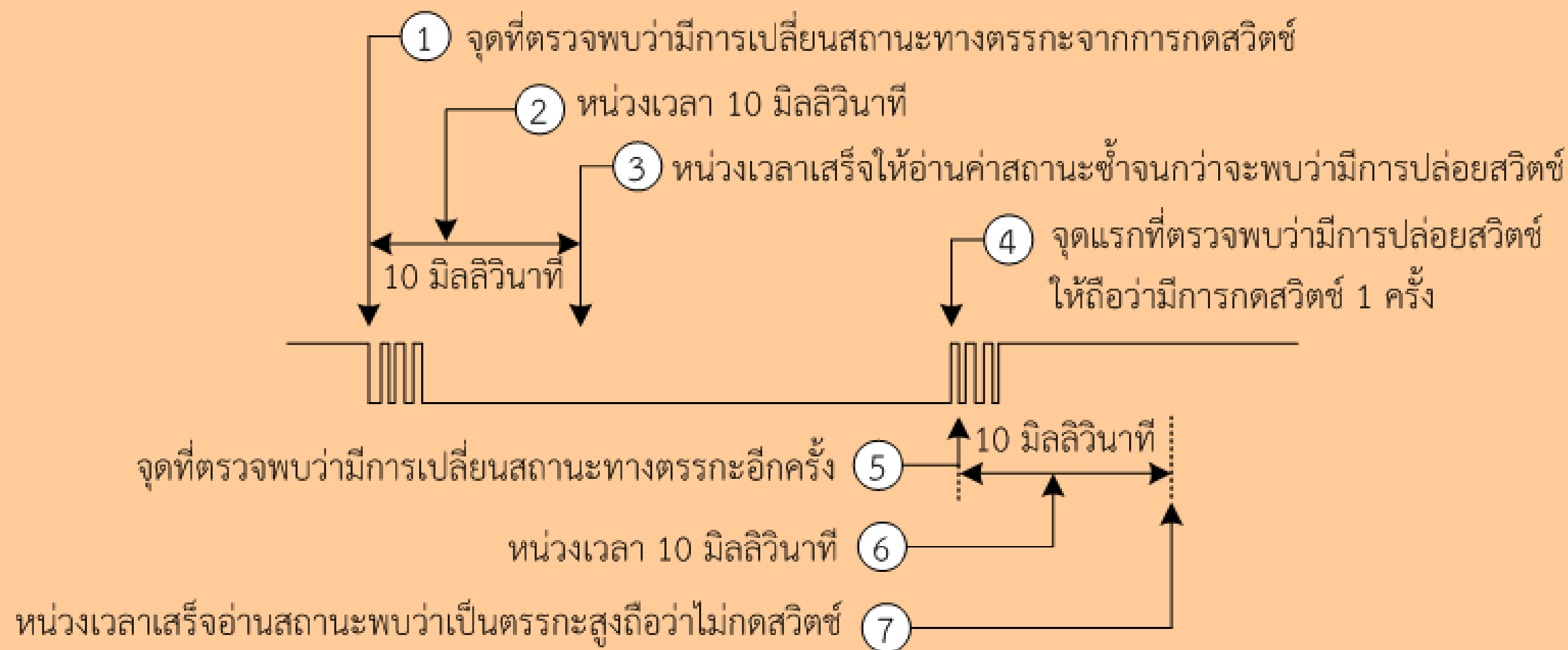


การกำจัตสัญญาณรบกวนช่วงสั้นโดยซอฟต์แวร์

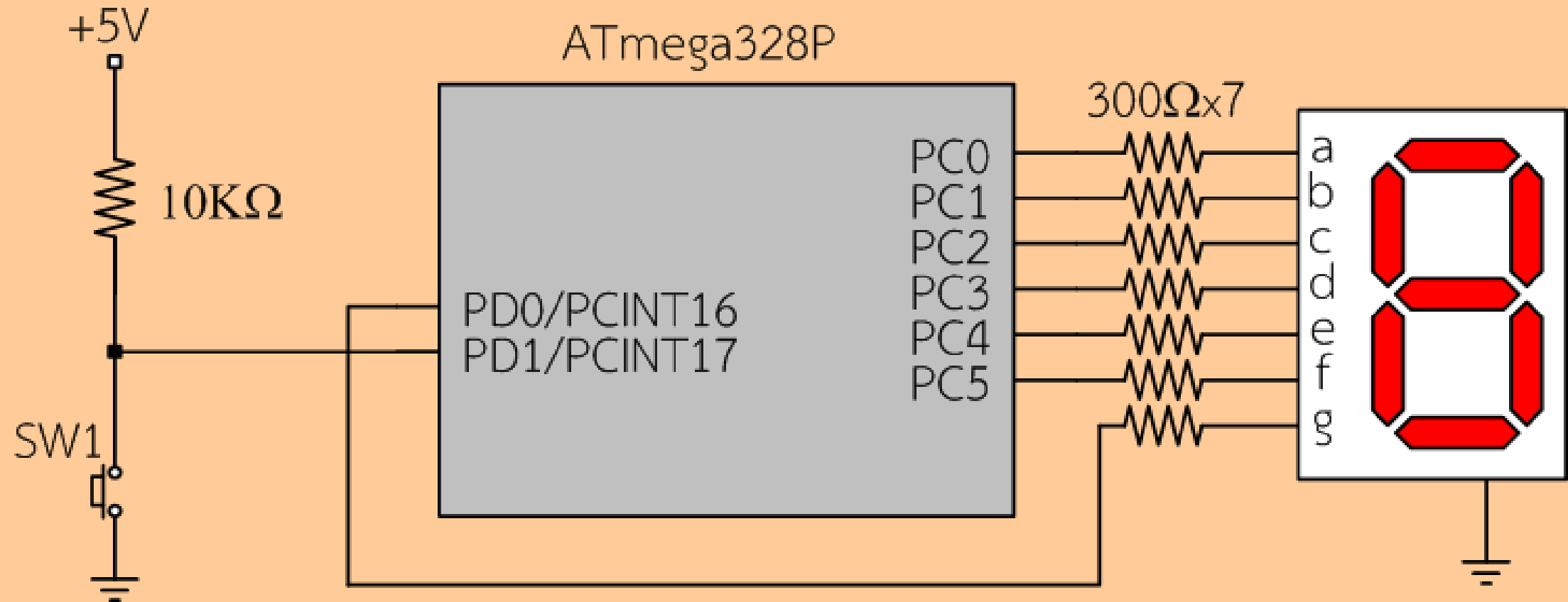




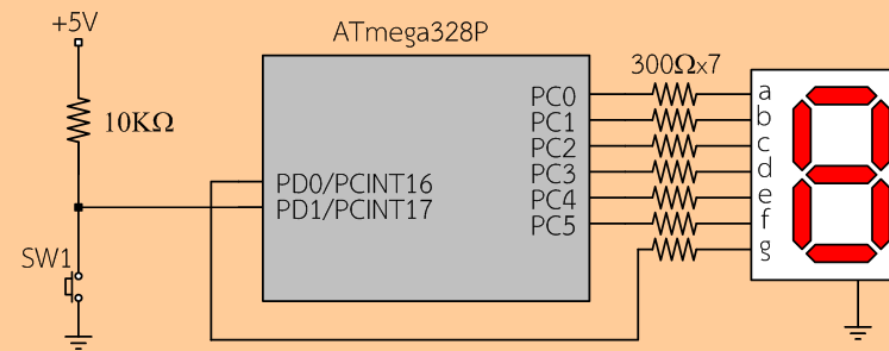
การกำจัตสัญญาณรบกวนช่วงสั้นโดยซอฟต์แวร์



ตัวอย่างการอ่านค่าจากสวิตช์



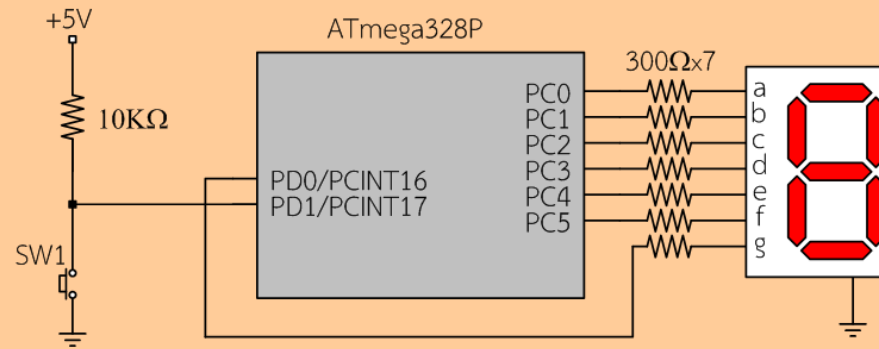
ตัวอย่างการอ่านค่าจากสวิตช์



```
1  #include <avr/io.h>                                //ใช้คลังโปรแกรมชื่อ io.h
2  #define F_CPU 16000000UL                            //กำหนดค่าความถี่อ้างอิงของตัวประมวลผลที่ 16 MHz
3  #include <util/delay.h>                              //ใช้คลังโปรแกรมชื่อ delay.h
4
5  //-----ตารางค้นหาสำหรับการแปลงค่ารหัสเลขฐานสองเป็นรหัสแสดงผลบนแอลอีดีแบบ 7 ส่วน
6  unsigned char TB7SEG[] = { 0b00111111, 0b00000110, 0b01011011, 0b01001111,
7                             0b01100110, 0b01101101, 0b01111101, 0b00000111,
8                             0b01111111, 0b01101111, 0b01110111, 0b01111100,
9                             0b00111001, 0b01011110, 0b01111001, 0b01110001 };
10
```



ตัวอย่างการอ่านค่าจากสวิตช์ (ต่อ)



```
11 void display_led7seg (unsigned char a) //ฟังก์ชันสำหรับแสดงผลแอลอีดีชนิด 7 ส่วน
12 { //เริ่มต้นขอบเขตของฟังก์ชัน display_led7seg
13     unsigned char tmp; //ประกาศตัวแปรท้องถิ่น
14     tmp = TB7SEG[a]; //เปิดตารางแปลงค่า a เป็นรหัสแสดงผล7ส่วนใส่ในตัวแปร tmp
15     PORTC = tmp; //แสดงผลค่ารหัสส่วน A-F ในตำแหน่งบิต 0-5 ที่พอร์ต C
16     tmp = tmp >> 6; //เลื่อนบิตไปทางขวา 6 ตำแหน่งเพื่อเตรียมส่งส่วน G ออกที่พอร์ต D บิต 0
17     tmp &= 0x01; //พรางบิตอื่นทิ้งไปให้เหลือเพียงบิตล่างสุด
18     if (tmp) //ตรวจสอบบิตที่ต้องการแสดงยังส่วน G
19         PORTD |= 0b00000001; //หากเป็น 1 ให้พอร์ต D บิตล่างสุดเป็น 1 บิตอื่นยังมีค่าคงเดิม
20     else
21         PORTD &= 0b11111110; //หากเป็น 0 ให้พอร์ต D บิตล่างสุดเป็น 0 บิตอื่นยังมีค่าคงเดิม
22 } //สิ้นสุดขอบเขตของฟังก์ชัน display_led7seg
23
```

ตัวอย่างการอ่านค่าจากสวิตช์ (ต่อ)

```
23
24 void wait_until_sw_pressed(void) //วนรอจนกว่าจะมีการกดและปล่อยสวิตช์
25 { //เริ่มต้นขอบเขตของฟังก์ชัน wait_until_sw_pressed
26     uint8_t sw; //ประกาศตัวแปรสำหรับเก็บค่าจากสวิตช์
27     do //วนซ้ำ (วงวนรอบนอก)
28     {
29         do //วนซ้ำ(วงวนรอบใน) จนกว่าจะพบค่าตรรกะตรรกะสูงจากสวิตช์
30         { //เริ่มต้นขอบเขตวงวนซ้ำรอบใน
31             sw = PIND >> 1; //อ่านค่าจากสวิตช์ ซึ่งอยู่ที่ PD1 เลื่อนบิตไปทางขวา 1 ตำแหน่ง
32             sw &= 0x01; //พรางบิตอื่นทิ้งให้หมด เหลือเพียงบิตล่างสุด
33         } while (sw); //หากค่าจากสวิตช์เท่ากับ 1 ให้วนซ้ำต่อไปเรื่อย ๆ
34         _delay_ms(10); //หน่วงเวลา 10 มิลลิวินาที
35         sw = PIND >> 1; //อ่านค่าสถานะทางตรรกะจากสวิตช์อีกครั้งและเลื่อนไปทางขวา
36         sw &= 0x01; //พรางบิตอื่นทิ้งให้หมด เหลือเพียงบิตล่างสุด
37     } while (sw); //หากอ่านค่าได้เป็นตรรกะต่ำให้หยุดวนซ้ำและไปขั้นตอนถัดไป
38     do //วนซ้ำจนกว่าจะตรวจสอบได้ว่าการปล่อยสวิตช์
39     { //เริ่มต้นขอบเขตของการวนซ้ำตรวจสอบการปล่อยสวิตช์
40         sw = PIND >> 1; //อ่านค่าสถานะจากสวิตช์ เลื่อนบิตไปทางขวา 1 ตำแหน่ง
41         sw &= 0x01; //พรางบิตอื่นทิ้งให้หมด เหลือเพียงบิตล่างสุด
42     } while (!sw); //วนซ้ำจนกว่าค่าจากสวิตช์จะเป็นตรรกะสูง
43 } //สิ้นสุดขอบเขตของฟังก์ชัน wait_until_sw_pressed
44
```

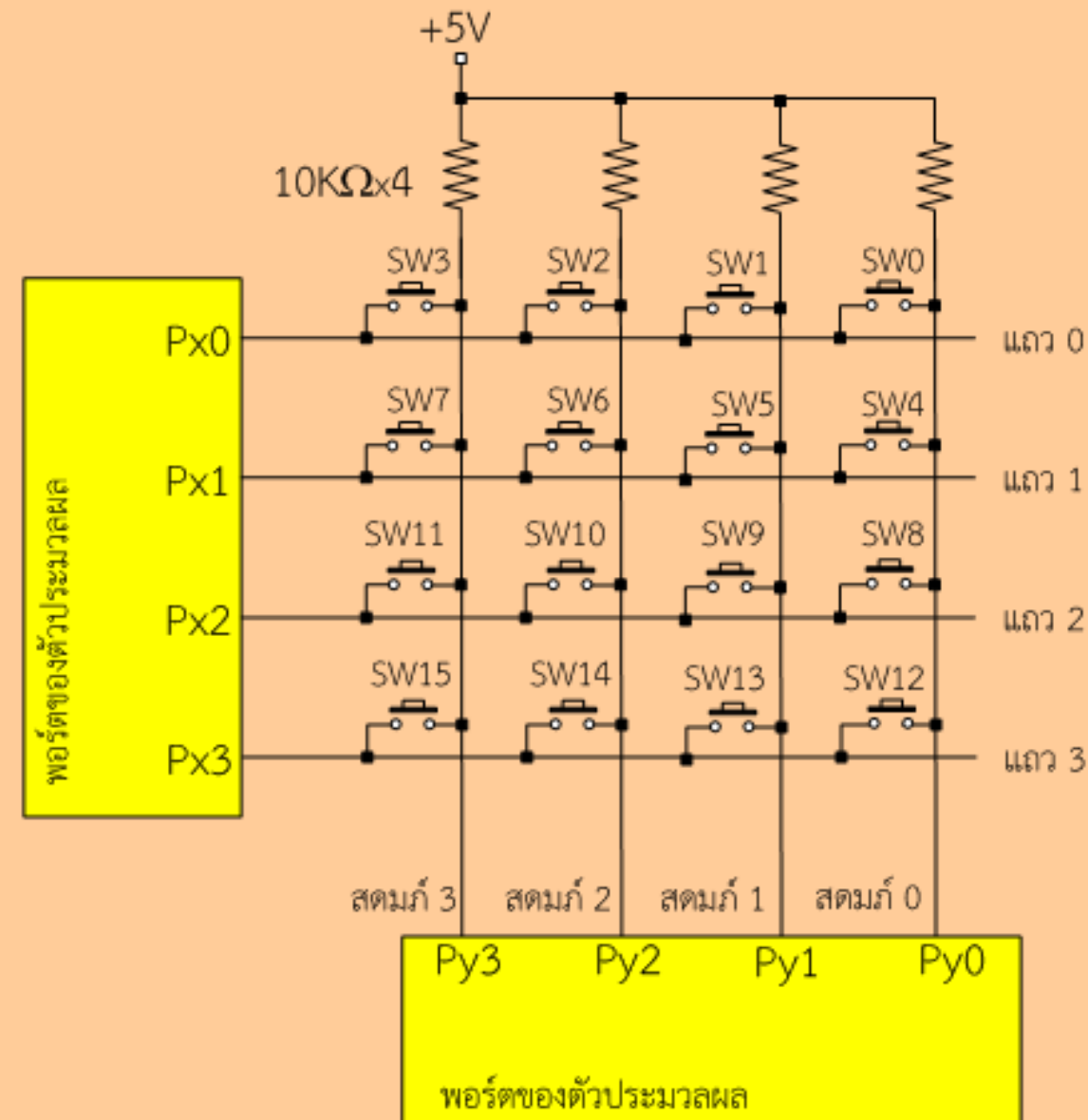

ตัวอย่างการอ่านค่าจากสวิตช์ (ต่อ)

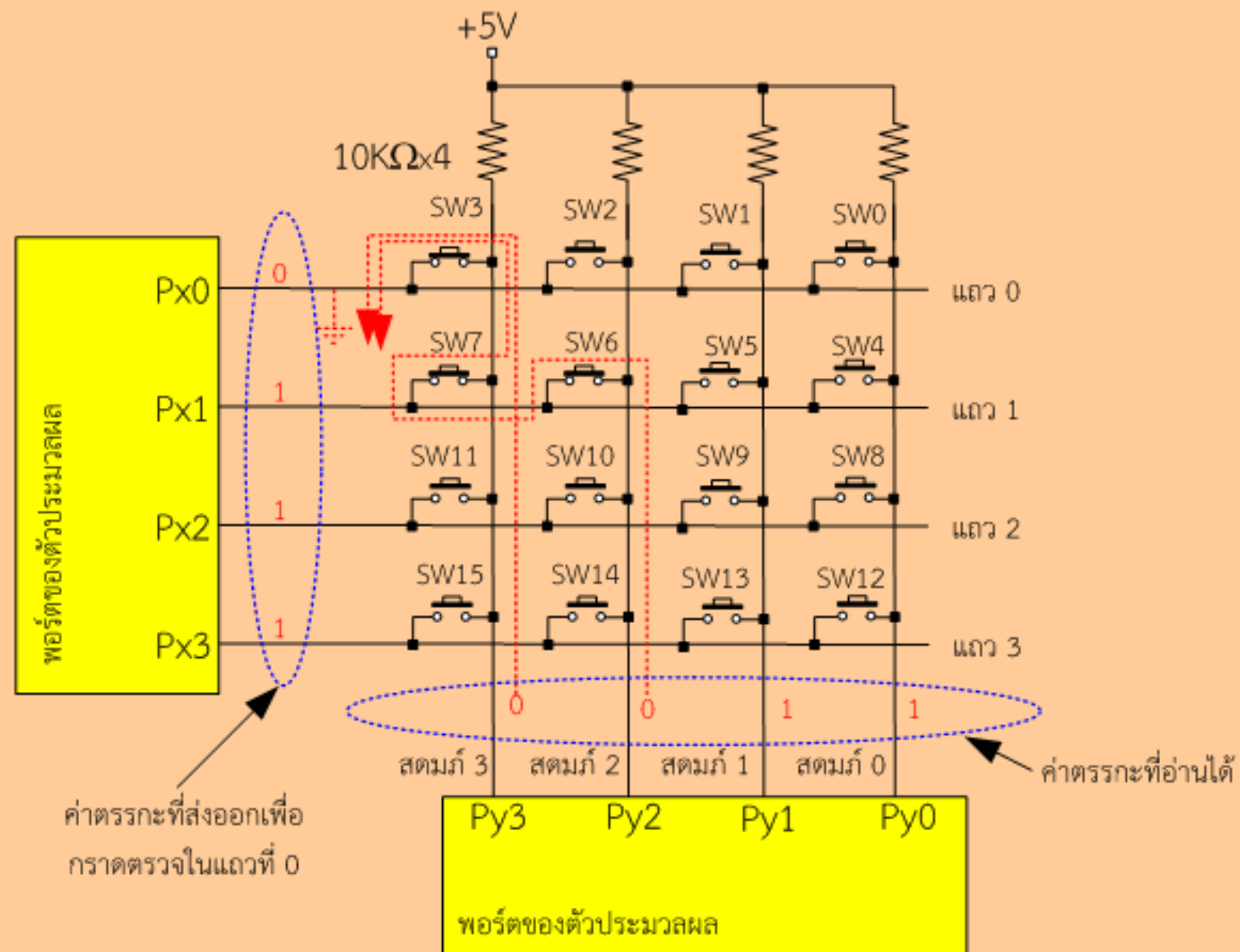


```
45 int main(void) //ฟังก์ชันหลัก
46 { //เริ่มต้นขอบเขตของฟังก์ชันหลัก
47     uint8_t count=0; //ประกาศตัวแปร count สำหรับเก็บค่าที่แสดงผลออกแอลอีดี
48     uint8_t sw; //ประกาศตัวแปร sw สำหรับรับค่าจากสวิตช์
49     DDRC = 0b00111111; //ตั้งค่าทิศทางของพอร์ต C ให้ส่งออกที่ 6 บิตล่าง
50     DDRD = 0b11111101; //ตั้งทิศทางของพอร์ต D ให้รับเข้าที่ขา PD1 และส่งออกที่ PD0
51     display_led7seg (count); //เมื่อเริ่มต้นโปรแกรม ให้แสดงค่าศูนย์ออกสู่แอลอีดี
52     while(1) //วนซ้ำแบบไม่รู้จบ
53     { //เริ่มต้นขอบเขตของการวนซ้ำไม่รู้จบ
54         wait_until_sw_pressed(); //อ่านค่าจากสวิตช์จนกว่าจะพบว่ามี การกดและปล่อยสวิตช์
55         count++; //เพิ่มค่าในตัวแปร count ขึ้นหนึ่งค่า
56         if (count>15) //หากตัวแปร count มากกว่า 15 ให้ลบล้างค่ากลับเป็น 0 ใหม่
57             count=0; //ส่งลบล้างตัวแปร count ให้กลับเป็นศูนย์
58         display_led7seg(count); //แสดงค่าในตัวแปร count ออกทางแอลอีดี 7 ส่วน
59     } //สิ้นสุดขอบเขตของการวนซ้ำไม่รู้จบ
60 } //สิ้นสุดขอบเขตของฟังก์ชันหลัก
```

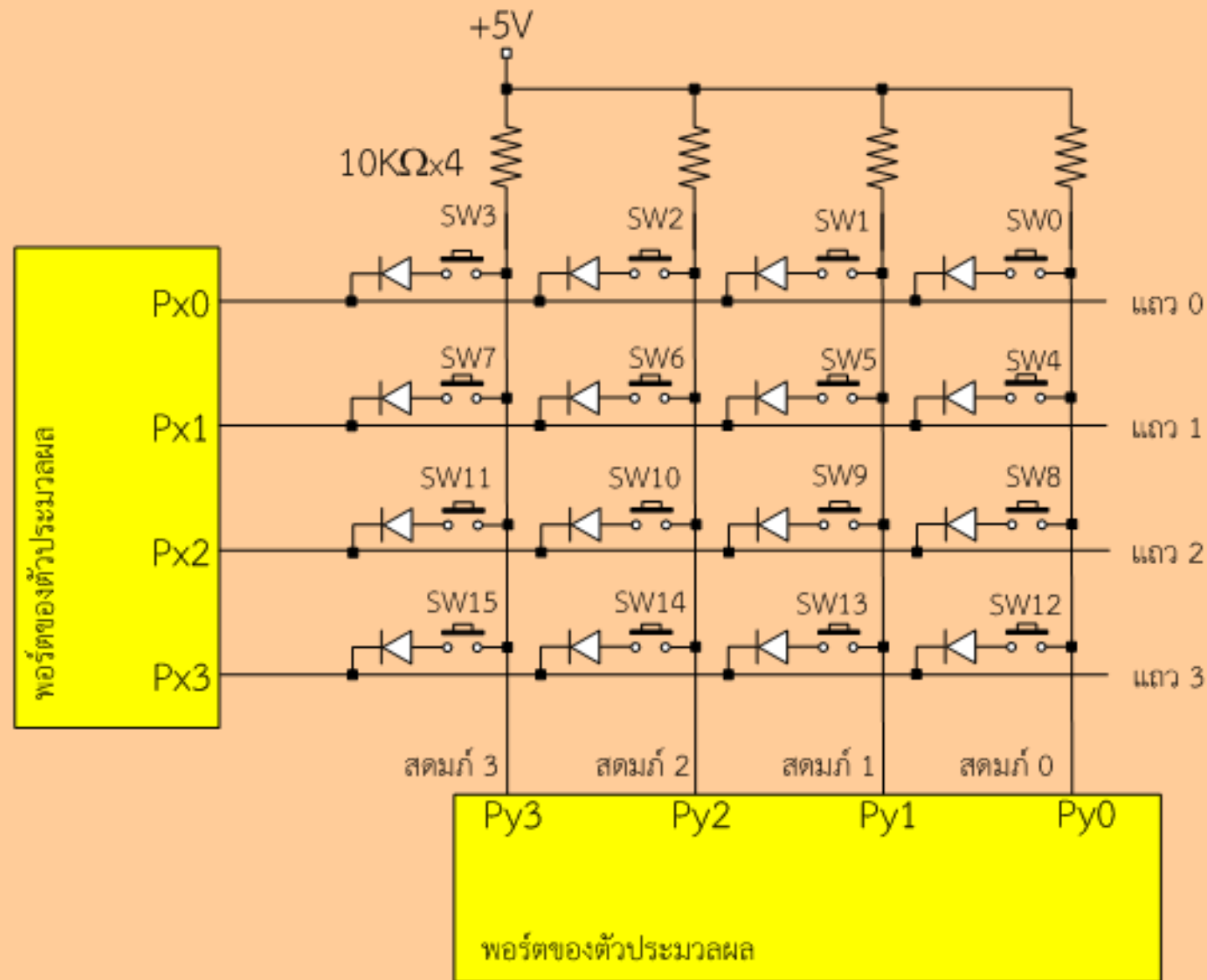


การเชื่อมต่อกับสวิตช์แบบเมทริกซ์

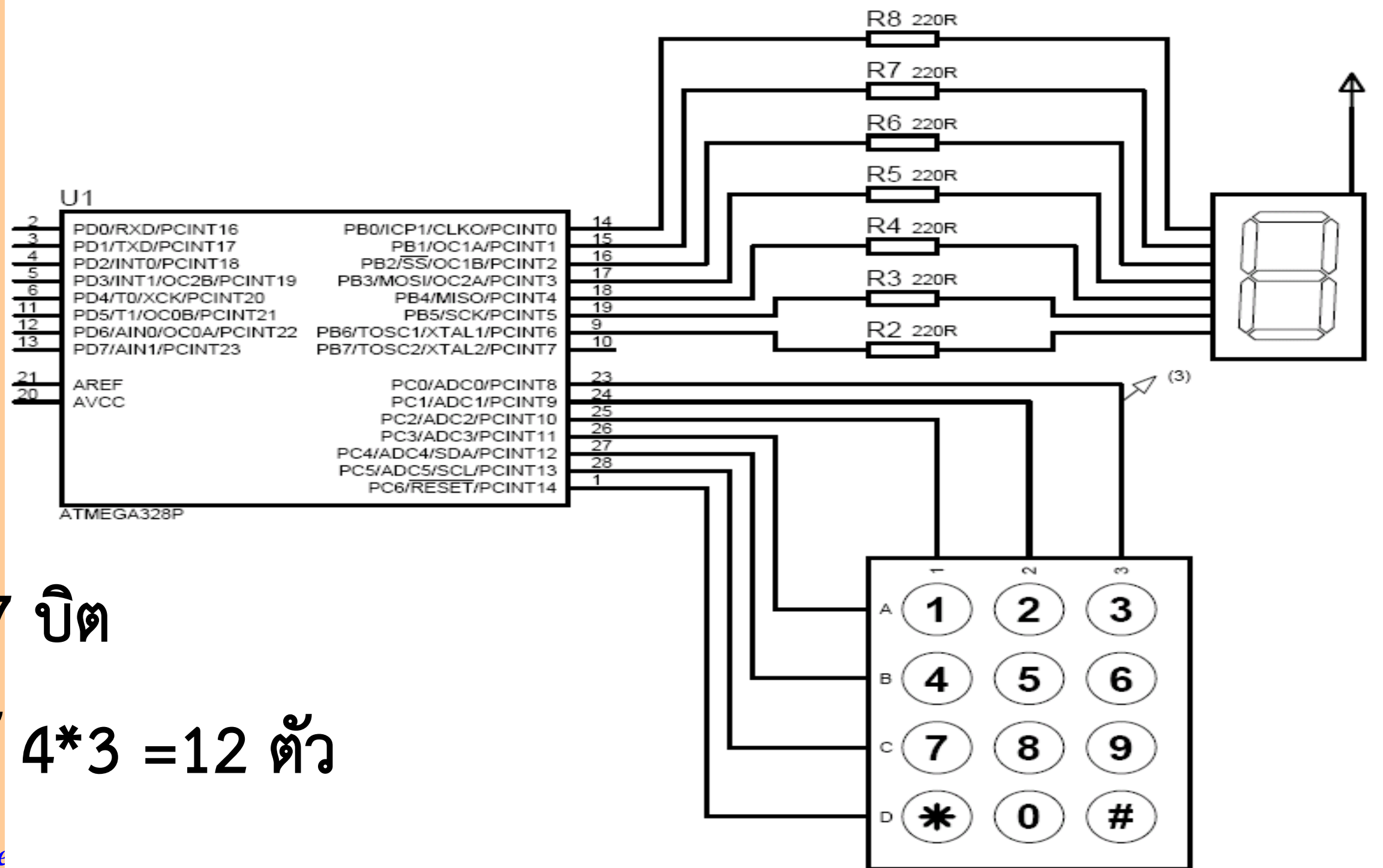




การแก้ปัญหาโกสต์เอฟเฟกต์



การเชื่อมต่อสวิตช์แบบเมทริกซ์

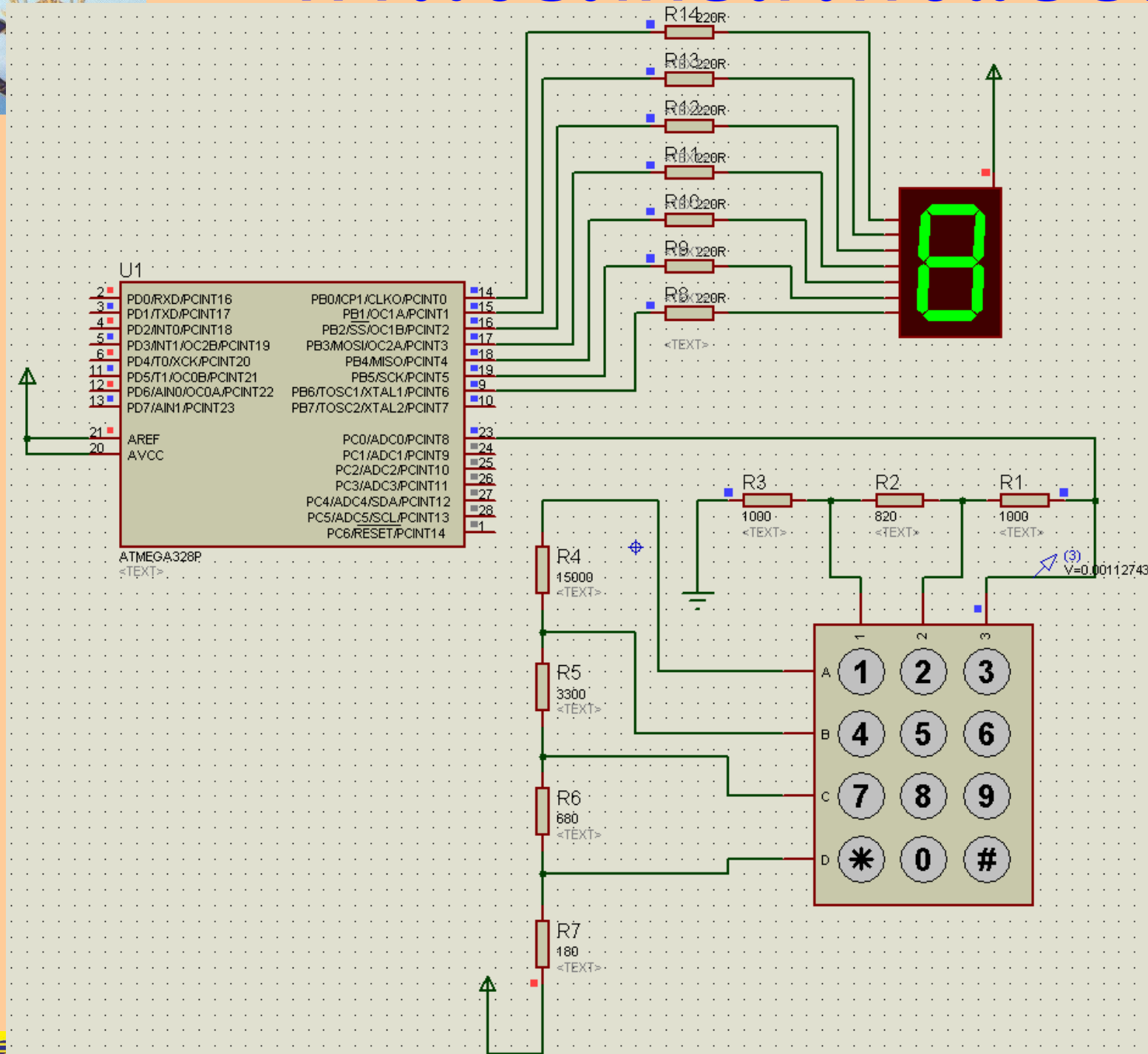


◆ เสียพอร์ต 7 บิต

◆ ต่อสวิตช์ได้ $4 \times 3 = 12$ ตัว



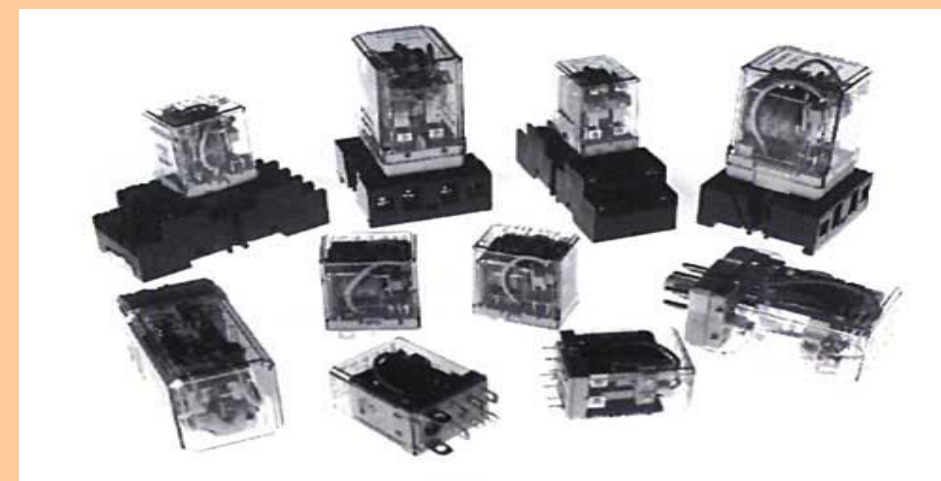
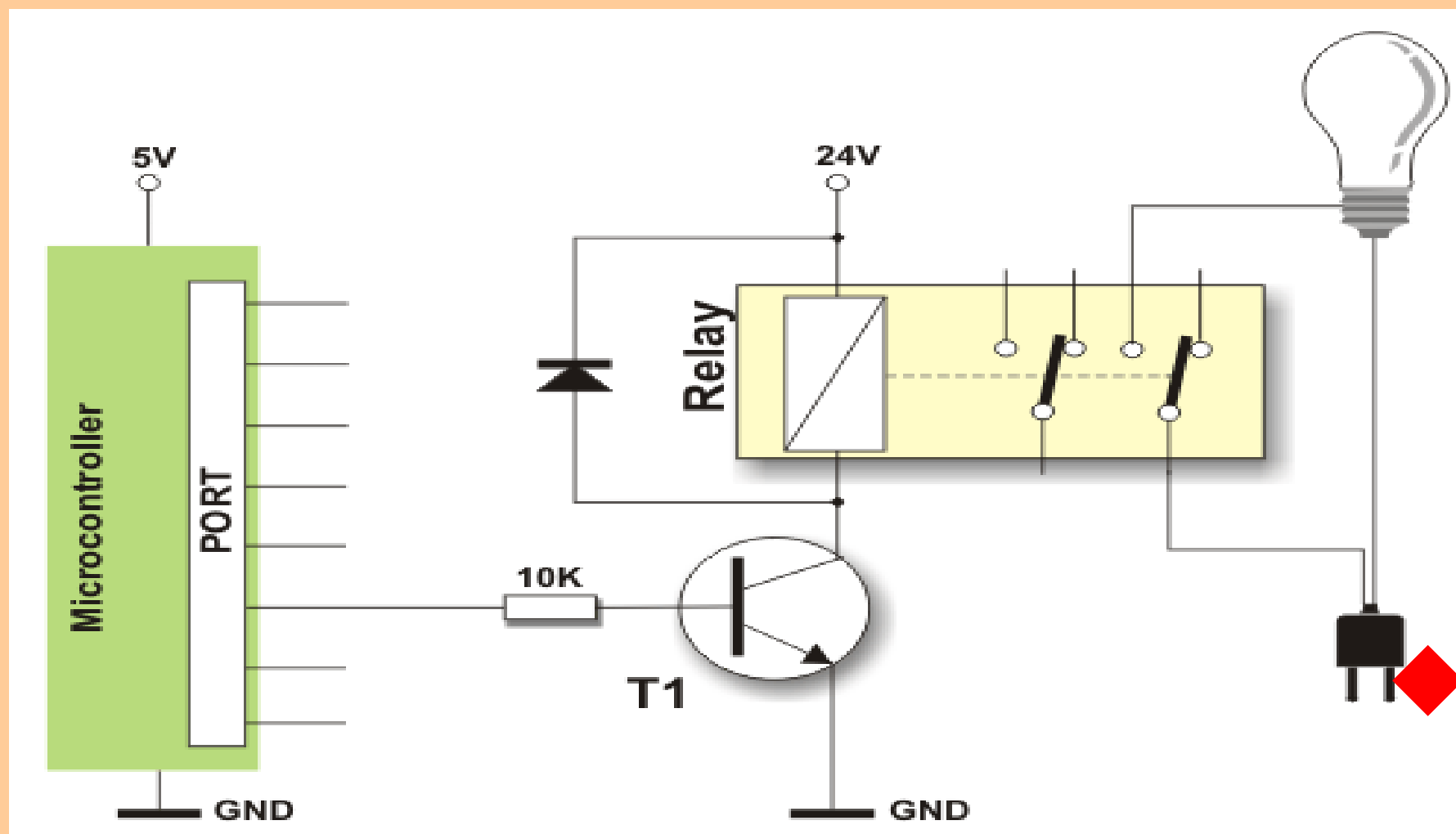
การเชื่อมต่อสวิตช์แบบเมทริกซ์โดยใช้ ADC



◆ ค่อยเรียนรายละเอียด
อีกครั้งหลังจากเรียน
เรื่อง ADC แล้ว



การขับรีเลย์ (Relay)



รูปจาก <http://sdigital-components.com/wp-content/uploads/2012/08/relays1.jpg>

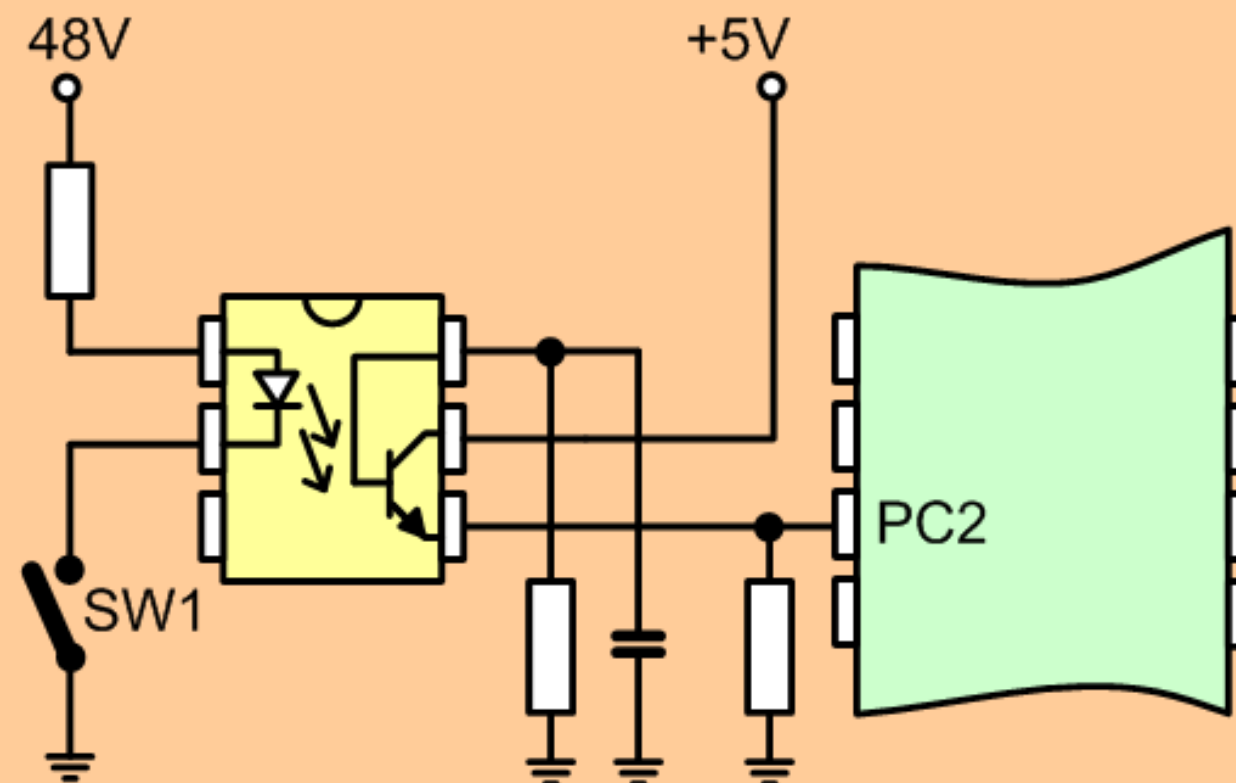
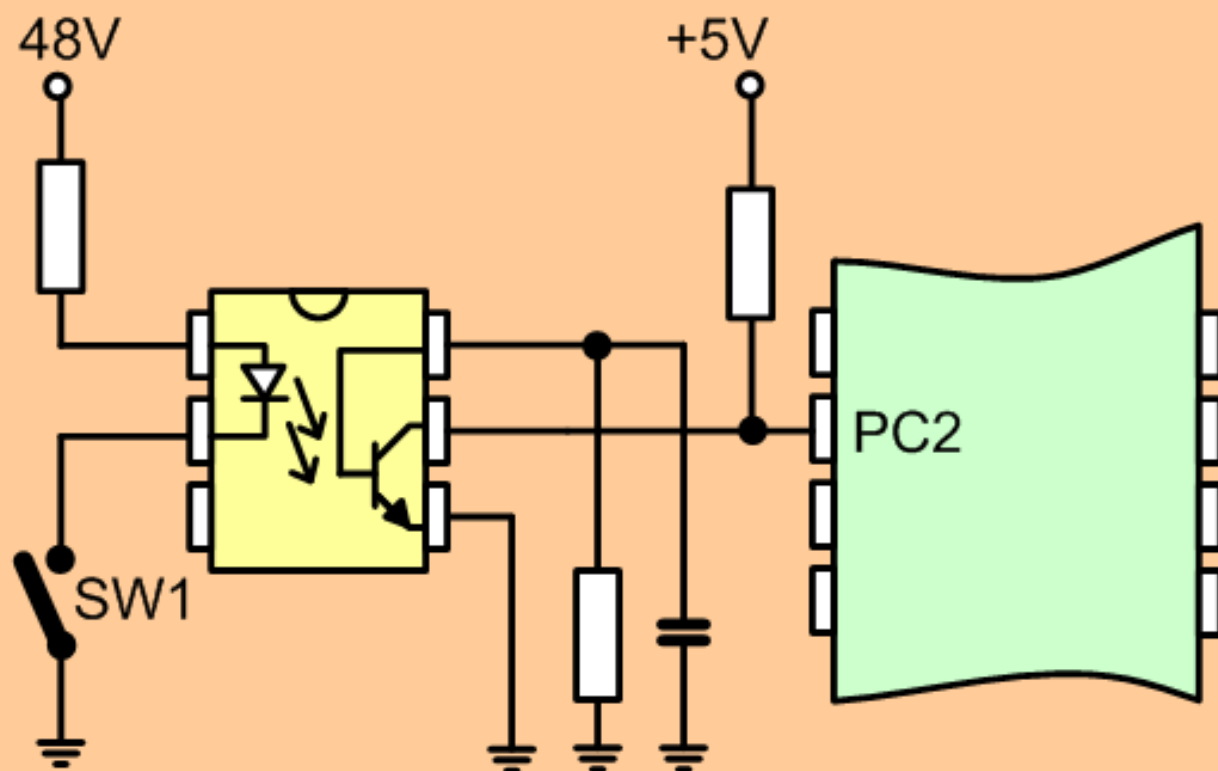
♦ ทรานซิสเตอร์ทำงาน
ในโหมดใด?

รูปจาก <https://cdn.mikroe.com/ebooks/img/2/2016/01/8051-chapter-06-image-008.gif>





การแยกกันทางไฟฟ้าโดยใช้ Optocoupler





ฉบับที่ 2

