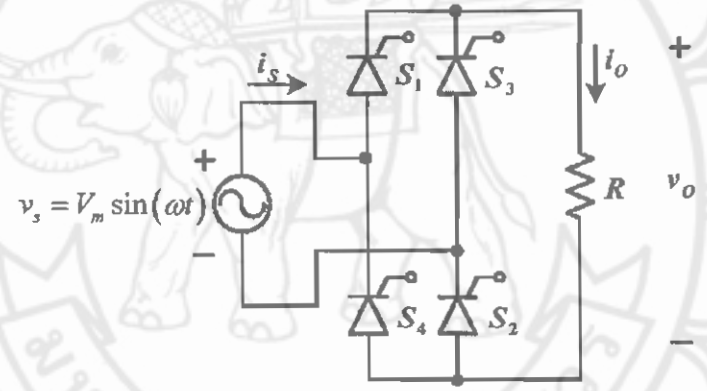
บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

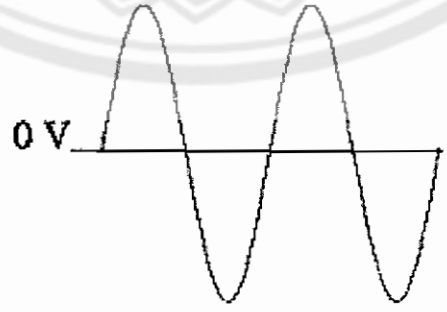
2.1 เอซีทูดีซีคอนเวอร์เตอร์เบื้องต้น

เอซีทูดีซีคอนเวอร์เดอร์ชนิดนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสสลับเป็นกระแสตรง ชนิดเฟสเดียวเต็มคลื่นแบบควบคุมเฟสหรือวงจรแบบบริดจ์ไทริสเตอร์ สามารถทำได้โดยการแทนไดโอดด้วยไทริสเตอร์ แรงดันไฟฟ้าด้านออกจะได้รับการควบคุมจากการปรับมุมได้สมการดังต่อไปนี้

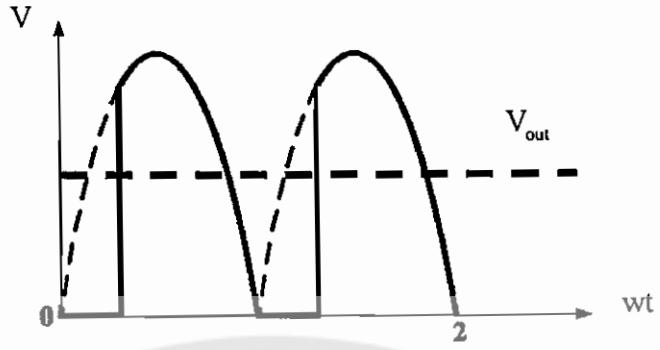
$$V_o = \frac{1}{\pi}\int_{\alpha}^{\pi} V_m \sin(\omega t)d(\omega t) = \frac{V_m}{\pi}(1+\cos\alpha) \qquad (2.1)$$



รูปที่ 2.1 วงจรเอซีทูดีซีคอนเวอร์เดอร์ชนิดเฟสเดียวเต็มคลื่นแบบควบคุมเฟส

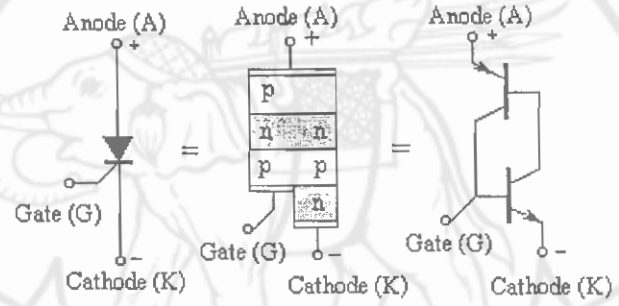


รูปที่ 2.2 แรงดันอินพุต



รูปที่ 2.3 แรงดันเอาท์พุตโดยมีการควบคุมเฟส

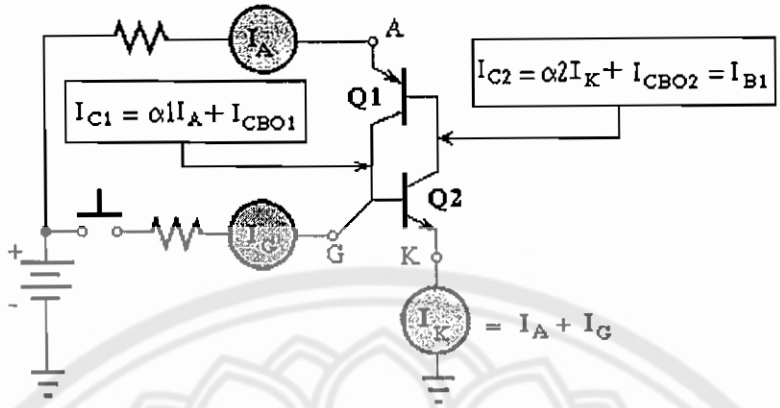
2.2 เอสซีอาร์ Silicon Controlled Rectifiers (SCRs)



รูปที่ 2.4 เอสซีอาร์ Silicon Controlled Rectifier (SCR)

เอสซีอาร์ Silicon Controlled Rectifier (SCR) เป็นอุปกรณ์ที่มี 4 ชั้น มีการไหลของกระแสทิศทางเดียว สามารถควบคุมได้ ซึ่งแรงดันเบรคโอเวอร์ (Breakover Voltage) สามารถทำให้ต่ำลงได้โดยการใส่แรงดันและกระแสที่ขั้วควบคุมที่เรียกว่า เกต (Gate) เอสซีอาร์สามารถใช้เป็นวงจรเรียงกระแสที่ปรับค่าได้ รูปที่ 2.4 แสดงสัญลักษณ์ของเอสซีอาร์ โครงสร้างของชั้น ถูกปรับปรุงให้สะดวกที่ขั้วเกต ซึ่งเป็นขั้วเบสของทรานซิสเตอร์ NPN สิ่งที่เหมือนกับไดโอดทั่วไป มีการไหลของกระแสทิศทางเดียวจากแอโนดไปยังแคโทด

2.2.1 การจุดชนวนกระแสเกตของเอสซีอาร์



รูปที่ 2.5 แสดงการวิเคราะห์กระแสเอสซีอาร์

การรีเจนเนอเรทีฟ และการแลทชิ่งของเอสซีอาร์ เป็นเสมือนกับการป้อนกลับแบบบวก (Positive Feedback) ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยอาศัยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของทรานซิสเตอร์สองตัวในเอสซีอาร์เนื่องจากเอสซีอาร์เป็นสารกึ่งตัวนำชนิด PNPN ดังนั้นอาจพิจารณาได้เป็นทรานซิสเตอร์ PNP, Q_1 ต่ออยู่กับทรานซิสเตอร์ NPN, Q_2 ดังรูปที่ 2.5

กระแสคอลเลคเตอร์ของเอสซีอาร์เป็นกระแสที่พิกัดซึ่งโดยทั่วไปเท่ากับ

$$I_C = \alpha I_E + I_{CBO} \tag{2.2}$$

α คือเกนกระแสคอมมอนเบส (Common-Base Current) $\alpha \cong \frac{I_C}{I_E}$

I_{CBO} คือกระแสวิ่งระหว่างรอยต่อคอลเลกเตอร์กับเบส

สำหรับทรานซิสเตอร์ Q_1 กระแสอิมิตเตอร์ คือกระแสแอโนด I_A และกระแสคอลเลกเตอร์ I_{C1} คือ

$$I_{C1} = \alpha_1 I_A + I_{CBO1} \tag{2.3}$$

ทำนองเดียวกัน สำหรับทรานซิสเตอร์ Q_2, กระแสคอลเลกเตอร์ของ Q_2, I_{C2} คือ

$$I_{C2} = \alpha_2 I_K + I_{CBO2} \tag{2.4}$$

เมื่อ I_K เป็นกระแสที่แคโทด, α_2 เป็นเกนกระแสของทรานซิสเตอร์ Q_2 , และ I_{CBO2} เป็นกระแสรั่วไหลของทรานซิสเตอร์ Q_2 ดังนั้นหากรวม I_{C1} และ I_{C2} จะได้

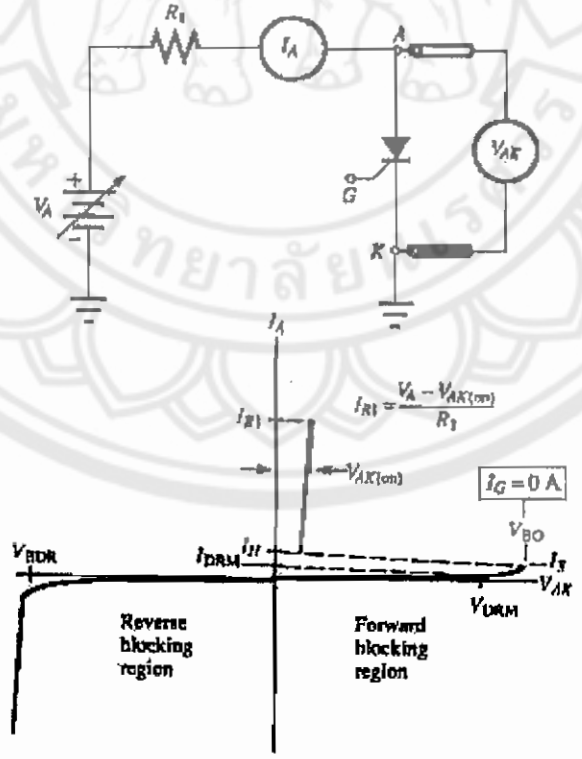
$$I_A = I_{C1} + I_{C2} = \alpha_1 I_A + I_{CBO1} + \alpha_2 I_K + I_{CBO2} \tag{2.5}$$

สมมติให้กระแสเกตคือ I_G ดังนั้น $I_K = I_A + I_G$ และจัดรูปสมการ 2.5 ได้ว่า

$$I_A = \frac{\alpha_2 I_G + I_{CBO1} + I_{CBO2}}{1-(\alpha_1 + \alpha_2)} \tag{2.6}$$

ค่า α_1 จะเปลี่ยนไปตามกระแสอีมิตเตอร์ $I_A = I_E$ ส่วนค่า α_2 จะเปลี่ยนไปตามกระแส $I_K = I_A + I_G$ โดยปรกติการเปลี่ยนแปลงค่าของ α จะเพิ่มขึ้นเป็นเส้นโค้งถ้า I_G เพิ่มขึ้นทันทีทันใด กระแสแอโนด I_A จะเพิ่มขึ้นทันทีเช่นกัน ซึ่งทำให้ค่า α_1 และ α_2 เพิ่มขึ้นอย่างไรก็ตาม จากสมการ 2.6 การเพิ่มขึ้นของ α_1 และ α_2 จะทำให้ I_A เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงเป็นผลให้เกิดการป้อนกลับแบบบวก (Positive Feedback) ขึ้นและกระแส I_A จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

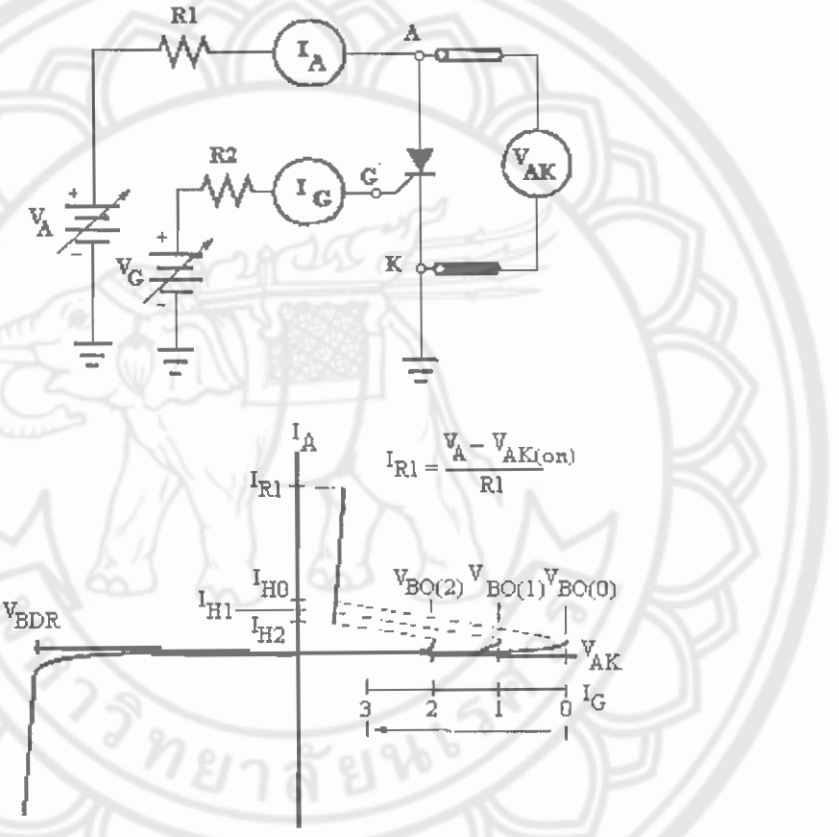
2.2.2 การทำงานเมื่อไม่มีกระแสเกตของเอสซีอาร์



รูปที่ 2.6 วงจรทดสอบเอสซีอาร์ และ เส้นโค้งคุณลักษณะ

รูปที่ 2.6 วงจรทดสอบเอสซีอาร์ และ เส้นโค้งคุณลักษณะ สังเกตว่าไม่มีกระแสหรือแรงดันที่ขั้วเกตเอสซีอาร์ ในขณะที่ V_A เพิ่มเอสซีอาร์จะนำกระแสเพียงเล็กน้อยจนกระทั่ง V_{BO} และ I_S เกิดขึ้นเอสซีอาร์ จะแลทช์และค้างไว้นานเท่าที่กระแสแอโนดยังมากกว่ากระแสโฮลดิ้ง อย่างไรก็ตาม เอสซีอาร์ ในแบบนี้จะไม่ทำงานตามปกติ ผู้ผลิตแนะนำว่าไม่ควรนำเอสซีอาร์ ไปใช้กับแรงดันเบรคโอเวอร์ (Breakover Voltage) เพื่อทำให้เกิดแลทช์ เพราะจะทำให้เอสซีอาร์เสียหาย ในการทำงานปกตินั้นควรใช้การจุดชนวนให้ขาเกตของเอสซีอาร์

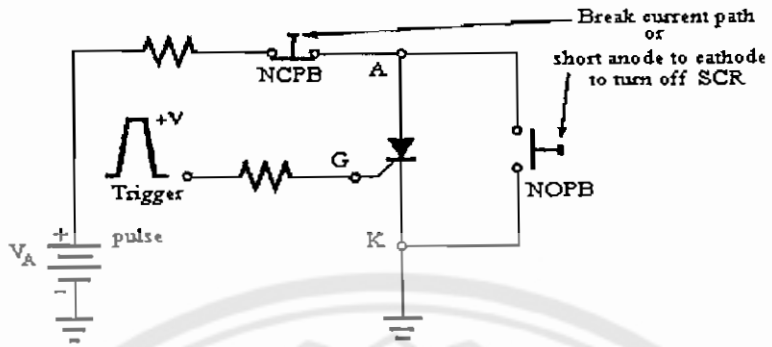
2.2.3 กระแสเกตและแรงดันเบรคโอเวอร์ของเอสซีอาร์



รูปที่ 2.7 อิทธิพลของกระแสเกต

ตัวอย่างของผลของกระแสเกตที่มีผลต่อการจุดชนวนของเอสซีอาร์ เพราะกระแสเกตเพิ่มโดยการเพิ่ม V_G ทำให้จุดแรงดันเบรคโอเวอร์ (Breakover Voltage) ลดลงหรือพูดได้ว่าเอสซีอาร์จะถูกจุดชนวนที่โวลต์ต่ำจากแอโนดไปแคโทด เพราะกระแสเกตเพิ่มและทำให้กระแสโฮลดิ้งลดลง อย่างไรก็ตามถ้าเอากระแสเกตออกหลังจากเอสซีอาร์แลทช์แล้ว กระแสโฮลดิ้งจะเพิ่มถึงระดับปกติ (I_{HO}) จากกราฟสรุปได้ว่าเอสซีอาร์จะแลทช์ที่ค่า V_{AK} ต่ำ เพราะ I_G จะเพิ่ม

2.2.4 การรีเซตเอสซีอาร์



รูปที่ 2.8 การรีเซตเอสซีอาร์

เอสซีอาร์ไม่สามารถจะหยุดนำกระแสโดยการเอากระแสเกตออกได้ ทางเดียวที่จะทำให้หยุดนำกระแส คือลดกระแสแอโนดให้ต่ำกว่าค่ากระแสโฮลดิ้งเมื่อเอสซีอาร์แลทช์มี 2 วิธีที่จะทได้ คือ (1) รบกวนกระแสแอโนดหรือ (2) ใช้การบังคับการติดต่อ รูปที่ 2.8 เอสซีอาร์สามารถจะรีเซตโดยการเปิดปุ่มที่อนุกรม หรือปิดปุ่มที่ขนานกับเอสซีอาร์ ตามวิธีที่กล่าวกระแสแอโนดจะถูกบังคับให้ลดลงต่ำกว่ากระแสโฮลดิ้ง และเอสซีอาร์ก็จะหยุดนำกระแส ส่วนการบังคับการติดต่อนั้นทำโดยการใช้ค่าแรงดันเป็นกลับขั้วให้กับเอสซีอาร์ ซึ่งจะไปขัดขวางกระแสแอโนต ทำให้มีค่าลดลงต่ำกว่ากระแสโฮลดิ้ง

2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์

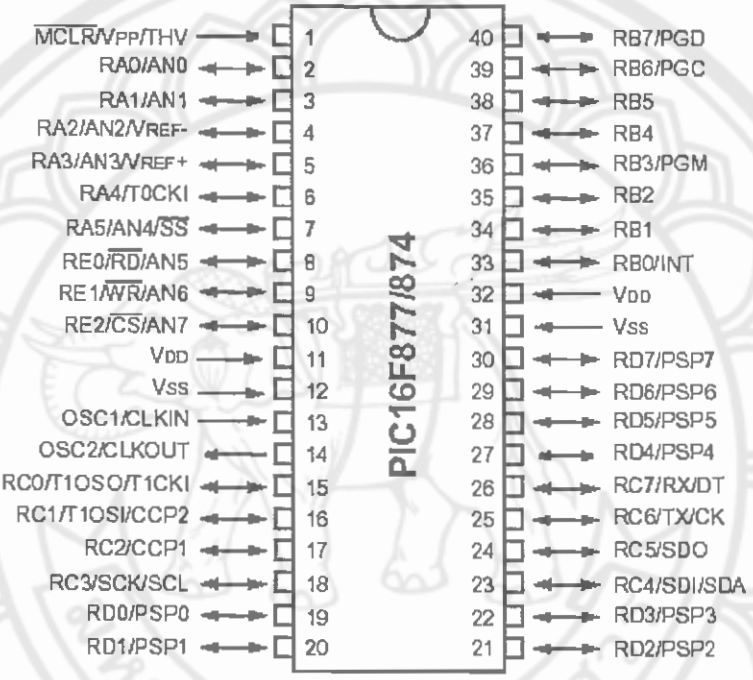
ปัจจุบันการพัฒนาและการแข่งขันทางด้านเทคโนโลยีผลิตชิ้นส่วนสารกึ่งตัวนำ ที่นำไปสร้างเป็นไอซีมี ประสิทธิภาพสูงมากขึ้นและมีเทคโนโลยีที่เกิดจากการผลิตของบริษัทต่างๆซึ่งส่งผลให้การผลิตชิพไอซีมีขนาดที่เล็กลงแต่มีประสิทธิภาพ และคุณสมบัติต่างๆมากขึ้น

ไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เมื่อเราต้องการใช้งานกับระบบควบคุมขนาดเล็ก เช่น เตาไมโครเวฟ เครื่องซักผ้าและเครื่องใช้ไฟฟ้าอื่นๆ เราจึงนิยมนำไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้งาน เพราะมีหน่วยความจำและวงจรติดต่อกับอินพุตเอาท์พุตพร้อมในตัวเดียวกัน ประกอบกับมีขนาดที่เล็ก อุปกรณ์ที่จะนำมาต่อร่วมมีน้อยและเหมาะสำหรับใช้งานในการคำนวณที่ไม่ซับซ้อนมากนัก จึงทำให้ลดความซับซ้อนของระบบควบคุมได้เป็นอย่างมาก

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์	จำนวนขา	หน่วยความจำโปรแกรม	วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อก
PIC16F84	18	1 กิโลไบต์	ไม่มี
PIC16F870	28	2 กิโลไบต์	มี
PIC16F877	40	8 กิโลไบต์	มี

2.3.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877



รูปที่ 2.9 ขาต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์

2.3.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของ PIC16F877

- ซีพียูเป็นแบบ RISC (Reduced Instruction-Set Computer)
- สามารถกระทำคำสั่งโดยใช้สัญญาณเพียงหนึ่งลูก (ยกเว้นคำสั่งการกระโดด)
- ความถี่สัญญาณนาฬิกา ตั้งแต่ไฟตรงถึง 20 MHz
- หน่วยความจำโปรแกรม 8 กิโลเวิร์ด
- หน่วยความจำข้อมูลแรมหรือรีจิสเตอร์ 368 ไบต์
- ขนาดหน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอม 256 ไบต์
- ตอบสนองการเกิดอินเตอร์รัพท์สูงสุดถึง 15 แหล่ง
- มีสแต็ก 8 ระดับ

- มีวงจรเพาเวอร์ออนรีเซต (POR), มีเพาเวอร์อัพไทเมอร์ (PWRT) และ ออสซิล-เลเตอร์สตาร์ทอัพไทเมอร์ (OST)
- มีวงจรวอตช์ด็อกไทเมอร์ (WDT) ทีมีวงจรออสซิเลเตอร์ในตัวทำให้มีความน่าเชื่อถือในการทำงานสูง
- เลือกป้องกันข้อมูล ทั้งในหน่วยความจำโปรแกรม และหน่วยความจำข้อมูล สามารถเลือกระดับการป้องกันได้
- ซีพียูสามารถอ่านและเขียนหน่วยความจำโปรแกรมได้
- ไฟเลี้ยง +2 ถึง +5.5 V, กระแสซิงก์ (Sink current) และ กระแสซอร์ส (Source current) 25 mA
- การใช้พลังงานไฟฟ้าในกรณีไม่ขับโหลด
น้อยกว่า 2 mA ที่ไฟฟ้าเลี้ยง +5V และสัญญาณนาฬิกา 4 MHz
20 μA ที่ไฟเลี้ยง +3 V และสัญญาณนาฬิกา 32 kHz
น้อยกว่า 1 μA ในโหมดประหยัดพลังงาน หรือ สแตนด์บาย

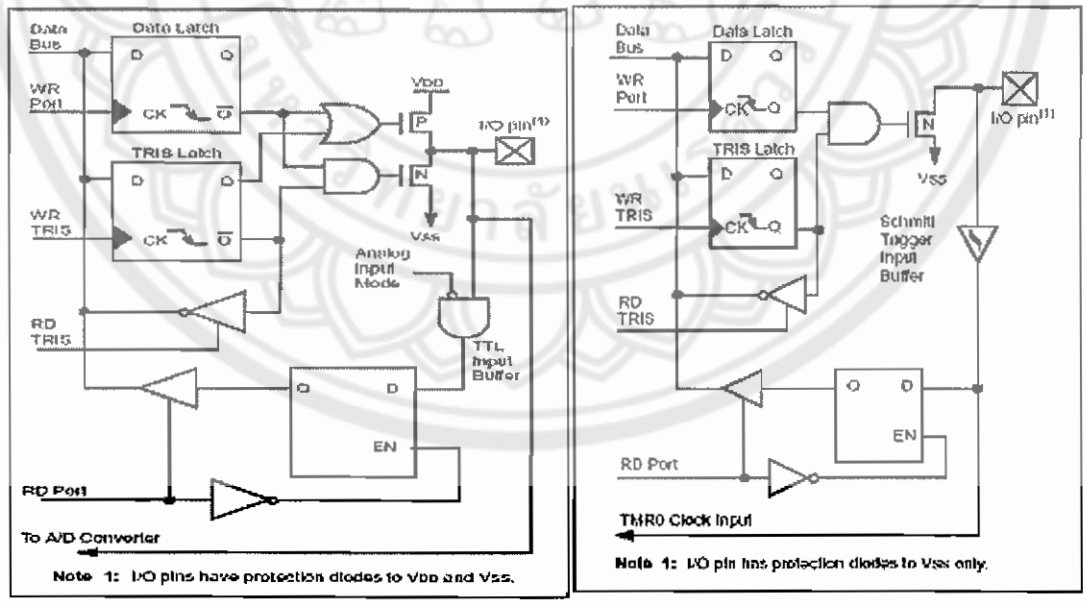
คุณสมบัติพิเศษเพิ่มเติม

- ไทเมอร์ 3 ตัว คือ ไทเมอร์ 0 ขนาด 8 บิต มีปรีสเกลเลอร์ขนาด 8 บิตในตัว ,ไทเมอร์ 1 ขนาด 16 บิต พร้อมปรีสเกลเลอร์ และ ไทเมอร์ 2 ขนาด 8 บิต มีปรีสเกลเลอร์, โพสต์สเกลเลอร์ และรีจีสเตอร์คาบเวลา ขนาด 8 บิตในตัว
- มีโมดูล CCP 2 ชุดโดย
ส่วนตรวจจับสัญญาณหรือแคปเจอร์ (Capture) มีขนาด 16 บิต ความละเอียดสูงสุด 12.5 นาโนวินาที
ส่วนเปรียบเทียบสัญญาณ (Compare) มีขนาด 16 บิต ความละเอียดสูงสุด 200 นาโนวินาที
วงจร PWM มีความละเอียดสูงสุด 10 บิต
- มีวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลขนาด 10 บิต 8 ช่องสัญญาณ
- วงจรเชื่อมต่ออุปกรณ์อนุกรมทั้ง SPI และ I^2C
- วงจรสื่อสารข้อมูลอนุกรม (USART) พร้อมการตรวจจับแอดเดรส 9 บิต
- มีวงจรตรวจจับระดับแรงดันไฟเลี้ยง (Brown-Out Detection) เพื่อการรีเซตซีพียู หรือ เรียกว่าบราวเอาต์รีเซต (Brown-Out Reset : BOR)

2.3.3 PORTA ของ PIC16F877 ใช้สำหรับแปลงสัญญาณอนาล็อกทูดิจิตอล

I/O พอร์ต บางตัวของ PIC เป็นแบบหลายทางซึ่ง อาจเป็นทั้ง I/O หรือคุณสมบัติภายนอก (เช่น A/D, Serial, I^2C) ซึ่งเมื่อขาเหล่านี้ใช้งานในส่วนภายนอก ก็จะไม่สามารถใช้งานในลักษณะของ I/O ได้ PORTA และ TRISA รีจิสเตอร์

PORTA มีขนาด 6 บิต ซึ่งเป็นพอร์ต ที่เป็นได้ทั้ง อินพุตและ เอาท์พุต โดยต้องเลือกแบบใดแบบหนึ่ง สามารถเลือกได้จากรีจิสเตอร์ ที่มีชื่อว่า TRISA ซึ่งถ้า TRISA บิตถูกเซต เป็น '1' PORTA ที่มีหมายเลขบิตเดียวกันนั้นก็ทำงานเป็นอินพุตส่วนถ้า TRISA บิต ถูกเซตเป็น '0' PORTA ที่มีหมายเลขบิตเดียวกันนั้นก็จะทำงานเป็นเอาท์พุต (พอร์ตจะอยู่ในสถานะเอาท์พุตแลทช์) การอ่านค่า PORTA รีจิสเตอร์คือการอ่านค่าสถานะของขา PORTA ในขณะนั้น ส่วนการเขียนค่าไปยัง PORTA คือการเขียนไปยังแลทช์ของพอร์ต ลักษณะการเขียนจะเป็นแบบ Read-Modify-Write Operations ซึ่งหมายความว่า ในการเขียนไปยังพอร์ต จะเริ่มด้วยการอ่านค่าพอร์ตนั้นมาก่อนแล้วทำการเปลี่ยนแปลงค่า จากนั้นก็ทำการเขียนกลับไปยังพอร์ตแลทช์ อีกครั้งหนึ่งขา RA4 จะถูกเชื่อมต่อหลายทางกับ Timer0 โมดูลสัญญาณนาฬิกาอินพุต ซึ่งจะเรียกรวมๆ ว่า RA4/T0CKI โดยที่ ขา RA4/T0CKI จะเป็นลักษณะอินพุตแบบ สมิตทริกเกอร์ (Schmitt Trigger) และเอาท์พุตแบบเปิดพอร์ต RA ทั้งหมด จะมีระดับอินพุต TTL และ มีเอาท์พุตแบบดัวขับCMOS แบบเต็ม ส่วน PORTA ขาอื่นๆ จะถูกเชื่อมต่อกับอนาล็อกอินพุต และแรงดันอ้างอิงของ A/D อินพุต ซึ่งการกำหนดการทำงานของแต่ละขา สามารถเลือกได้โดย ยกเลิกหรือ เซตบิตคอนโทรล ใน ADCON1 รีจิสเตอร์



รูปที่ 2.10 บล็อกไดอะแกรมของขาRA3:RA0 และRA5 และขาRA4/T0CKI

ในขณะที่เกิดการรีเซตการเปิดใช้งานขาเหล่านี้จะถูกกำหนดให้เป็นอนาล็อกอินพุด และจะอ่านค่าได้เป็น '0'

TRISA รีจิสเตอร์ มีหน้าที่ควบคุมว่าขา PORTA ใดจะเป็น อินพุตต่อเอาท์พุต ในกรณีที่ใช้ PORTA เป็น อนาล็อกอินพุตTRISAรีจิสเตอร์จะต้องถูกเซต

การตั้งค่าเริ่มต้น PORTA

```
BCF STATUS, RP0;
CLRF PORTA          ทำการ ยกเลิกค่าข้อมูลเอาท์พุต ของ PORTA
BSF STATUS, RP0 ;   เลือก BANK1
MOVLW 0xCF ;        ใส่ค่าคงที่ลงใน W รีจิสเตอร์
MOVWF TRISA ;       กำหนดให้ PORTA 0-3 เป็นอินพุต, กำหนดให้ PORTA 4-5 เป็น
                    เอาท์พุต
```

2.3.4 PORTB ของ PIC16F877 ใช้สำหรับกำหนดสัญญาณจุดชนวนไทริสเตอร์และตรวจจับแรงดันซีโรครอสซิ่ง

PORTB เป็นลักษณะแบบพอร์ตแบบสองทิศทาง ซึ่งรีจิสเตอร์ที่จะเป็นตัวกำหนดว่าพอร์ตใดจะเป็นแบบอินพุตหรือเอาท์พุต จะถูกกำหนดโดย TRISB รีจิสเตอร์ ถ้าเซต TRISB บิตใด '1' PORTB ที่บิดนั้นก็จะเป็นอินพุต ถ้ายกเลิก TRISB บิตใด '0' PORTB ที่บิตนั้นก็จะเป็นเอาท์พุตขา สามขาของ PORTB จะเชื่อมต่อหลายทางกับ ฟังก์ชั่นการโปรแกรมต้านแรงดันต่ำ (Low Voltage Programming Function) ซึ่งได้แก่ RB3/PGM, RB6/PGC และ RB7/PGD

การตั้งค่าเริ่มต้น PORTB

```
BCF STATUS, RP0
CLRF PORTB;         ทำการ ยกเลิกค่าข้อมูลเอาท์พุต ของ PORTB
BSF STATUS,RP0 ;    เลือก BANK1
MOVLW 0xCF ;        ใส่ค่าคงที่ลงใน W รีจิสเตอร์
MOVWF TRISB ;       กำหนดให้ PORTB0-3 เป็นอินพุต, กำหนดให้PORTB4-5 เป็น
                    เอาท์พุต, กำหนดให้ PORTB6-7 เป็นอินพุต
```

PORTB แต่ละพอร์ตจะมีเวคพูลอัพ (Weak Pull-Up) อยู่ภายในเราสามารถกำหนดว่าจะใช้พูลอัพ (Pull-Up) ภายในหรือไม่จากการเซต หรือยกเลิก RBPU\ โดยถ้าเรายกเลิก RBPU\ จะหมายถึงเราทำการปิดการทำงานพูลอัพ (Pull-Up) ภายใน และถ้าเรากำหนดให้ PORTB เป็นเอาท์พุตแล้วพูลอัพ (Pull-Up) จะถูกปิดการทำงานโดยอัตโนมัติ

สำหรับ PORTB นั้นขา RB4-RB7 จะมีลักษณะเพิ่มเติมก็คือ การกำหนดให้เกิดอินเตอร์รัพท์เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของสถานะของสัญญาณไฟฟ้าที่ขา RB4 - RB7 โดยถ้าขาใดขาหนึ่งเกิดเปลี่ยนสถานะก็จะทำให้เกิดการเปลี่ยนพอร์ตขึ้น ซึ่งจะทำให้ RBIF (INTCON.0) แฟลก

ถูกเซต โดยที่อินเตอร์รัพท์ประเภทนี้สามารถทำการสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานจากสถานะหลับ (Sleep Mode)

RBIF แฟลกจะถูกยกเลิก ได้ 2 กรณี คือ

(1) ทำการอ่านหรือเขียน PORTB

(2) ทำการยกเลิก RBIF แฟลกโดยตรง

หากใช้เปลี่ยนอินเตอร์รัพท์ในPORTBแล้วไม่ควรจะปิดการทำงานพูลอัพ (Pull-Up) ของ PORTB

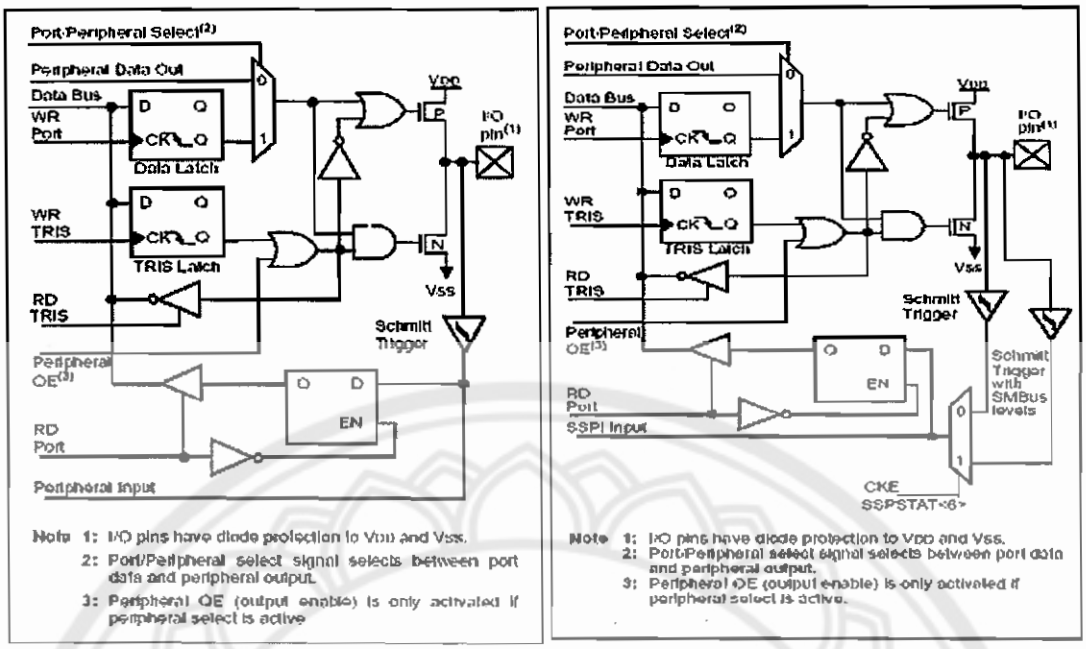
2.3.5 PORTC ของ PIC16F877 ใช้ในการส่งคำสั่งควบคุม LCD

PORTC เป็นลักษณะแบบพอร์ต แบบสองทิศทาง ซึ่งรีจิสเตอร์ที่จะเป็นตัวกำหนดว่าพอร์ตใดจะเป็นแบบอินพุตหรือเอาท์พุตจะถูกกำหนดโดย TRISC รีจิสเตอร์ ถ้าเซต TRISC บิตใด '1' PORTB ที่บิตนั้นก็จะเป็นอินพุต ถ้ายกเลิก TRISC บิตใด '0' PORTC ที่บิตนั้นก็จะเป็นเอาท์พุตที่ PORTC จะมีคุณสมบัติเพิ่มเติม เช่น I^2C , UART, SPI, PWM, CAPTURE ขึ้นอยู่กับการเลือกใช้งาน โดยเมื่อเราทำการเปิดใช้งานคุณสมบัติเพิ่มเติมต่างๆที่ PORTC เราต้องระวังในเรื่องของการตั้งค่า TRISC ของแต่ละขาของ PORTC เพราะในการเปิดใช้งานคุณสมบัติบางตัวที่อยู่ที่ PORTC (เช่น UART) ตัวมันเองก็จะทำการเปลี่ยนบิตTRISC โดยอัตโนมัติ ดังนั้นไม่ควรที่จะตั้งค่า TRISC โดยตรงกับขาใดของ PORTC ที่ทำการเปิดใช้งาน

การตั้งค่าเริ่มต้น PORTC

```
BCF STATUS, RP0
CLRF PORTC;          ทำการ ยกเลิกค่าข้อมูลเอาท์พุต ของ PORTB
BSF STATUS,RP0 ;     เลือก BANK1
MOVLW 0xCF ;         ใส่ค่าคงที่ลงใน W รีจิสเตอร์
MOVWF TRISB ;        เซต PORTC0-3 เป็นอินพุต,เซต PORTC4-5 เป็นเอาท์พุต, เซต
                     PORTC6-7 เป็นอินพุต
```

PORTC แต่ละพอร์ตจะสมิตทริกเกอร์ (Schmitt Trigger) อินพุตบัฟเฟอร์อยู่ภายในแต่ละขา



รูปที่ 2.11 บล็อกไดอะแกรมของ PORTC

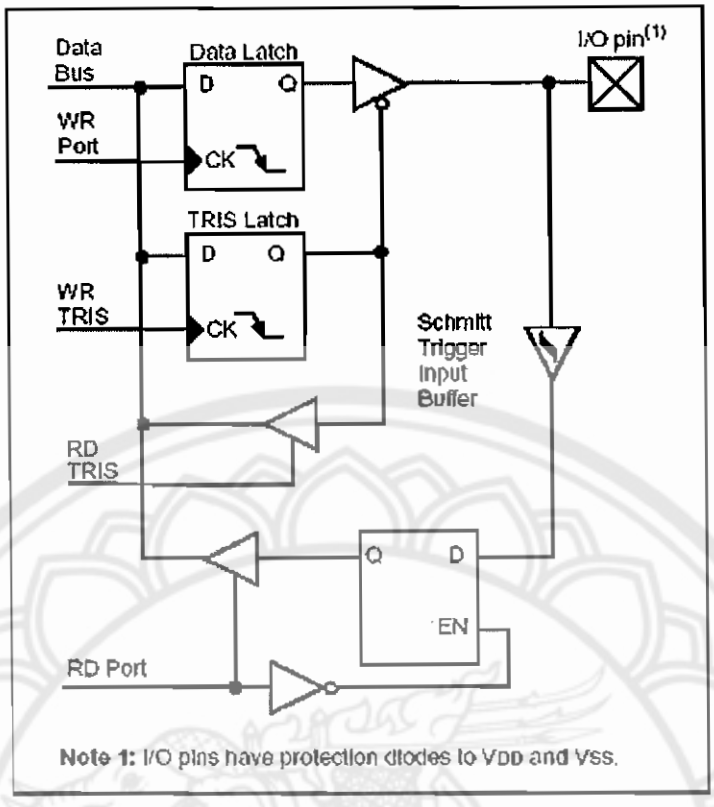
ลักษณะโครงสร้างของ PORTC จะแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ PORTC 0 - 2, 5 - 7 และอีกกลุ่มหนึ่งก็คือ PORTC 3 - 4

2.3.6 PORTD และ PORTE ของ PIC16F877 ใช้ส่งข้อมูลแสดงผลให้ LCD

PORTD และ PORTE นั้นจะไม่มีอยู่ใน PIC ในตระกูลนี้ที่มีขนาดขา 28 ขา PORTD จะเป็น พอร์ตขนาด 8 บิต ซึ่งจะมี สมิตทริกเกอร์ (Schmitt Trigger) อินพุตบัฟเฟอร์อยู่ในตัว โดยที่เราสามารถกำหนดแต่ละบิตของพอร์ตให้เป็นอินพุตหรือเอาท์พุตได้โดยอิสระจากกันPORTD สามารถที่จะทำตัวเป็นพอร์ตขนานว่างได้อีกด้วย โดยทำได้โดยการเซต PSPMODE บิต (TRISE<4>) ซึ่งในโหมดนี้ บัฟเฟอร์ภายในจะกลายเป็นแบบ TTL

PORTE จะมีทั้งหมด 3 ขา คือ RE0/(RD\)/AN5, RE1/(WR\)/AN6 และ RE2/(CS\)/AN7 ซึ่งจะมี สมิตทริกเกอร์ (Schmitt Trigger) อินพุตบัฟเฟอร์อยู่ในตัว โดยที่เราสามารถกำหนดแต่ละบิตของพอร์ต ให้เป็นอินพุต หรือเอาท์พุต PORTE สามารถกลายเป็นอินพุตควบคุมสำหรับไมโครโปรเซสเซอร์เมื่อ ทำการเซต PSPMODE(TRISE<4>) บิต ข้อควรระวังเมื่ออยู่ในโหมดนี้ก็คือ ต้องตรวจดูให้ดีว่า TRISE ตั้งแต่บิต 0-2 ถูกเซต (อยู่ในสถานะอินพุต) และต้องแน่ใจว่า ADCON1 ถูกเซตให้อยู่ในโหมดดิจิตอลI/O ซึ่งในโหมดนี้อินพุตบัฟเฟอร์จะเป็น TTL

PORTE จะมีลักษณะคือจะเชื่อมต่อหลายทางกับอนาล็อกอินพุตโดยเมื่อ PORTE ถูกเซตเป็นอนาล็อกอินพุตแล้ว ขาเหล่านี้เมื่อทำการอ่านค่าจะมีค่าเป็น 0 ส่วน TRISE ซึ่งเป็นคอนโทรลรีจิสเตอร์นั้นจะต้องเซตให้เป็นอินพุตเมื่อเซตให้อยู่ในโหมดอนาล็อกอินพุต



รูปที่ 2.12 บล็อกไดอะแกรมของ PORTD

2.3.7 การจัดสรรหน่วยความจำข้อมูลแรมและรีจีสเตอร์ไฟล์

ใน PIC 16F877 มีหน่วยความจำข้อมูลแรมสำหรับใช้งานทั่วไป 192 ไบต์ และรีจีสเตอร์ไฟล์ขนาด 8 บิต 55 ตัวดังแสดงในรูปที่ 2.13 จะเห็นได้ว่ามีการจัดพื้นที่หน่วยความจำออกเป็น 4 ช่วง แต่ละช่วงเรียกว่า แบงก์ (Bank) แต่ละแบงก์มีขนาดสูงสุด 128 ไบต์ แต่จะมีการใช้งานได้จริงในแต่ละแบงก์แตกต่างกัน โดยในแต่ละแบงก์มีการจัดสรรพื้นที่ดังนี้

แบงก์ 0 มีช่วงแอดเดรส 0x00 – 0x7F

แอดเดรส 0x00 – 0x1F เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ไฟล์

แอดเดรส 0x20 – 0x7F เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 96 ไบต์

แบงก์ 1 มีช่วงแอดเดรส 0x80 – 0xFF

แอดเดรส 0x80 – 0x9F เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ไฟล์ แต่มีบางแอดเดรสไม่ใช้งาน

แอดเดรส 0xA0 – 0xEF เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 80 ไบต์

แอดเดรส 0xF0 – 0xFF บรรจุข้อมูล เหมือนในแอดเดรส 0x70 – 0x7F ในแบงก์ 0 เพื่อช่วยให้สามารถใช้ข้อมูลจากแอดเดรส 0x70 – 0x7F ได้ง่ายขึ้นโดยไม่ต้องเปลี่ยนแบงก์

แบงก์ 2 มีช่วงแอดเดรส 0x100 – 0x17F

แอดเดรส 0x100 – 0x10F เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ไฟล์ แต่มีบางแอดเดรสไม่ใช้งาน

แอดเดรส 0x110 – 0x11F เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 16 ไบต์

แอดเดรส 0x120 – 0x16F เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 80 ไบต์

แอดเดรส 0x170 – 0x17F บรรจุข้อมูลเหมือนในแอดเดรส 0x70 – 0x7F ในแบงก์ 0 เพื่อช่วยให้สามารถใช้ข้อมูลจากแอดเดรส 0x70 – 0x7F ได้ง่ายขึ้น โดยไม่ต้องเปลี่ยนแบงก์

แบงก์ 3 มีช่วงแอดเดรส 0x180 – 0x1FF

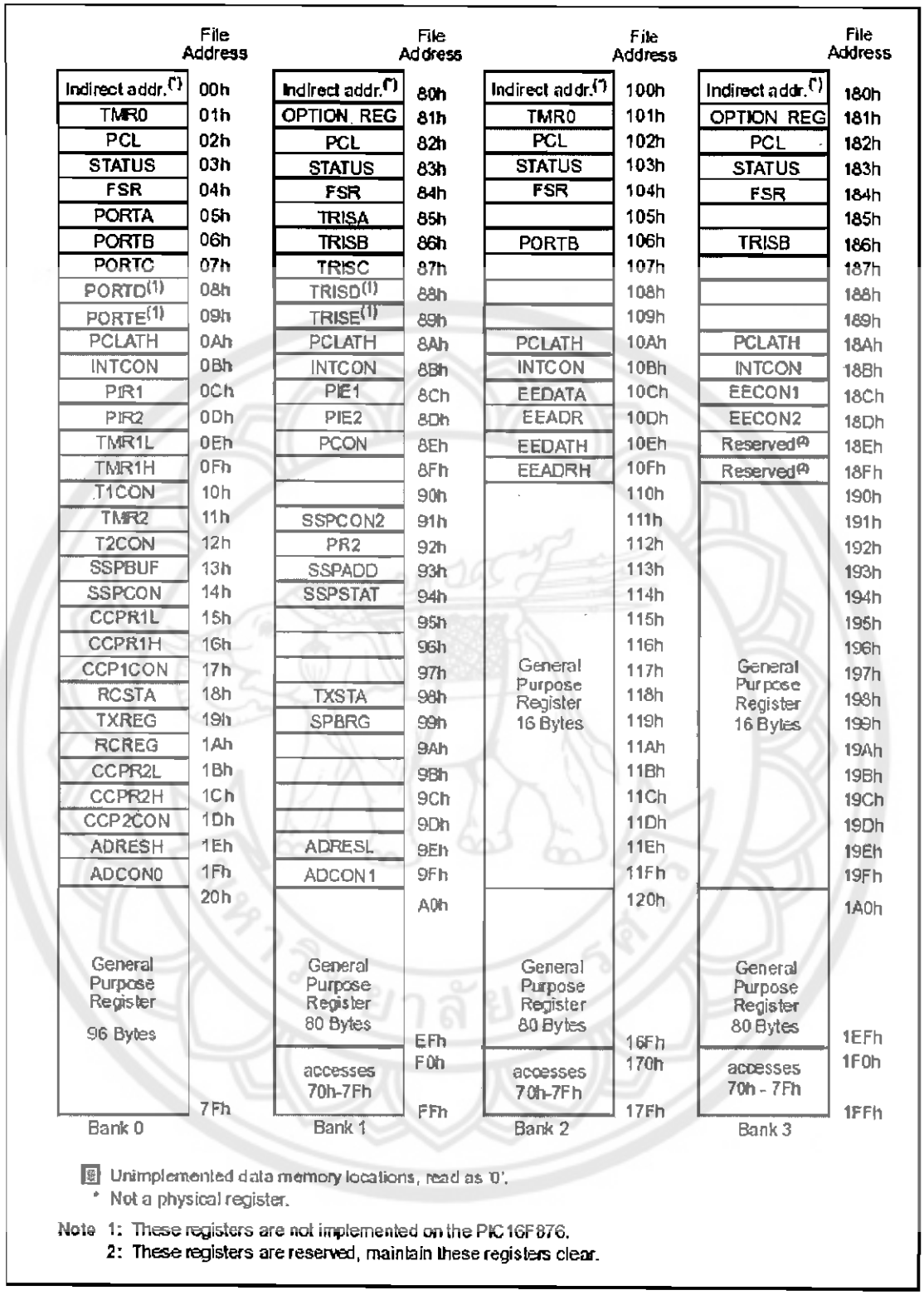
แอดเดรส 0x180 – 0x18F เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ไฟล์ แต่มีบางแอดเดรสไม่ใช้งาน

แอดเดรส 0x190 – 0x19F เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 16 ไบต์

แอดเดรส 0x1A0 – 0x1EF เป็นพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลสำหรับใช้งานทั่วไป 80 ไบต์

แอดเดรส 0x1F0 – 0x1FF บรรจุข้อมูลเหมือนในแอดเดรส 0x70 – 0x7F ในแบงก์ 0 เพื่อช่วยให้สามารถใช้ข้อมูลจากแอดเดรส 0x70 – 0x7F ได้ง่ายขึ้น โดยไม่ต้องเปลี่ยนแบงก์

การเข้าถึงหน่วยความจำข้อมูลและรีจีสเตอร์ไฟล์ในแบงก์ต่างๆ ต้องกำหนดจากบิต RP1 และ RP0 ในรีจีสเตอร์สถานะ โดย RP1 และ RP0 อยู่ในบิตที่ 6 และ 5 ของรีจีสเตอร์สถานะ และสามารถแบงก์ในรีจีสเตอร์ไฟล์นี้ได้



รูปที่ 2.13 พื้นที่ของรีจิสเตอร์ใน PIC16F877

2.3.8 การแปลงอนาล็อกเป็นดิจิตอล

สำหรับอนาล็อกทูดิจิตอล (A/D) ในไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ 40 ขา จะมี 5 อินพุต รีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องจะมีอยู่ 4 ตัวด้วยกันคือ

ADRESH คือ ค่ารีจิสเตอร์ผลลัพธ์ ไบต์สูงของการแปลงสัญญาณ

ADRESL คือ ค่ารีจิสเตอร์ผลลัพธ์ ไบต์ต่ำของการแปลงสัญญาณ

ADCON0 คือรีจิสเตอร์ควบคุมเกี่ยวกับ A/D ไบต์ที่ 1

ADCON1 คือรีจิสเตอร์ควบคุมเกี่ยวกับ A/D ไบต์ที่ 2

จะขออธิบายรีจิสเตอร์แต่ละตัวก่อนเพื่อสร้างความเข้าใจ

ADCON0

ADCON0 REGISTER (ADDRESS: 1Fh)

R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	U-0	R/W-0
ADCS1	ADCS0	CHS2	CHS1	CHS0	GO/DONE		ADON
bit 7							bit 0

รูปที่ 2.14 รีจิสเตอร์ของ ADCON0

บิต 7-6 : ADCS1 : ADCS0 : เป็นบิตที่ใช้เลือกสัญญาณนาฬิกาในการแปลง A/D

00 = Fosc/2 Fosc = ความถี่ของคริสตัลที่ใช้

01 = Fosc/8

00 = Fosc/32

11 = FRC (เลือกใช้ความถี่จากวงจร RC ที่อยู่ภายใน)

บิต 5-3 : CHS2 :CHS0 เป็นบิตที่ใช้เลือกช่อง (Channel) ของสัญญาณ A/D

000 = channel 0, (RA0/AN0)

001 = channel 1, (RA0/AN1)

000 = channel 2, (RA0/AN2)

000 = channel 3, (RA0/AN3)

000 = channel 4, (RA0/AN4)

000 = channel 5, (RA0/AN5) (ไม่มีในไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ 28 ขา)

000 = channel 6, (RA0/AN6)

000 = channel 7, (RA0/AN7)

บิต 2 : GO/(DONE\) : เป็นบิตที่ใช้ในการแสดงสถานะของการแปลง A/D

ถ้า ADON บิตถูกเซตเป็น 1 แล้ว เมื่อบิตนี้เป็น

1 หมายถึง A/D กำลังอยู่ในช่วงการแปลงค่า (ให้เซตบิต นี้ในการเริ่มต้นการแปลงสัญญาณ)

0 หมายถึง A/D ไม่ได้อยู่ในช่วงการแปลงค่า (บิตนี้จะ ยกเลิกเป็น 0 โดยอัตโนมัติเมื่อทำการแปลงสัญญาณเสร็จเรียบร้อยแล้ว)

บิต 1 : ยังไม่ถูกใช้งาน

บิต 0 : ADON : A/D On บิต (บอกสถานะของ A/D ในขณะนั้น)

1 = A/D Convertor กำลังถูกใช้งาน

0 = A/D Convertor ไม่ได้ถูกใช้งาน

ADCON1

ADCON1 REGISTER (ADDRESS 9Fh)

U-0	U-0	R/W-0	U-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0	R/W-0
ADFM	—	—	—	PCFG3	PCFG2	PCFG1	PCFG0
bit 7							bit 0

รูปที่ 2.15 รีจิสเตอร์ของ ADCON1

บิต 7 : ADFM :

1 = หลังจากแปลงสัญญาณ ให้ด้านซ้ายของ ADRESH เป็น 0

ADRESH	ADRESL
000000xx	xxxxxxxx

0 = หลังจากแปลงสัญญาณให้ด้านขวาของ ADRESL เป็น 0

ADRESH	ADRESL
xxxxxxxx	xx000000

บิต 6-4 : ไม่ได้ถูกใช้

บิต 3-0 : PCFG3 : PCFG0 เป็นตัวเซตคุณสมบัติต่างๆ ในการทำงาน A/D ให้กับ PIC โดยเราสามารถ เลือกว่าจะใช้ V_{REF} แยกต่างหากหรือจะใช้จาก VDD, VSS เลยก็ได้ส่วนต้องการใช้ช่อง (Channel) ไหนพอร์ตไหนก็ให้ดูในรูปที่ 2.16

PCFG3:PCFG0: A/D Port Configuration Control bits:

PCFG3: PCFG0	AN7(1) RE2	AN6(1) RE1	AN5(1) RE0	AN4 RA5	AN3 RA3	AN2 RA2	AN1 RA1	AN0 RA0	VREF+	VREF-	CHAN/ Refs(2)
0000	A	A	A	A	A	A	A	A	VDD	Vss	8/0
0001	A	A	A	A	VREF+	A	A	A	RA3	Vss	7/1
0010	D	D	D	A	A	A	A	A	VDD	Vss	5/0
0011	D	D	D	A	VREF+	A	A	A	RA3	Vss	4/1
0100	D	D	D	D	A	D	A	A	VDD	Vss	3/0
0101	D	D	D	D	VREF+	D	A	A	RA3	Vss	2/1
011x	D	D	D	D	D	D	D	D	VDD	Vss	0/0
1000	A	A	A	A	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	6/2
1001	D	D	A	A	A	A	A	A	VDD	Vss	6/0
1010	D	D	A	A	VREF+	A	A	A	RA3	Vss	5/1
1011	D	D	A	A	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	4/2
1100	D	D	D	A	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	3/2
1101	D	D	D	D	VREF+	VREF-	A	A	RA3	RA2	2/2
1110	D	D	D	D	D	D	D	A	VDD	Vss	1/0
1111	D	D	D	D	VREF+	VREF-	D	A	RA3	RA2	1/2

A = Analog input D = Digital I/O

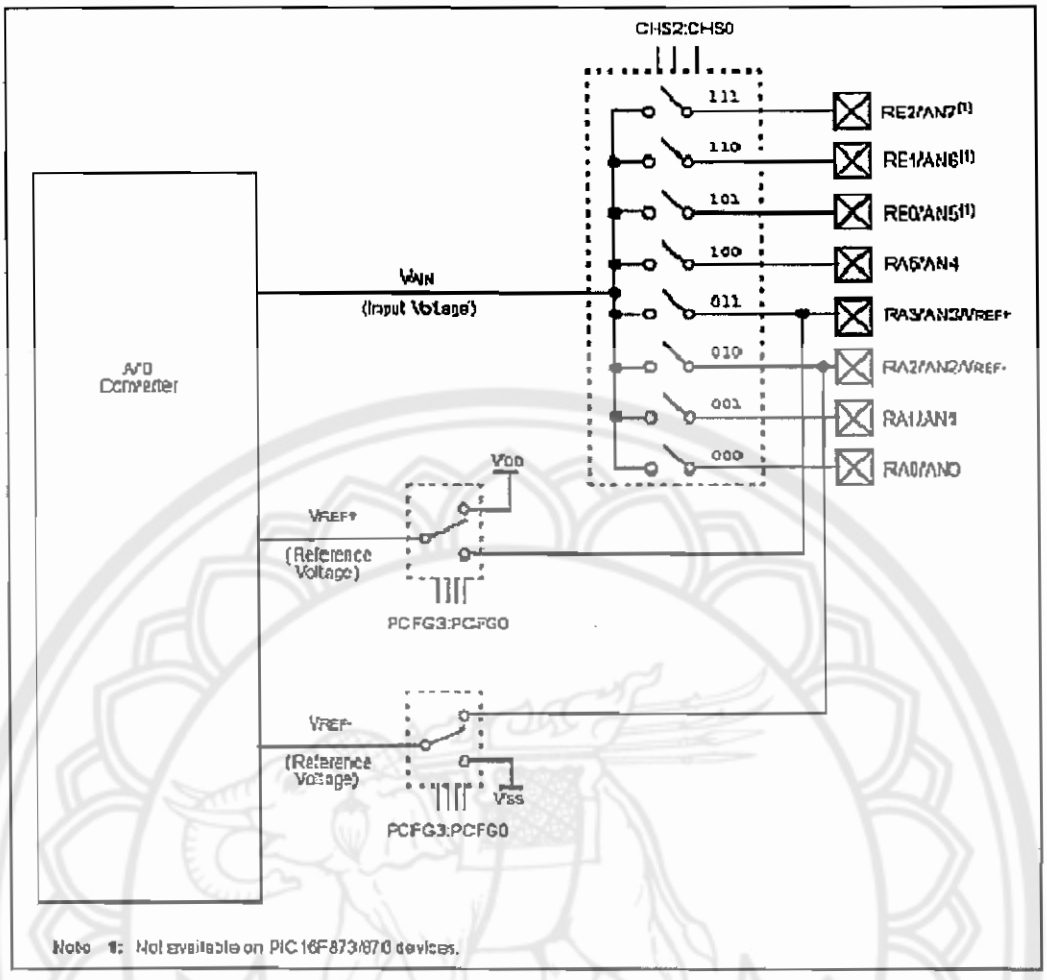
Note 1: These channels are not available on PIC16F873/876 devices.
2: This column indicates the number of analog channels available as A/D inputs and the number of analog channels used as voltage reference inputs.

รูปที่ 2.16 ค่าคอนโทรลบิตของพอร์ต อนาล็อกทูดิจิตอล

A หมายถึง อนาล็อกอินพุต

D หมายถึง ดิจิตอลอินพุต/เอาท์พุต

เมื่อการแปลง A/D เสร็จสิ้น ผลลัพธ์ของการแปลง A/D จะมีขนาด 10 บิต ซึ่งจะเก็บอยู่ในรีจิสเตอร์ 2 ตัวต่อกันคือ ADRESH : ADRESL ส่วนรีจิสเตอร์บิต GO/DONE \ (ADCON0<2>) จะถูกยกเลิกและ ADIF จะถูกเซต (A/D อินเตอร์รัพท์แฟลก) บล็อกไดอะแกรมของ A/D จะเป็นดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 บล็อกไดอะแกรมของอนาล็อกทูดิจิตอล

การใช้งานโมดูลแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล

- เลือกเซตค่าของ A/D โดย

เลือกขาอนาล็อก/ แรงดันอ้างอิงในรีจีสเตอร์ ADCON1

เลือก A/D ช่องอินพุตในรีจีสเตอร์ ADCON0

เลือก A/D เปลี่ยนสัญญาณนาฬิกาจาก ADCON0

สั่งให้ A/D โมดูลทำงานในรีจีสเตอร์ ADCON0

- ถ้าต้องการใช้ A/D อินเตอร์รัพท์ต้องเซตแฟลกต่างๆ ดังนี้

ยกเลิก ADIF บิตในรีจีสเตอร์ PIR1

เซต ADIE บิตในรีจีสเตอร์ PIE1

เซต GIE เซตในรีจีสเตอร์ INTCON

- รอเวลาเพื่อให้ A/D โมดูลแปลงสัญญาณเสร็จและพร้อมที่จะทำงาน

- เริ่มทำการแปลงสัญญาณ A/D ด้วยการ เซต GO/DONE บิต

- รอจนกว่าการแปลงA/D จะเสร็จสมบูรณ์ ซึ่งดูได้ 2 วิธี

(1) เขียนโปรแกรมวนลูปรอดู GO/DONE บิตจนกว่าจะถูกยกเลิก

(2) รอ A/D อินเตอร์รัพท์

- อ่านค่าผลลัพธ์ของ A/D จาก ADRESH : ADRESL โดยยกเลิก ADIF บิตหลังจาก การอ่านด้วยถ้าใช้ A/D อินเตอร์รัพท์

- หลังจากอ่านค่าเรียบร้อยแล้ว ต้องรอเป็นระยะเวลา 2TADก่อนที่จะทำการแปลง A/D อีกครั้งหนึ่ง

การเลือก A/D เปลี่ยนแปลงสัญญาณนาฬิกา

เวลาที่ใช้ในการ แปลง A/D หนึ่งครั้งเรากำหนดให้เป็น TAD ในหนึ่งครั้งของการแปลง A/D PIC ต้องการอย่างน้อย 12TAD ต่อการแปลงแบบ 10 บิตในการเลือกสัญญาณความถี่ของ A/D สามารถเลือกได้ 4 แบบคือ

2Tosc

8Tosc

32Tosc

ออสซิเลเตอร์ RC ภายใน

ซึ่งค่าเหล่านี้เราเลือกได้จากการเซตค่ารีจิสเตอร์ (ADCS1 : ADCS0)