บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวกับระบบแสวงหาข้อมูลและส่วนประกอบที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเชื่อมอุปกรณ์ภายนอกเข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์

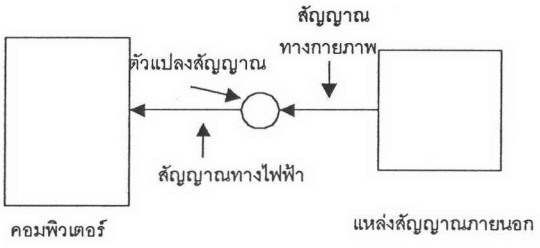
ปัจจุบันมีการนำเอาเครื่องคอมพิวเตอร์มาใช้กันโดยทั่วไป ไม่ว่าในสำนักงานหรือที่บ้าน นอกจากการใช้งานทั่วๆไปแล้ว ยังสามารถใช้งานในการเชื่อมต่อเข้ากับเครื่องมือภายนอกอื่นๆ เพื่อทำการวัดค่าที่อาจเป็นสัญญาณแอนะล็อกที่อาจจะพบได้ภายในบ้าน ที่ทำงาน ห้องทดลอง หรือในโรงงานอุตสาหกรรม รวมทั้งยังสามารถที่จะใช้ส่งสัญญาณเพื่อใช้ควบคุมวงจรต่างๆได้ด้วย สัญญาณทางกายภาพหรือสัญญาณแอนะล็อกที่สามารถพบได้ทั่วไปได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ความเข้มแสง เป็นต้น

ในการเชื่อมต่อเครื่องมือภายนอกเข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์ สามารถทำได้โดยการใช้สายนำสัญญาณเชื่อมต่อระหว่างไมโครคอมพิวเตอร์กับเครื่องมือภายนอก คอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกับเครื่องมือภายนอกจะทำการอ่านค่าสัญญาณแอนะล็อกเข้ามาเพื่อทำการประมวลผล และเมื่อต้องการควบคุมก็อาจส่งสัญญาณควบคุมออกไปซึ่งอาจสรุปขั้นตอนการทำงานของการเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ 2 ขั้นตอน คือ การอ่านข้อมูลเข้ามา (Input data) และการส่งข้อมูลออก (Output data)

การที่เครื่องคอมพิวเตอร์สามารถทราบถึงการเปลี่ยนแปลงค่าทางกายภาพได้นั้น จะต้องอาศัยอุปกรณ์ที่ใช้แปลงค่าทางกายภาพนั้นเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าก่อน ซึ่งอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ดังกล่าวเรียกว่า ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) การใช้ทรานสดิวเซอร์เพื่อแปลงค่าทางกายภาพเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าและป้อนเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์แสดงในรูปที่ 2.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



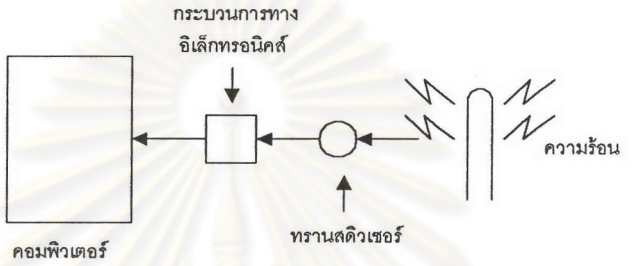
รูปที่ 2.1 การใช้ทรานสดิวเซอร์แปลงค่าทางกายภาพเป็นสัญญาณไฟฟ้าเข้าสู่คอมพิวเตอร์

2.2 ความสัมพันธ์ของสัญญาณแอนะล็อก ดิจิทัล และตัวแปลงสัญญาณ

ในชีวิตประจำวัน เราสามารถที่จะพบเห็นเหตุการณ์ต่างๆที่จัดว่าเป็น เหตุการณ์แบบแอนะล็อก (Analog event) ได้ทั่วไป เช่น ในกรณีที่เราใช้เทอร์โมมิเตอร์ทั่วไปวัดอุณหภูมิ เราสามารถอ่านค่าอุณหภูมิที่ได้จากสเกลของเทอร์โมมิเตอร์อย่างละเอียด เช่น 38.6, 38.4, 37.1 องศาเซลเซียส เป็นต้น เทอร์โมมิเตอร์แบบนี้จึงเป็นแบบแอนะล็อก เพราะสามารถอ่านอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไปได้อย่างต่อเนื่อง แต่ในกรณีที่เป็นเทอร์โมมิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิคส์จะพบว่าการอ่านค่าอุณหภูมิจะเป็น แบบไม่ต่อเนื่องเพราะจะต้องมีการสุ่มค่าที่วัดได้ในช่วง ใด ๆ มาแสดงผล เช่น ถ้าอุณหภูมิที่ต้องการอ่านอยู่ในช่วง 30-40 องศาเซลเซียส การอ่านค่าของเทอร์โมมิเตอร์แบบอิเล็กทรอนิคส์จำเป็นต้องมีการสุ่มเลือกค่าระหว่างช่วงดังกล่าวออกมาโดยที่อุณหภูมิขณะนั้นอาจมีค่า 30.7 องศาเซลเซียส แต่การแสดงผลเมื่อมีการสุ่มค่าแล้วแสดงเป็น 40 องศาเซลเซียส เราเรียกเทอร์โมมิเตอร์แบบดังกล่าวว่าเป็นแบบดิจิทัล

เราสามารถนำเหตุการณ์ (Event) ทั้งสองมาใช้กับการเปลี่ยนแปลงทางไฟฟ้าได้ เช่น แบตเตอรี่รถยนต์ที่ให้แรงดันไฟฟ้าออกมา 12 โวลต์ เมื่อมีการต่อใช้งาน แรงดันไฟฟ้าอาจลดลงเป็น 11.9 หรือ 10.98 โวลต์ เราเรียกสัญญาณแรงดันไฟฟ้านี้ว่า สัญญาณแอนะล็อก (Analog) ในกรณีของคอมพิวเตอร์ มีการทำงานที่มีระดับแรงดันไฟฟ้าที่แน่นอน เช่น ระดับแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ และ 0 โวลต์ โดยแทนระดับแรงดัน 5 โวลต์ให้มีสภาวะเป็น “high” ส่วนระดับ แรงดันไฟฟ้า 0 โวลต์มีสภาวะเป็น “low” การที่สัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะที่แน่นอนนี้เรียกว่า สัญญาณดิจิทัล (Digital)

การนำสัญญาณแบบแอนะล็อกเข้าไปประมวลผลยังคอมพิวเตอร์โดยตรงนั้นทำไม่ได้ เช่น เราไม่สามารถนำคอมพิวเตอร์ไปวัดความร้อนโดยตรงได้ จำเป็นต้องมีตัวแปลงค่าความร้อนนั้นเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งอาจได้เป็นสัญญาณแอนะล็อกที่มีค่าสัมพันธ์กับค่าความร้อนนั้นและเปลี่ยนสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลโดยขบวนการทางอิเล็กทรอนิคส์จึงจะสามารถนำค่าความร้อนนั้นเข้าสู่ระบบคอมพิวเตอร์ได้ ตัวแปลงสัญญาณดังกล่าวเรียกว่า ทรานส์ดิวเซอร์ (Transducer) การแปลงปริมาณทางกายภาพเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า หรือ สัญญาณแอนะล็อกและการแปลงสัญญาณแอนะล็อกที่ได้เป็นสัญญาณดิจิทัลก่อนป้อนเข้าสู่คอมพิวเตอร์นั้นแสดงไว้ในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การใช้ทรานสดิวเซอร์เปลี่ยนค่าความร้อนเป็นสัญญาณแอนะล็อกและการแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล [1]

ตัวอย่างของทรานสดิวเซอร์เหล่านี้ได้แก่

- ทรานสดิวเซอร์ที่ใช้แปลงอุณหภูมิเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เช่น เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)และเทอร์มิสเตอร์ (Thermister) ซึ่งจะแปลงอุณหภูมิเป็นความต้านทาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

---

[1] จิติ หนูแก้ว , เทคนิคการเชื่อมต่อ IBM PC (กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด , 2535) ,หน้า 55.

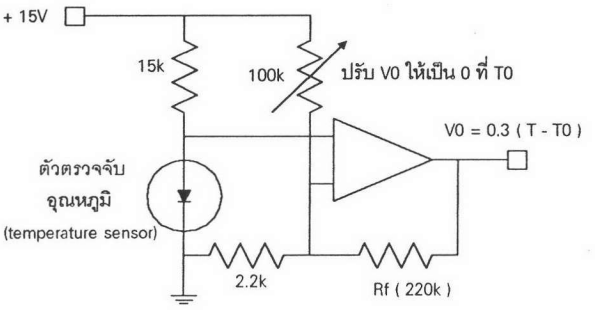
- ตัววัดอัตราการไหลของของเหลว (Flowmeter) ซึ่งจะแปลงค่าอัตราการไหลเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เช่น Full-Bore turbine หรือ อุปกรณ์ที่แปลงอัตราการไหลเป็นความเข้มของ สนามแม่เหล็กไฟฟ้า
- อุปกรณ์วัดความดัน (Pressure Transducer)เช่น สเทรนเกจ (Strain Gage) เป็นเครื่องมือวัดความดันโดยอาศัยหลักการเปลี่ยนค่าความต้านทานของตัวนำเมื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวดตัวนำเปลี่ยนไป

ดังได้กล่าวแล้วว่าทรานสดิวเซอร์ที่ใช้แปลงอุณหภูมิเป็นสัญญาณทางไฟฟ้ามีอยู่หลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดมีลักษณะการนำไปใช้งานที่แตกต่างกันนอกจากนี้ยังมีทรานสดิวเซอร์ที่เป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิคส์ที่มีขนาดเล็กที่สามารถนำมาใช้งานได้ง่าย ได้แก่

2.2.1 เทอร์โมเซ็นเซอร์

อุปกรณ์อื่นๆที่สามารถตรวจวัดอุณหภูมิได้ เรียกว่า เทอร์โมเซนเซอร์ (thermosensor) เช่น เปียซโซอิเล็กตริก คริสตอลชนิดเปลี่ยนความถี่ตามอุณหภูมิ ตัวเก็บประจุชนิดที่เปลี่ยนค่าตามอุณหภูมิ แม้กระทั่ง ไดโอดก็สามารถเป็นเทอร์โมเซ็นเซอร์ได้โดยมีการทำงานคล้ายกับเทอร์มิสเตอร์ ต่างกันตรงที่ต้องป้อนกระแสให้คงที่และแรงดันไบแอสตรงของมันจะเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ การใช้งานมักใช้ในงานป้องกันความร้อนเกินให้กับแผ่นระบายความร้อนการต่อใช้งานแสดงในรูปที่ 2.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.3 การใช้ไดโอดตรวจวัดอุณหภูมิ [2]

2.2.2 ไอซีตรวจวัดอุณหภูมิ

ปัจจุบันมีเทอร์โมเซ็นเซอร์ในรูปแบบของไอซี โดยมีหลักการมาจากไดโอด เช่น ไอซีเบอร์ LM135, LM235 และ LM335 ซึ่งสามารถแปลงค่าอุณหภูมิเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าได้ โดยมีช่วงการวัดอุณหภูมิของตัวแปลงสัญญาณดังนี้ คือ

LM135 วัดอุณหภูมิได้ในช่วง - 55 ถึง +150 ^{o}C

LM235 วัดอุณหภูมิได้ในช่วง - 40 ถึง +125 ^{o}C

LM335 วัดอุณหภูมิได้ในช่วง - 10 ถึง +100 ^{o}C

---

[2] อุทัย จึงภักดี , " แนวทางการออกแบบเครื่องมือวัดทางอิเล็กทรอนิคส์ ตอนที่ 2 : ทรานสดิวเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ, " วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิคส์ 138 (เมษายน 2537): หน้า 122.

ตำแหน่งขาสัญญาณต่าง ๆ และการต่อวงจร LMx35 แสดงดังรูปที่ 2.4 (ก) และ (ข) โดยที่แรงดันเอาต์พุตที่ออกจากไอซีตรวจวัดอุณหภูมิสามารถนำเข้าสู่วงจร ADC และนำสู่คอมพิวเตอร์ได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.4 (ค)

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันเอาต์พุตกับค่าอุณหภูมิเป็นไปตามสมการ คือ

T (เคลวิน)/100 = Vout

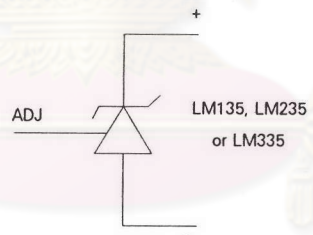
และสามารถเปลี่ยนเป็นองศาเซลเซียสได้ ดังนี้

องศาเซลเซียส (^{o}C) = เคลวิน (K) - 273.2

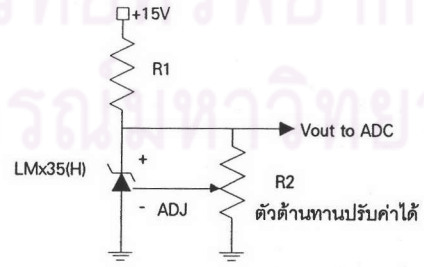
ซึ่งทำให้ทราบค่าอุณหภูมิได้ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส เคลวิน กับแรงดันเอาต์พุต แสดงค่าไว้ให้ดังตารางที่ 2.1

อุณหภูมิ		
องศาเซลเซียส	องศาเคลวิน	Vout
0	273.2	2.732
25	298.2	2.98
50	323.2	3.23
75	348.2	3.48
100	373.2	3.73

ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอุณหภูมิหน่วย ^{o}C, K และแรงดันเอาต์พุต

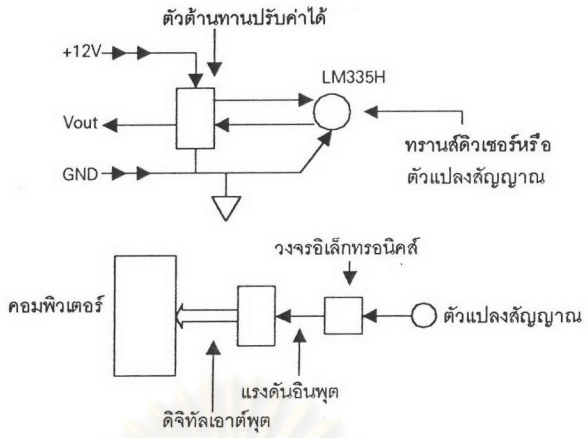


รูปที่ 2.4 (ก) ตำแหน่งขาสัญญาณของ LMx35 [3]



รูปที่ 2.4 (ข) การต่อวงจรใช้งาน [3]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.4 (ค) การนำแรงดันเอาต์พุตที่ได้จากไอซีตรวจวัดอุณหภูมิเข้าสู่วงจร ADC และนำเข้าสู่คอมพิวเตอร์ [3]

ค่าที่อ่านจากวงจร ADC จะเป็นค่าตัวเลขดิจิทัลอยู่ในช่วง 0 ถึง 225 ก่อนนำเข้าสู่คอมพิวเตอร์ การแปลงค่าแรงดันเอาต์พุต สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

273.2 + องศาเซลเซียส / 100 = Vout

100 x Vout = 273.2 + องศาเซลเซียส

(100 x Vout) - 273.2 = องศาเซลเซียส

เมื่อ Vout คือ (ค่าที่อ่านได้) x (10 / 225) จะได้ว่า

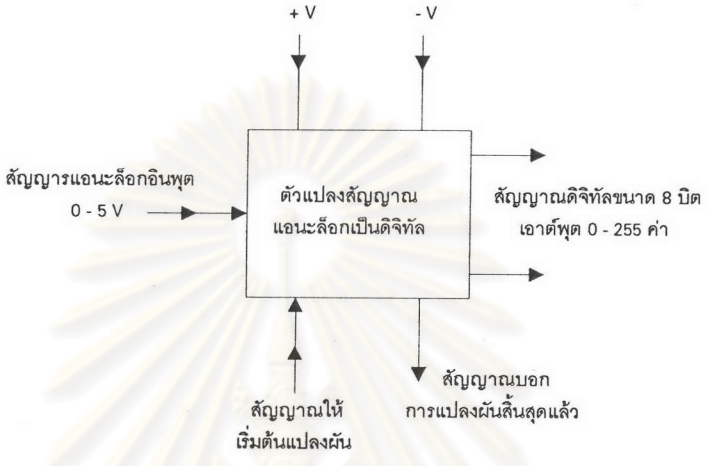
(100 x ค่าที่อ่านได้ x (10 / 225)) - 273.2 = องศาเซลเซียส

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

---

[3] จิติ หนูแก้ว , เทคนิคการเชื่อมต่อ IBM PC (กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด , 2535) ,หน้า 126.

การแปลงสัญญาณแอนะล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล สามารถกระทำได้โดยใช้วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล (Analog-to-digitalconverter : ADC หรือ A/D) การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล เป็นการแปลงสัญญาณแรงดันในช่วงใดๆเป็นสัญญาณดิจิทัล เพื่อที่จะนำเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์ เช่น ถ้าช่วงแรงดันไฟฟ้ามีค่า 0 - 5 โวลต์ เปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 8 บิตค่าจาก 0 ถึง 255 ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 วงจร ADC หรือ A/D

จากรูปที่ 2.5 จะเห็นว่า ถ้าแรงดันอินพุตมีค่าเป็น 0 โวลต์ ค่าดิจิทัล 8 บิตจะเท่ากับ 0 แต่ถ้าแรงดันอินพุตมีค่าเป็น 5 โวลต์ ค่าของดิจิทัลสูงสุดจะเท่ากับ 255 ฉะนั้นการคำนวณหาแรงดันอินพุตที่ทำให้ค่าดิจิทัลเปลี่ยนไป 1 ค่า สามารถหาได้จาก

แรงดันอินพุตมากที่สุด / ค่าดิจิทัลมากที่สุด = 5 / 255

= 0.0196 โวลต์

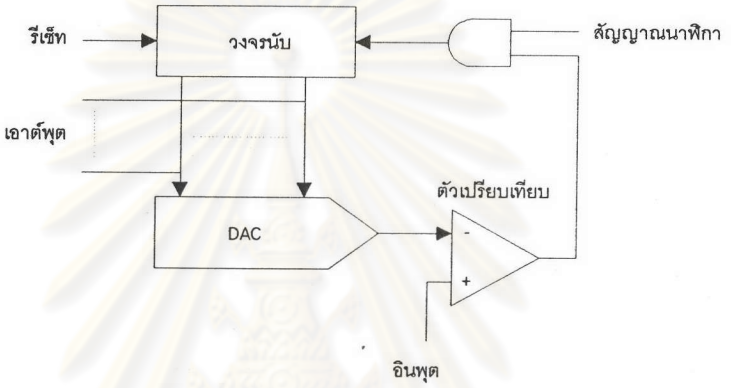
หรือประมาณ = 0.02 โวลต์

นั่นคือ ค่าแรงดันอินพุต 0.02 โวลต์ จะทำให้ค่าตัวเลขดิจิทัลเปลี่ยนไป 1 ค่า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล [4]

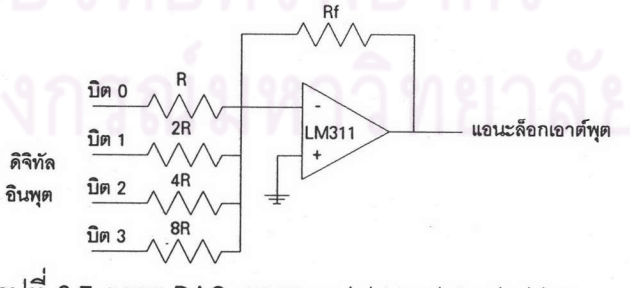
การแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลมีหลายแบบ แต่ที่พื้นฐานที่สุดเป็นแบบดิจิทัล แรมป์ (digital ramp) หลักการของแบบดิจิทัลแรมป์จะใช้วงจรนับต่อกับวงจรแปลงสัญญาณจากดิจิทัลเป็นแอนะล็อก (DAC) แล้วนำเอาเอาต์พุตของวงจร DAC ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับอินพุตที่เข้ามา แล้วจึงนำเอาเอาต์พุตจากการเปรียบเทียบไปหยุดสัญญาณนาฬิกาที่ให้กับวงจรนับ เอาต์พุตของวงจรนับก็จะกลายเป็นเอาต์พุต ของวงจร ADC ที่ต้องการ การทำงานแสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 บล็อกไดอะแกรมวงจร ADC

จากรูปที่ 2.6 วงจร ADC นี้มีส่วนประกอบของวงจรอื่น ๆ หลายส่วนดังต่อไปนี้

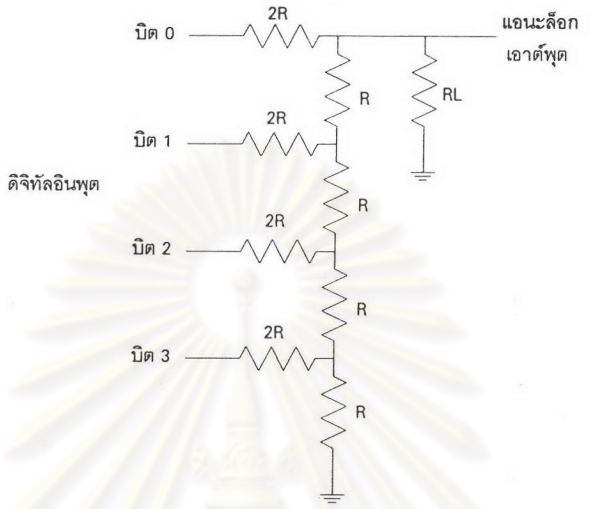
- วงจร DAC ในส่วนนี้สามารถใช้ได้หลายแบบ เช่น แบบเวจตีรีซิสเตอร์แลดเดอร์ (weight resister ladder) ออกแบบโดยใช้ค่าความต้านทานกำหนดน้ำหนักของค่าทางดิจิทัลให้แตกต่างกันในแต่ละบิต แล้วนำมาต่อเข้าวงจรขยายแบบรวมอินพุต (summing amplifier) แสดงได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 วงจร DAC แบบ weight resister ladder

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถ้าวงจรนี้มีจำนวนบิตมากขึ้น จะต้องใช้ค่าความต้านทานค่าสูงมากขึ้น เป็นผลให้กระแสไหลได้น้อยลงทำให้อาจเกิดสัญญาณรบกวนขึ้นได้ ด้วยเหตุนี้จึงต้องหาวงจรที่มีความเชื่อถือได้มากกว่า ซึ่งก็คือวงจรแบบ R-2R ladder โดยวงจรนี้จะใช้ค่าความต้านทางเพียงสองค่าคือ R และ 2R ทำให้ข้อผิดพลาดดังกล่าวลดลง แสดงดังรูปที่ 2.8

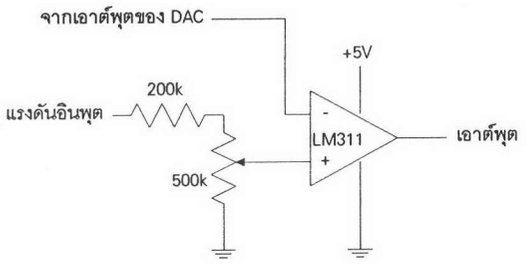


รูปที่ 2.8 วงจร DAC แบบ R-2R ladder

ข้อดีของวงจร R-2R ladder คือ มีค่าความต้านทานเพียงสองค่าทำให้ค่าไม่สูงเกินไป และเพื่อให้ถูกต้องยิ่งขึ้นสามารถใช้ค่าความต้านทางเพียงค่าเดียวได้ โดยใช้ค่าเท่ากับ R สองตัวต่อ อนุกรมกันจะได้เท่ากับค่า 2R ค่าความต้านทานที่ใช้จะขึ้นอยู่กับโหลดด้วย (RL ในรูปที่ 2.8) ซึ่งโหลดที่จะไปต่อคือ ออปแอมป์ที่ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบค่าแรงดันนั่นเอง

- วงจรเปรียบเทียบค่าแรงดัน

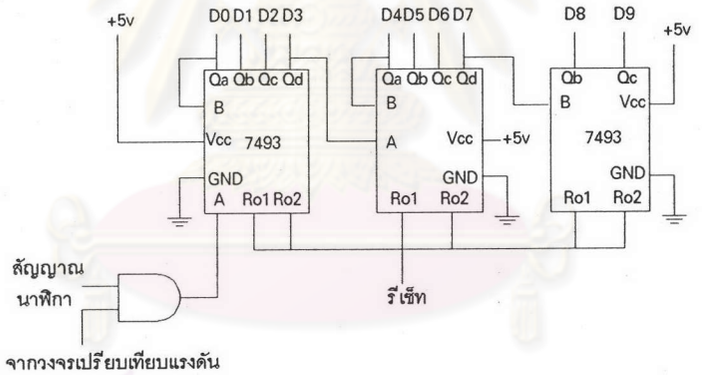
ทำหน้าที่เปรียบเทียบค่าแรงดันระหว่างเอาต์พุตของวงจร DAC กับสัญญาณอินพุตที่เข้ามา ถ้าขนาดสัญญาณทั้งสองเท่ากันก็จะส่งสัญญาณไปหยุดสัญญาณนาฬิกาที่ส่งไปยังวงจรนับ การทำงานลักษณะนี้สามารถใช้ออปแอมป์เพียงตัวเดียวก็ได้ โดยจะใช้ออปแอมป์ที่เป็นแบบไฟบวกกับกราวด์ เช่น เบอร์ LM311 การต่อแสดงดังรูปที่ 2.9 ส่วนตัวต้านทานปรับค่าได้ต่อไว้เพื่อลดระดับแรงดันอินพุต ซึ่งค่าความต้านทานนี้จะมีผลต่อการวัด ดังนั้นจึงควรกำหนดให้มีค่าที่ เหมาะสม ในวงจรรูปที่ 2.9 ใช้ค่า 200 kΩ ต่ออนุกรม กับค่า 500 kΩ เป็นวงจรแบ่งแรงดัน



รูปที่ 2.9 วงจรส่วนเปรียบเทียบค่าแรงดันอินพุตกับสัญญาณจากวงจร ADC

- วงจรนับ

เป็นส่วนที่นำสัญญาณนาฬิกาจากเกตเข้ามานับแล้วให้เอาต์พุตเป็นแบบไบนารี่ ชนิดของไอซีที่ใช้จะเป็นไอซีตระกูล TTL เพราะไอซีตระกูล TTL นี้สามารถจ่ายกระแสได้มากกว่าตระกูล CMOS ไอซีที่ใช้คือเบอร์ 7493 เป็นวงจรนับแบบไบนารี่ 4 บิต ต้องใช้ทั้งหมด 3 ตัวเพื่อประกอบกันให้ครบ 10 บิต ลักษณะการต่อจะนำเอาเอาต์พุตสุดท้ายของตัวแรกไปต่อเป็นสัญญาณนาฬิกาของตัวถัดไปเรื่อย ๆ จนครบทั้งหมด 10 บิต ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 วงจรนับของวงจร ADC

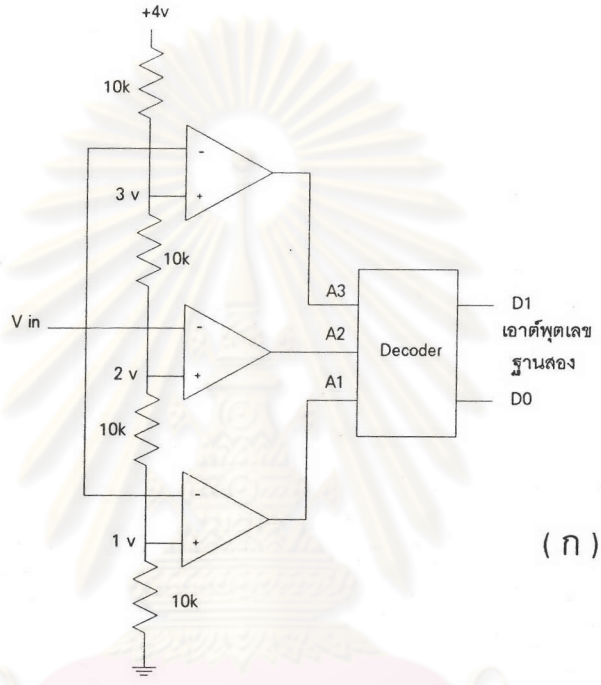
---

[4] ทรงชัย วีระทวีมาศ , "เทคนิคการออกแบบวงจรดิจิตอล: ดิจิตอลโวลต์มิเตอร์," วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิคส์ 103 (ธันวาคม 2533) : หน้า 294-296.

วงจร ADC ที่ใช้กันอยู่ทั่ว ๆ ไป มีหลายแบบคือ [5]

แบบใช้วงจรเปรียบเทียบขนานหรือแบบ "แฟลช" (Parallel Comparator Simultaneous "Flash" A/D Converter)

วงจร ADC แบบนี้ใช้หลักการง่าย ๆ อีกทั้งยังเป็นวิธีที่รวดเร็วที่สุดคือใช้วงจรเปรียบเทียบที่ต่อขนานกัน ดังรูปที่ 2.11 (ก) ซึ่งประกอบด้วยออปแอมป์ที่ต่อเป็นวงจรเปรียบเทียบ และตัวต้านทานต่อไว้เพื่อแบ่งแรงดันที่ขาอินพุตแบบกลับ (inverting) ให้มีขนาดต่าง ๆ กัน



(ก)

รูปที่ 2.11 (ก) แสดงการต่อวงจร parallel comparator A/D converter

แรงดันอินพุต Vin (โวลต์)	เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบ			เอาต์พุตเลขฐานสอง	
	A1	A2	A3	D1	D2
0 - 1	0	0	0	0	0
1 - 2	1	0	0	0	1
2 - 3	1	1	0	1	0
3 - 4	1	1	1	1	1

(ข) ตารางความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันอินพุตแบบแอนะล็อกกับเอาต์พุตแบบดิจิทัล

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากหลักการของวงจรเปรียบเทียบทั่วไป เมื่อแรงดันอินพุตที่ขาอินพุตแบบไม่กลับ (noninverting) มีค่าสูงกว่าที่ขาอินพุตแบบกลับ เอาต์พุตจะได้ค่าสูง ดังในตารางรูปที่ 2.11 (ข) จะเห็นว่าที่แรงดันค่าต่างๆ มีผลต่อเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบแต่ละตัว ซึ่งเอาต์พุตที่ได้จากวงจรเปรียบเทียบนี้จะนำไปเข้ารหัสให้เป็นเลขฐานสองต่อไป

จำนวนของวงจรเปรียบเทียบที่ต้องใช้ในวงจรขึ้นอยู่กับขนาดสัญญาณแอนะล็อกที่อินพุตจากวงจรรูปที่ 2.11

- ถ้าแรงดันอินพุตมีค่า 1 โวลต์ไม่เพียงพอที่จะทำให้วงจรเปรียบเทียบตัวใดให้ค่าเป็น “high”
- ที่แรงดันระหว่าง 1 - 2 โวลต์วงจรเปรียบเทียบที่ระดับเทรชโฮลด์ (threshold) ต่ำสุด ก็จะให้เอาต์พุตเป็น “high”
- แรงดัน 2-3 โวลต์ วงจรเปรียบเทียบทั้ง A1 และ A2 ให้เอาต์พุตเป็น “high”
- ถ้าแรงดันอินพุตมากกว่า 3 โวลต์ วงจรเปรียบเทียบก็จะให้เอาต์พุตเป็น “high” ทั้งหมด

เมื่อต้องการวงจรที่มีความละเอียดสูงขึ้น จำเป็นต้องใช้วงจรเปรียบเทียบเพิ่มขึ้น เช่น ถ้าต้องการความละเอียด 3 บิต ต้องใช้วงจรเปรียบเทียบ 7 ตัว ความละเอียด 4 บิต ต้องใช้วงจรเปรียบเทียบ 15 ตัว (16 ระดับ) โดยหาจำนวนวงจรเปรียบเทียบได้จาก 2N-1 เมื่อ N แทนจำนวนบิตหรือความละเอียดที่ต้องการ

จะเห็นได้ว่าที่ความละเอียด 8 บิต ต้องใช้วงจรเปรียบเทียบมากถึง 255 ตัว ซึ่งเป็นข้อเสียของวงจร ADC แบบนี้ ข้อเสียอีกประการหนึ่งคือ เอาต์พุตที่ได้ไม่เป็นเลขฐานสอง ต้องมีวงจรเพิ่มเติมไปทำการเข้ารหัส

ข้อดีของวงจร ADC แบบขนานนี้คือ ความเร็วสูงมาก บางครั้งเรียกวงจร ADC แบบนี้ว่าแบบ “แฟลช” (flash type A/D converter) ซึ่งวงจร ADC ชนิดนี้ใช้เวลาในการแปลงได้เร็ว

2.3.1 วงจร ADC ที่ใช้การอินทีเกรต

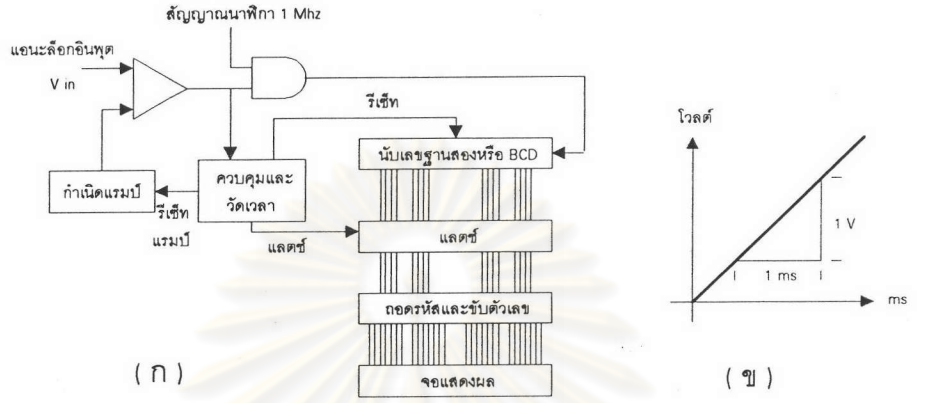
วงจร ADC ที่ใช้เทคนิคการอินทีเกรตสัญญาณมี 3 แบบ คือ

- แบบสโลปเดี่ยวหรือแบบแรมป์ (Single Ramp หรือ single Slope A/D Converter)

วงจร ADC แบบนี้แสดงไว้ดังรูปที่ 2.12 ประกอบด้วยวงจรกำเนิดสัญญาณแรมป์, วงจรเปรียบเทียบ , วงจรนับ BCD หรือ นับเลขฐานสอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อเริ่มทำการเปลี่ยนสัญญาณ สัญญาณแรมป์และวงจรนับจะถูกรีเซตให้เป็น 0 แรงดันแอนะล็อกถูกป้อนไปยังวงจรเปรียบเทียบทางขาอินพุตแบบไม่กลับ เมื่อแรงดันอินพุตที่ขานี้เป็น บวกมากกว่าที่ขาอินพุตแบบกลับ วงจรเปรียบเทียบก็จะให้เอาต์พุตเป็นระดับ “high” ทำให้แอนด์เกตปล่อยสัญญาณนาฬิกาผ่านไปยังวงจรนับได้ และทำให้เริ่มเกิดสัญญาณแรมป์



รูป 2.12 วงจร ADC แบบสโลปเดี่ยว

(ก) แสดงบล็อกไดอะแกรม

(ข) ความชันของสัญญาณแรมป์

สัญญาณแรมป์มีแรงดันเป็นบวกมากขึ้นเรื่อยๆ จนมากกว่าระดับแรงดันอินพุต เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบจะตกลงมาเป็นระดับ “low” ปิดแอนด์เกตไม่สัญญาณผ่านไปให้วงจรนับ

วงจรนับจะหยุดนับและเก็บค่าไว้ที่วงจรแลตช์ จากนั้นจึงทำการรีเซตวงจรนับและวงจรกำเนิดสัญญาณแรมป์

สมมติให้สัญญาณนาฬิกามีความถี่ 1 MHZ, วงจรนับ BCD 4 หลัก, แรงดันอินพุต Vin 2 โวลต์, สัญญาณแรมป์มีความชัน 1 V/ms ดังแสดงในรูป 2.12 (ข)

จากจุดเริ่มต้นจนถึงแรงดันสูงสุด (2 โวลต์) สัญญาณแรมป์ใช้เวลา 2 ms หลักจากนี้จึงปิดสัญญาณนาฬิกาที่ส่งไปให้วงจรนับ

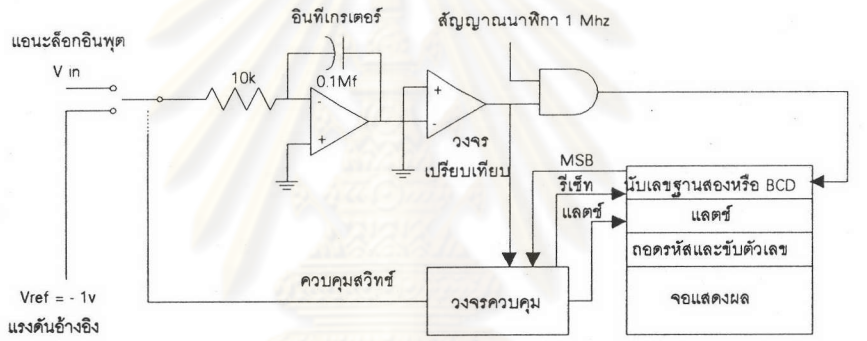
ในช่วง 2 ms นี้ มีการส่งพัลส์ไปให้วงจรนับทำการนับถึง 200 ลูก เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบที่มีระดับ “high” เป็นการสั่งสัญญาณให้วงจรแลตช์ส่งค่าที่นับได้ไปยังภาคแสดงผล และเติมจุดทศนิยมที่ตำแหน่งที่เหมาะสมของตัวแสดงผลได้เป็นค่า 2,000 ที่แรงดันอินพุต 2 โวลต์

วงจรแบบนี้เป็นหลักการเบื้องต้นของดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ ซึ่งถ้าใช้วงจรนับเลขฐานสองแทนแบบ BCD เอาต์พุตก็จะอ่านได้ค่าเลขฐานสองโดยตรง

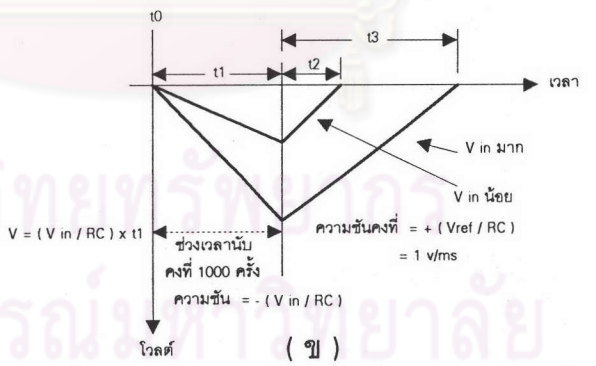
วงจรลักษณะนี้มักนำไปใช้งานในการเปลี่ยนเวลาเป็นขนาดของสัญญาณ (time to amplitude conversion) หรืออาจใช้ในดิจิทัลโวลต์มิเตอร์ แต่ไม่ใช้กับงานที่ต้องการความถูก ต้องสูง เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงในแหล่งกำเนิดสัญญาณแรมป์ขึ้นกับอุณหภูมิและผลตอบสนองต่อสัญญาณอินพุต ทำให้ไม่มีความคงที่ ดังนั้นจึงมีการปรับปรุงให้ดีขึ้นกลายเป็นแบบ สโลปคู่ (dual-slope)

- แบบสโลปคู่ (Dual-Slope A/D converters)

รูปที่ 2.13 (ก) แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจร ADC แบบสโลปคู่ ซึ่งวงจรส่วนใหญ่คล้ายกับแบบสโลปเดี่ยว แต่มีสวิตช์ที่มีอินพุตเพิ่มขึ้นเพื่อทำการเลือกระหว่างแรงดันอินพุตกับแรงดันอ้างอิง (วงจรเปรียบเทียบต่อขาสัญญาณอินพุตกลับกันกับแบบสโลปเดี่ยว)



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.13 วงจร ADC แบบสโลปคู่

(ก) แสดงบล็อกไดอะแกรม

(ข) เอาต์พุตของวงจรอินทีเกรเตอร์เมื่อเทียบกับเวลา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนแรกของวงจรคือ วงจรกำเนิดสัญญาณแรมป์หรือวงจรอินทีเกรเตอร์ ที่อินพุตแบบ กลับของออปแอมป์มีสภาพเป็นกราวด์เทียม (virtual ground) ถ้ามีแรงดันอินพุต 2 โวลต์ จะได้กระแสไหลผ่านตัวต้านทาน 10 kΩ 0.2 mAไปยังจุดรวม (summing point) เนื่องจากค่าความต้านทานอินพุตของออปแอมป์นั้นสูงมาก กระแสที่ไหลจึงเกิดขึ้นผ่านตัวเก็บประจุ

ขณะที่ตัวเก็บประจุทำการชาร์จ แรงดันที่เอาต์พุตของออปแอมป์ก็จะยิ่งเป็นลบมากขึ้นเพื่อรักษาระดับกระแสให้คงที่ แรงดันคร่อมตัวเก็บประจุจึงได้เป็นสัญญาณแรมป์ที่เป็นเชิงเส้น (linear ramp)

ถ้าแรงดันอินพุตเป็นบวก วงจรอินทีเกรเตอร์จะให้เอาต์พุตเป็นสัญญาณแรมป์ทางลบ ดังแสดงไว้ในช่วง t1 รูปที่ 2.13 (ข) หากแรงดันอินพุตเป็นลบก็จะทำให้เอาต์พุตได้แรมป์ทางบวก

ความชันของสัญญาณแรมป์ สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ของประจุ q = cv และ q = It ดังสมการ

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{I}{C}$$

เมื่อกระแสเท่ากับ $\frac{Vm}{R}$ จะได้ว่า

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = \frac{Vin}{RC}$$

จากรูปให้แรงดันอินพุต +2 โวลต์ จะได้ความชันของสัญญาณแรมป์ทางเอาต์พุต -2 V/ms

จากวงจรในรูปที่ 2.13 เมื่อสวิตช์ต่อกับสัญญาณอินพุตจะทำให้มี!แรงดันบวกจากอินพุตป้อนเข้าสู่วงจรอินทีเกรเตอร์ ได้เอาต์พุตออกมาเป็นแรมป์ทางลบ

วงจรเปรียบเทียบก็จะได้แรงดันลบจากวงจรอินทีเกรเตอร์ แล้วให้เอาต์พุตเป็นบวกทำการเปิดแอนด์เกตให้สัญญาณนาฬิกาผ่านเข้าไปสู่วงจรนับ วงจรนับจะนับไปยังค่าที่กำหนดไว้คงที่ (t) แล้วทำการสับสวิตช์ต่อเข้ากันกับแรงดันอ้างอิง

ในช่วงที่วงจรนับด้วยค่าคงที่นั้น วงจรอินทีเกรตจะให้สัญญาณแรมป์ทางลบที่มีค่าสูงสุดตามระดับแรงดันอินพุต เมื่อทำการสวิตช์อินพุตของวงจรอินทีเกรเตอร์ให้ไปที่แรงดันอ้างอิงค่าลบ เอาต์พุตของวงจรจึงได้เป็นแรมป์ทางบวกคือช่วง t2 รูปที่ 2.13 (ข) พร้อมกับรีเซตค่าของวงจรนับลงเป็นศูนย์เพื่อเริ่มนับใหม่

เมื่อเอาต์พุตของวงจรอินทีเกรเตอร์เพิ่มขึ้นถึงแรงดัน 0 อีกครั้งเอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบก็จะเป็นลบ หรือ 0 วงจรควบคุมจะส่งสัญญาณสโตรบให้วงจร นับเก็บค่าที่ได้ไว้ที่วงจรแลตช์จากนั้น

จึงรีเซตให้เป็น 0 แล้วทำการสวิตช์ให้อินพุตของวงจรอินทีเกรเตอร์ต่อกับแรงดันอินพุตเป็นการเริ่มทำการเปลี่ยนสัญญาณอีกรอบหนึ่ง จำนวนที่นับได้ที่เก็บไว้ในวงจรแลตช์ก็จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันอินพุต Vin

สัญญาณแรมป์ทางเอาต์พุตของวงจรอินทีเกรเตอร์ในช่วงเวลาคงที่ t1 จะลดลงสู่แรงดัน V ซึ่ง

$$V = \frac{(Vin \times t1)}{RC}$$

เพื่อให้กลับไปสู่ระดับ 0 วงจรอินทีเกรเตอร์จึงต้องสร้างแรมป์ทั้งทางบวก ทางลบให้เพิ่มขึ้นเท่า ๆ กันในช่วงเวลา t2 (ที่เกิดจากแรงดันอินพุตอ้างอิง) แรงดัน V เท่ากับ

$$V = \frac{(Vref \times t2)}{RC}$$

จากสมการทั้ง 2 ของ V จะได้

$$\frac{Vin \times t1}{RC} = \frac{Vref \times t2}{RC}$$

$$Vin \times t1 = Vref \times t2$$

$$t2 = Vin \times \frac{t1}{Vref}$$

เห็นได้ว่า RC ทั้ง 2 ข้างของสมการ จึงสามารถตัดทิ้งได้ หมายถึงว่าเมื่อช่วงเวลาอินทีเกรตสัญญาณและช่วงเวลาอินทีเกรตอ้างอิง ใช้ตัวต้านทานและตัวเก็บประจุค่าเดียวกัน การเปลี่ยนแปลงของค่าทั้งสองนี้จึงไม่มีผลต่อความถูกต้องของสัญญาณเอาต์พุต ซึ่งเป็นข้อที่ดีกว่าแบบสโลปเดี่ยว (single slope) คือ ค่าที่ได้ไม่ขึ้นกับความถี่ของรอบการทำงาน จากสมการท้ายสุดแสดงให้เห็นว่าเอาต์พุตของวงจรนับในช่วงเวลา t2 เป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันอินพุต Vin เมื่อ Vref และ t1 คงที่

จากวงจรในรูปที่ 2.13 t1 เท่ากับ 1000 รอบ เมื่อป้อนสัญญาณนาฬิกา 1 MHZ (1 ms) และ Vref มีค่า -1 โวลต์

ถ้าสัญญาณอินพุตมีขนาด 2 โวลต์จะได้ช่วงเวลา $t2 = \frac{2V \times 1000}{1V} = 2000$ รอบ

ผลลัพธ์ที่ภาคแสดงผล = 2.000

กราฟในรูป 2.13 (ข) แสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงว่าเมื่อสัญญาณอินพุตน้อยกว่านี้

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เช่นอินพุต 0.8 โวลต์ t2 จะได้ (0.8 V / 1 V) x 1000 เท่ากับ 800 รอบ ก็จะอ่านค่าได้ 0.800 หลักการเช่นนี้ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายในดิจิตอลโวลต์มิเตอร์ และเครื่องมืออื่น ๆ อีกหลายชนิด

สรุปได้ว่า แรงดันอินพุตที่ไม่รู้ค่าถูกป้อนเข้าไปในวงจรอินทีเกรเตอร์เมื่อครบช่วงเวลา t1 วงจรนับจึงถูกรีเซตให้เป็น 0 อินพุตของวงจรอินทีเกรเตอร์ก็จะถูกสวิตช์ต่อกลับมาที่แรงดันอ้างอิง (ที่มีแรงดันคงที่) ให้ความชันของสัญญาณแรมป์คงที่เพิ่มค่าขึ้นไปจนถึงระดับ 0 ที่ช่วงเวลา t2 นี้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับสัญญาณอินพุต

ข้อดีของวงจร ADC แบบสโลปคู่นี้คือ ความแม่นยำสูง, ราคาถูก, เสถียรภาพทางด้านอุณหภูมิ ส่วนข้อเสียคือ ความเร็วต่ำ ในการเปลี่ยนสัญญาณ 1 ครั้งอาจใช้เวลาถึง 100 ms (ในขณะที่แบบ "แฟลช" ใช้เวลาประมาณ 30 ns)

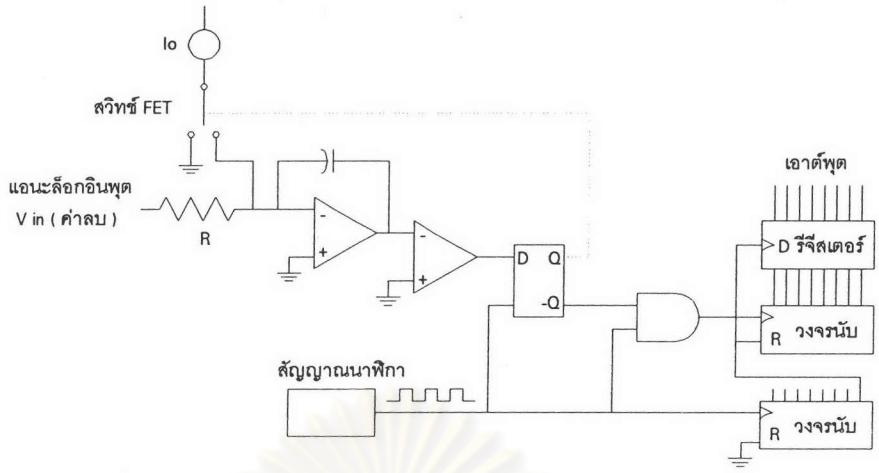
- แบบชาร์จบาลานซ์ (Charge Balance A/D Converters)

วงจร ADC แบบชาร์จบาลานซ์ใช้วงจรสำคัญคล้ายกับแบบสโลปคู่ แต่แทนที่จะให้อินพุตสวิตช์ไปมาระหว่างแรงดันอินพุตกับแรงดันอ้างอิง ก็ทำการแทรกพัลส์ของกระแสอ้างอิงมาที่จุดรวม (summing point) ของวงจรอินทีเกรเตอร์ในช่วงเวลาที่คงที่ โดยที่จำนวนของพัลส์จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันอินพุต

ข้อดีของวิธีการนี้คือ แรงดันตกคร่อมตัวเก็บประจุของวงจรอินทีเกรเตอร์จะมีค่าใกล้เคียง 0 V ดังนั้นจึงไม่เกิดความผิดพลาดจากผลของกระแสรั่วไหล วงจร ADC ชนิดนี้จึงมีความถูกต้องสูงกว่าแบบสโลปคู่

- แบบเดลต้า-ซิกม่า (Delta-Sigma A/D Converters)

จากวงจรรูปที่ 2.14 เมื่อมีแรงดันอินพุตป้อนเข้าไปที่วงจรอินทีเกรเตอร์จะให้เอาต์พุตไปเข้าวงจรเปรียบเทียบ เปรียบเทียบกับกราวด์ พัลส์ของกระแสที่ได้ขึ้นอยู่กับเอาต์พุตของวงจร เปรียบเทียบ โดยสวิตช์ที่ทำขึ้นจากเฟตจะควบคุมให้กระแสเข้าไปยังที่จุดรวม หรือลงกราวด์ ส่วนวงจรนับจะนับจำนวนพัลส์ด้วยหลักการที่คล้ายกัน



รูปที่ 2.14 วงจร ADC แบบเดลต้า - ซิกม่า

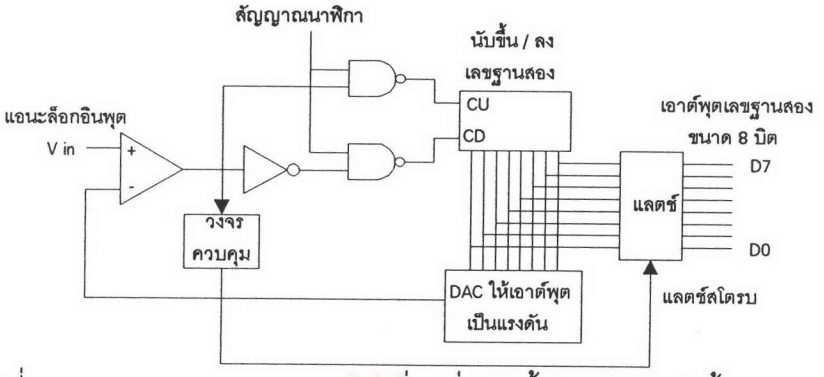
2.3.2 วงจร ADC ที่ใช้วงจรนับและวงจร DAC ประกอบกัน

- แบบวงจรนับเดี่ยว (Single-Counter)

สัญญาณแรมป์เชิงเส้น (linear ramp) ประกอบขึ้นด้วยสัญญาณขั้นบันไดเล็กๆจำนวนมาก ที่เกิดจากการต่อเอาต์พุตของวงจรนับเข้ากับวงจรแปลง ADC โดยขนาดของขั้นบันได แต่ละขั้นขึ้นอยู่กับจำนวนบิตหรือความละเอียดของวงจร ADC นั้น

รูปที่ 2.15 แสดงการกำเนิดสัญญาณแรมป์เดี่ยวด้วยวงจรนับ และวงจร DAC (แทนวงจรอินทีเกรเตอร์) เมื่อเริ่มแปลงสัญญาณ วงจรนับจะถูกรีเซต เอาต์พุตของวงจร DAC มีระดับเป็น 0 เมื่อแรงดันถูกป้อนเข้าไปยังอินพุตของวงจรเปรียบเทียบ เอาต์พุตก็จะมีสถานะเป็น “high” และเปิดสัญญาณนาฬิกาไปสู่วงจรนับ แต่ละพัลส์ของสัญญาณนาฬิกาทำให้เกิดการนับและเพิ่มแรงดันขึ้น 1 ขั้น

เมื่อเอาต์พุตของ DAC มีค่ามากกว่าอินพุต Vin เอาต์พุตของวงจรเปรียบเทียบก็จะกลายเป็น “low” ทำให้สัญญาณนาฬิกาไม่อาจผ่านไปยังวงจรนับได้ ดังนั้น วงจรควบคุมจะทำการแลตช์เอาต์พุตของวงจรนับและรีเซตวงจรนับให้เริ่มต้นรอบใหม่อีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 2.15 วงจร ADC แบบวงจรนับเดี่ยวที่สร้างขึ้นโดยวงจรนับขึ้น และวงจร DAC

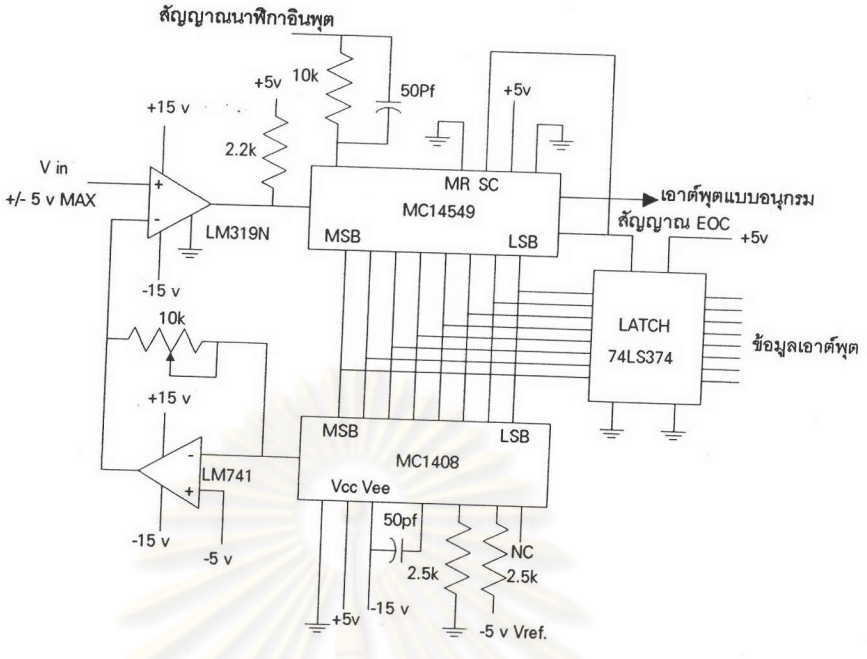
2.3.3 วงจร ADC แบบใช้การประมาณค่า (Successive Approximation A/D Converter)

วงจร ADC แบบนี้มีข้อได้เปรียบทางด้านความละเอียด เพราะความละเอียดสามารถกำหนดได้จากสัญญาณนาฬิกา เช่น วงจรแปลงขนาด 8 บิต ต้องการพัลส์ของสัญญาณนาฬิกาเพียง 8 ลูก วงจร SA (Successive Approximation) นี้แสดงไว้ในรูปที่ 2.16 หัวใจของวงจรคือ successive approximation register (SAR) เช่น เบอร์ C14549 ที่มีการทำงานดังต่อไปนี้

เมื่อเริ่มมีสัญญาณนาฬิกาเข้ามาที่ Clock Input จะทำให้ Output ของ MC14545 เป็น 1 ที่บิตสูงและจะผ่านไปให้วงจร DAC ถึง MC 1408 ร่วมกับส่วนขยายสัญญาณ โดยสัญญาณที่ได้จะนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณ Vin ที่ LM319N ถ้าค่า Vin มากกว่าจะทำให้เอาต์พุตของวงจร SAR ทำงานต่อไป แต่ถ้า Vin น้อยกว่าจะทำให้ได้เอาต์พุตเป็น 0 ซึ่งเป็นการหยุดการทำงานและส่งสัญญาณ End of conversion (EOC) ออกมาเพื่อนำข้อมูลที่ได้มา Latch ไว้ต่อไป

สัญญาณ EOC จะเป็นตัวบอกว่าทำการแปลงสัญญาณอินพุตเป็นดิจิทัลเรียบร้อยแล้ว ถ้าสัญญาณ EOC ถูกต่อไปยังขาสัญญาณเริ่มการแปลงค่า (Start Conversion) การแปลงค่าจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง วงจรในรูปที่ 2.16 ใช้แรงดันอินพุต +/- 5 โวลต์ อินพุตแบบไม่กลับของออปแอมป์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนกระแสเป็นแรงดัน (current to voltage converter) ต่อเข้ากับ -5 โวลต์ แทนที่จะต่อลงกราวด์เป็นการยกระดับแรงดันแอนะล็อกจาก -5 ถึง +5 โวลต์ แทน 0 - 10 โวลต์ สัญญาณไฟสลับจึงสามารถต่อโดยตรงเข้ากับอินพุตของวงจร ADC วงจรนี้ได้

วงจร ADC ชนิดนี้มีความเร็วและความละเอียดสูงจึงเป็นวงจรที่นำมาใช้กันอย่างแพร่หลาย



ปที่ 2.16 วงจร ADC แบบSuccessive Approximation A/D Converter

2.3.4 การสุ่มและการคงค่า (Sample and Holds)

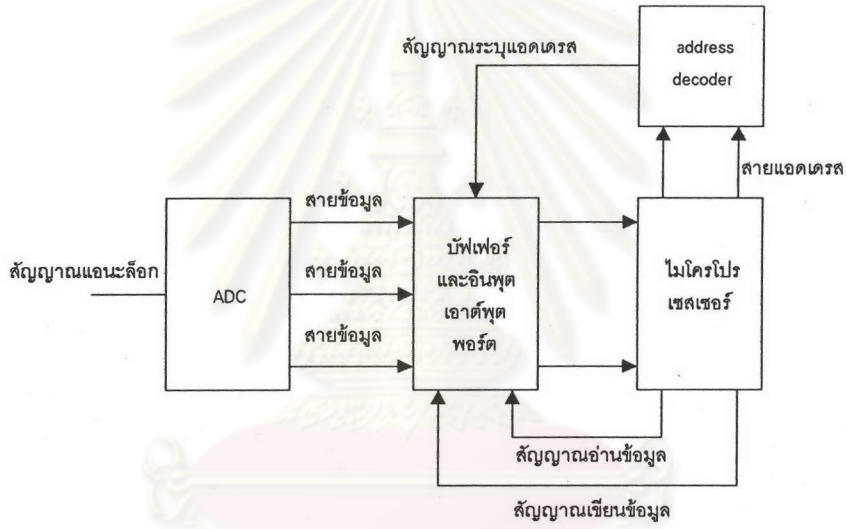
วงจร ADC ต้องการเวลาในการแปลงสัญญาณหรือที่เรียกว่า conversion time เพื่อแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่เหมาะสม ถ้าสัญญาณแอนะล็อกมีการเปลี่ยนแปลงในระหว่างช่วงเวลาการแปลงเอาต์พุตของวงจรอาจเกิดความผิดพลาดจึงต้องมีการป้องกันด้วยวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณ (sample and hold) เพื่อใช้จับสัญญาณแอนะล็อกที่จุดเริ่มของการแปลงสัญญาณ แล้วเก็บไว้ในตัวเก็บประจุระหว่างช่วงเวลาการแปลง หลังจากที่การแปลงสัญญาณเสร็จสิ้น จึงจับสัญญาณแอนะล็อกค่าใหม่มาเก็บไว้อีกครั้งเป็นเช่นนี้เรื่อยๆ ไป เราจึงมักได้พบเห็นวงจรสุ่มและคงค่าสัญญาณปรากฏคู่กับวงจร ADC อยู่เสมอ

---

[5] เปรมจิตร วิสุทธิศิริ , "พื้นฐานวงจร เอทูดี, ดีทูเอ ตอน 2: วงจรแปลงอะนาล็อกเป็นดิจิตอล," วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิคส์ 103 (ธันวาคม 2533): หน้า 302-307.

2.4 การควบคุมการแปลงสัญญาณของวงจร ADC โดยไมโครโปรเซสเซอร์ และการเชื่อมต่อเข้ากับไมโครคอมพิวเตอร์

สำหรับการเชื่อมต่อวงจร ADC กับไมโครโปรเซสเซอร์ที่ควบคุมตัวมันอยู่นั้นจะใช้วิธีการรับส่งข้อมูลแบบขนาน เนื่องจากสามารถที่จะทำการส่งข้อมูลได้เร็วโดยต่อวงจร ADC เข้ากับบัสข้อมูลของไมโครโปรเซสเซอร์ผ่านบัฟเฟอร์ เมื่อไมโครโปรเซสเซอร์ต้องการข้อมูลจากวงจร ADC ก็จะส่งสัญญาณกำหนดแอดเดรส (Decoded address) และสัญญาณควบคุมการอ่าน (Read control) ไปยังบัฟเฟอร์ จากนั้นการส่งข้อมูลก็จะเริ่มขึ้น เช่นเดียวกัน เมื่อต้องการส่งสัญญาณควบคุมวงจร ADC ไมโครโปรเซสเซอร์จะส่งสัญญาณระบุแอดเดรสและสัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูล (Write control) ไปให้บัฟเฟอร์ แล้วจึงส่งสัญญาณควบคุมตามออกไป ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 วงจรควบคุมการแปลงสัญญาณของวงจร ADC โดยไมโครโปรเซสเซอร์

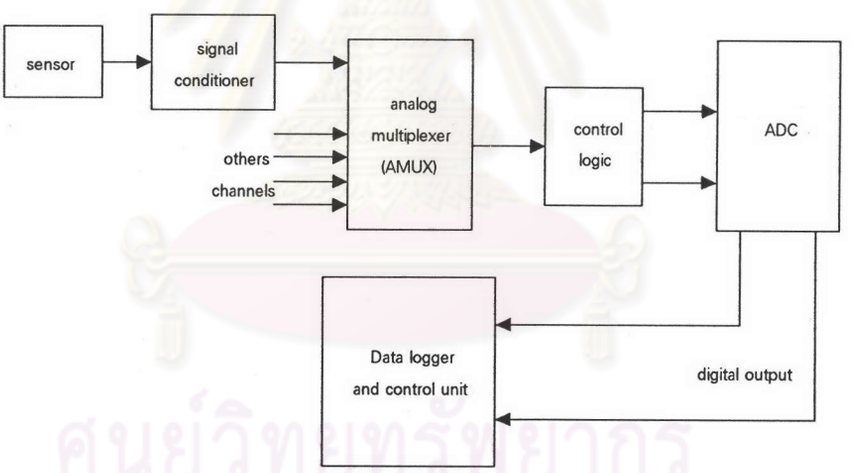
การนำเอาวงจร ADC มาใช้ในการแปลงสัญญาณแอนะล็อกที่ส่งมาจากทรานส์ดิวเซอร์ตัวหนึ่ง (หรืออาจมาจากทรานส์ดิวเซอร์หลายตัว) เป็นสัญญาณดิจิทัลที่มีค่าสัมพันธ์กับค่าทางกายภาพเพื่อใช้ในการประมวลผลหรือแสดงผลเรียกว่าระบบแสวงหาข้อมูล (Data acquisition system)

การเชื่อมต่อระบบแสวงหาข้อมูลเข้ากับคอมพิวเตอร์ที่เป็นตัวลงบันทึกข้อมูลนั้นมีหลายวิธี โดยที่การเชื่อมต่อนั้นจะต้องคำนึงถึงปัญหาต่างๆที่อาจเกิดขึ้นด้วย เช่น ปัญหาการชนกันของข้อมูล

ปัญหาการอ่านข้อมูลไม่ทันทำให้ข้อมูลใหม่ทับข้อมูลเก่า ซึ่งวิธีการที่ค่อนข้างจะมีประสิทธิภาพและจะได้กล่าวถึงคือ การใช้วิธีการขัดจังหวะ (interrupt) วิธีการดังกล่าว คอมพิวเตอร์สามารถทำงานอย่างอื่นได้ในขณะที่ส่วนแสวงหาข้อมูล (Data acquisition) ทำการแปลงสัญญาณ และเก็บรวบรวมข้อมูลเมื่อส่วนแสวงหาข้อมูลทำงานเรียบร้อยแล้วก็จะส่ง สัญญาณเพื่อขัดจังหวะการทำงานของคอมพิวเตอร์เป็นการบอกว่ามีข้อมูลที่ต้องการจะส่งให้ เมื่อคอมพิวเตอร์ได้รับสัญญาณขัดจังหวะก็จะหยุดการทำงานนั้นไว้ชั่วคราว และหลังจากที่เก็บข้อมูลต่างๆของงานเดิมไว้แล้วก็จะไปทำงานในชุดของโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับการกับการขัด จังหวะนั้นจนกระทั่งเสร็จก็จะกลับไปทำงานที่เคยทำอยู่

2.5 ระบบแสวงหาข้อมูล (Data acquisition) และ ตัวลงบันทึกข้อมูล (Datalogger)

อุปกรณ์ที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการอ่านสัญญาณแอนะล็อกจากทรานส์ดิวเซอร์ และใช้เก็บข้อมูลเหล่านั้นไว้สำหรับการวิเคราะห์หรือควบคุม คือ ส่วนแสวงหาข้อมูล (data acquisition) และตัวลงบันทึกข้อมูล (Datalogger) ตามลำดับ ซึ่งโครงสร้างของระบบดังกล่าว แสดงในรูปที่ 2.18

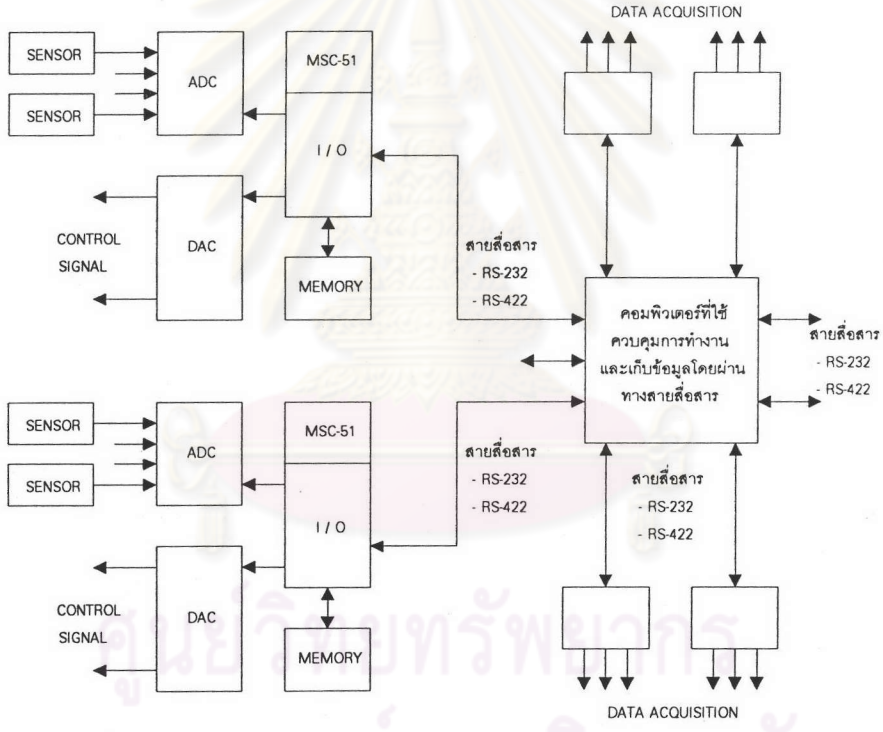


รูปที่ 2.18 แสดงโครงสร้างโดยทั่วไปของระบบแสวงหา และ ตัวลงบันทึกข้อมูล

จากโครงสร้าง จะเห็นได้ว่าระบบดังกล่าว เมื่อต้องการนำไปอ่านและเก็บข้อมูลจะต้องนำส่วนที่ทำหน้าที่แสวงหาข้อมูลไปติดตั้งในที่ๆต้องการจะอ่านข้อมูล ถ้าส่วนแสวงหาข้อมูลกับตัวลง

บันทึกข้อมูลอยู่ห่างกันมากเกินไปจะเกิดปัญหาในการเดินสายสื่อสาร นอกจากนี้ยังอาจเกิดความผิดพลาดของข้อมูลอันเนื่องมาจาก ระยะทางที่มากเกินไปและสัญญาณรบกวนต่างๆในบริเวณที่เดินสายสัญญาณผ่าน

จากรายละเอียดดังที่กล่าวมาแล้ว จึงเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบแสวงหาข้อมูลและตัวลงบันทึกข้อมูลที่มีความสามารถกว้างกว่าระบบที่มีอยู่ทั่วไป โดยเป็นระบบที่แยกส่วนที่ทำหน้าที่เป็นส่วนแสวงหาข้อมูล (ซึ่งควบคุมการทำงานโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51) กับตัวลงบันทึกข้อมูลออกจากกันแล้วเชื่อมกันด้วยสายสื่อสาร การควบคุมส่วนแสวงหาข้อมูลจะทำโดยคอมพิวเตอร์ผ่านทางสายสื่อสารเช่นกัน จากโครงสร้างใหม่นี้ ทำให้สามารถเพิ่มส่วนแสวงหาข้อมูลได้มากกว่า 1 ชุด ซึ่งแต่ละชุดถูกควบคุมการทำงานจากคอมพิวเตอร์ชุดเดียวกัน โครงสร้างที่ปรับปรุงแล้วแสดงในรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 แสดงโครงสร้างของระบบแบบดาว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 2.19 เป็นการเชื่อมระบบแสวงหาข้อมูลเข้ากับตัวลงบันทึกข้อมูลในรูปแบบดาว (star) การเชื่อมต่อแบบนี้ทำให้ส่วนแสวงหาข้อมูลสามารถติดต่อกับตัวลงบันทึกข้อมูลได้โดยตรง แต่จะติดต่อได้ทีละตัวเท่านั้น ข้อดีของการเชื่อมต่อแบบนี้คือ จะไม่ทำให้เกิดการชนกันของข้อมูล

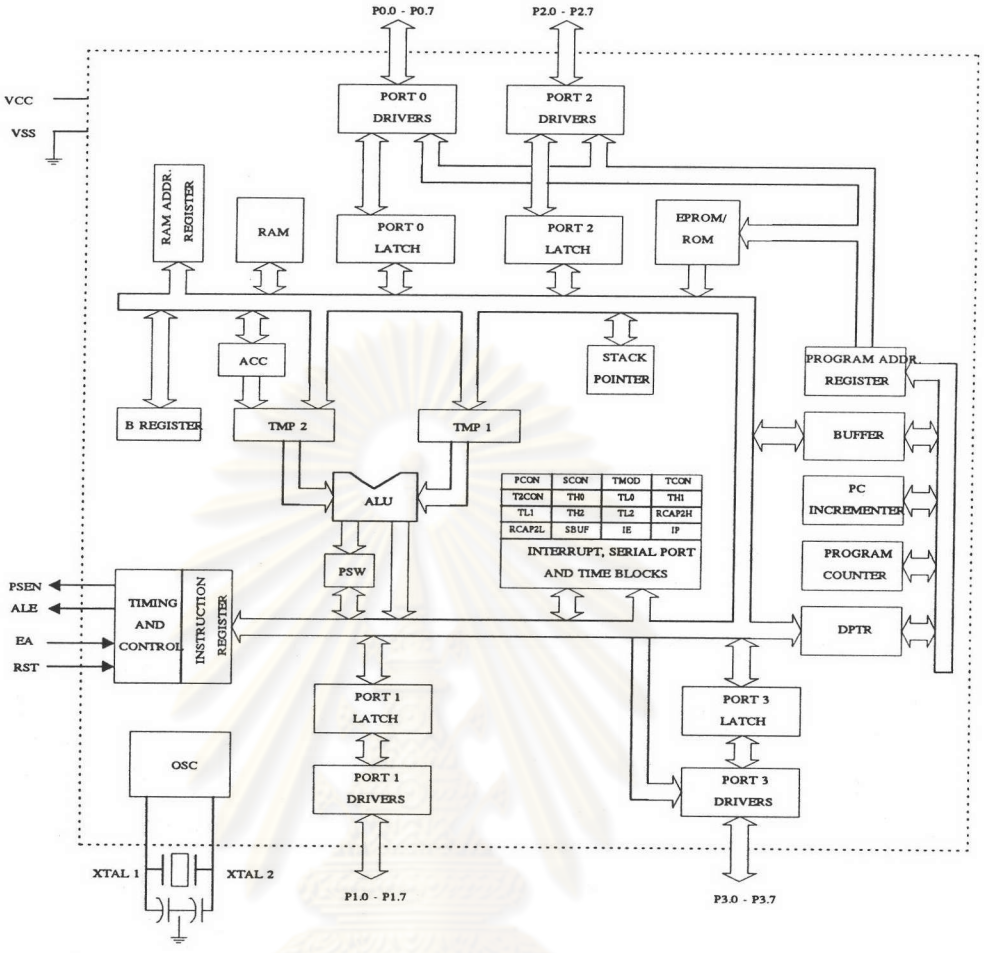
2.6 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 [6]

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์พื้นฐานในตระกูลคือ เบอร์ 8051, 8751 และ 8031 ซึ่งมีจำนวนขาภายนอก 40 ขา เท่ากัน ใช้เวลาและสัญญาณในการ ปฏิบัติคำสั่งแต่ละคำสั่งเท่ากัน ใช้แรงดันไฟฟ้าเท่ากัน สิ่งที่แตกต่างกันระหว่างเบอร์ทั้งสามคือ ขนาดของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป (on chip program memory)

- เบอร์ 8751 มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป EPROM ขนาด 4 กิโลไบต์
- เบอร์ 8051 มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในเป็น ROM ขนาด 4 กิโลไบต์
- เบอร์ 8031 ไม่มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป แต่สามารถใช้หน่วยความจำเพื่อเก็บโปรแกรมที่อยู่ภายนอกได้มากถึง 64 กิโลไบต์ ซึ่งอาจเป็น ROM , PROM , EPROM โดยจะใช้โปรแกรมจากหน่วยความจำภายนอกได้เองเมื่อโปรแกรมมีขนาด ยาวเกิน 4 กิโลไบต์ หรือกำหนดให้ใช้โปรแกรมจากหน่วยความ จำภายนอกเพียงอย่างเดียวด้วยการต่อขา 31 (EA) ลงกราวด์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.6.1 โครงสร้างภายในของ MCS-51



รูปที่ 2.20 แสดงโครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์ใช้แรงดันไฟเพียง 5 โวลต์ ส่วนกระแสไฟฟ้าที่ใช้จะแตกต่างกันไปตามเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิต เบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ที่มีอักษร C อยู่ตรงกลางเช่น 80C31 , 80C51 จะเป็นเบอร์ของชิปที่ผลิตโดยอาศัยเทคโนโลยี CHMOS ซึ่งใช้พลังงานในการทำงานน้อยกว่า

MCS-51 เป็นตระกูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาจากตระกูล MCS-48 ดังนั้นจึงมีความสามารถเหนือกว่าหลายอย่าง เช่น ความเร็วในการประมวลผลของ MCS-51สามารถใช้ความถี่ได้ถึง 12 Mhz หรือสำหรับบางเบอร์ในตระกูลสามารถใช้ได้ถึง 16 Mhz ทำให้ช่วงเวลาใน การทำงาน

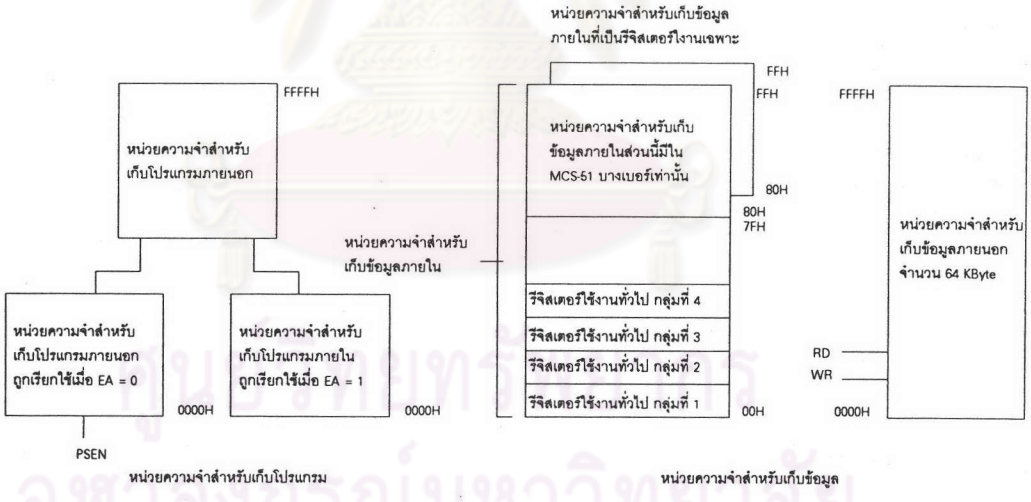
แต่ละคำสั่งน้อยมาก เมื่อใช้ความถี่ 12 Mhz คำสั่งที่ใช้เวลาน้อยที่สุด จะใช้เวลาเพียง 1 ไมโครวินาที ส่วนคำสั่งที่ใช้เวลามากที่สุดจะใช้เวลาเพียง 4 ไมโครวินาทีเท่านั้น

2.6.2 โครงสร้างหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ทุกเบอร์จะแบ่งหน่วยความจำออกเป็นสองส่วน คือ

- หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม (program memory)
- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล (data memory)

หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมจะใช้เก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานของชิป MCS-51 บางเบอร์จะมีหน่วยความจำส่วนนี้อยู่ภายในชิป แต่บางเบอร์จะไม่มีให้ ทำให้ต้องเก็บโปรแกรมไว้ในหน่วยความจำภายนอกทั้งหมด ส่วนหน่วยความจำส่วนที่สองคือ หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล ซึ่งใช้เก็บข้อมูลระหว่างการทำงาน MCS-51 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำส่วนนี้อยู่ภายในชิปจำนวนหนึ่ง แต่จะมีจำนวนเท่าใดขึ้นอยู่กับเบอร์ของชิป โครงสร้างหน่วยความจำทั้งหมดของ MCS-51 แสดงในรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 แสดงโครงสร้างหน่วยความจำทั้งหมดของ MCS-51

หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมใน MCS-51 จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิป (internal program memory) และหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายนอกชิป (external program menory) ขนาดของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมภายในชิปมีได้ตั้งแต่ 0, 4, 8, 16 กิโลไบต์ ขึ้นอยู่กับเบอร์ของชิป

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลของ MCS-51 แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิป และหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิป หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปของ MCS-51 ยังแบ่งออกเป็น 2 ส่วนย่อย ดังนี้

- ส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไป (internal RAM)
- ส่วนที่เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ (special function register)

หน่วยความจำส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปเป็นหน่วยความจำที่มีไว้สำหรับเก็บข้อมูลในขณะทำงาน ส่วนหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปที่เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ เป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในซึ่งถูกกำหนดให้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะเพื่อควบคุมการทำงานและบอกสถานะของซีพียู ภาพแสดงหน่วยความจำทั้งสองบริเวณมีดังในรูปที่ 2.22

รูปที่ 2.22 หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิป MCS-51

MCS-51 ทุกเบอร์จะมีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปอย่างน้อย 128 ไบต์ ไปจนถึง 256 ไบต์ ขึ้นอยู่กับเบอร์ของชิป หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปบริเวณ

128 ไบต์แรก มีชื่อเรียกว่า lower 128 และในบริเวณ 128 ไบต์หลังที่มีเพิ่มในบางเบอร์มีชื่อเรียกว่า upper 128 ดังแสดงในรูปที่ 2.22

หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปบริเวณ 128 ไบต์หลัง (ตำแหน่ง 80Hขึ้นไป) จะมีตำแหน่งตรงกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ (ตำแหน่ง 80H ขึ้นไป เช่นกัน) โดยมีวิธีการเข้าถึงหน่วยความจำทั้งสองส่วนไม่เหมือนกัน

เนื่องจาก MCS-51 ถูกออกแบบไว้สำหรับใช้ควบคุมระบบโดยเฉพาะ จึงทำให้มีความสามารถเฉพาะตัวหลายอย่าง ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยวงจรภายในชิปที่มีเพิ่มขึ้น การควบคุมการทำงานของวงจรภายในไมโครคอนโทรลเลอร์จะกระทำผ่านรีจิสเตอร์ที่ถูกกำหนดหน้าที่ไว้แล้ว ดังนั้นหากต้องการใช้ MCS-51 ให้มีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องทราบหน้าที่การทำงานของรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะแต่ละตัวให้ละเอียด ในส่วนของหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิป จะเป็นหน่วยความจำส่วนที่อยู่ภายนอกชิป MCS-51 ซึ่งผู้ใช้ต้องติดตั้งเพิ่ม การติดต่อระหว่าง MCS-51 กับหน่วยความจำทั้งสองส่วนจะใช้ขา 32 ถึง 39 (พอร์ต 0) เป็นตัวส่งแอดเดรสไบต์ต่ำ (A0 - A7) และใช้รับส่งข้อมูลกับหน่วยความจำด้วย (ใช้เป็นดาต้าบัส) ส่วนแอดเดรสไบต์ (A8 - A15) จะใช้ขา 21 - 38 (พอร์ต 2)ดังนั้นเมื่อพอร์ต 0 และ พอร์ต 2 ถูกใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก (ทั้งหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล) จะทำให้เหลือพอร์ตสำหรับใช้งานอื่นน้อยลง

รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะใน MCS-51 แต่ละตัวมีหน้าที่ควบคุมวงจรภายใน MCS-51 รวมทั้งใช้เป็นตัวบอกสถานะการทำงานของซีพียูภายใน ดังนั้นแต่ละบิตของรีจิสเตอร์เหล่านี้จึงมีความสำคัญและจำเป็นที่ผู้ใช้งานต้องทราบความหมายและความสำคัญของแต่ละบิตให้ละเอียด

รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะทั้งหมดใน MCS-51 แบ่งออกตามประเภทการทำงานได้ดังนี้

- รีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของ MCS-51 โดยรวม ได้แก่ PSW, PCON
- รีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณขัดจังหวะ ได้แก่ IE, IP
- รีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของไทม์เมอร์ / เคาน์เตอร์ ได้แก่ TCON, TMOD, T2CON
- รีจิสเตอร์ที่ใช้ควบคุมการทำงานของพอร์ตสื่อสารอนุกรม ได้แก่ SCON

รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะที่ใช้ในการควบคุมการทำงานของ MCS-51 ที่จะกล่าวถึงต่อไปมีด้วยกัน 2 ตัว คือ

1. รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ PSW (Program Status Word) และ
2. รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ PCON (Power Control Register)

รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ PSW (Program Status Word) เข้าถึงข้อมูลได้ระดับบิต ดังแสดงในรูปที่ 2.23

CY	AC	F0	RS1	RS0	OV	-	P

บิต	ชื่อบิต	
PSW.7	CY	carry flag
PSW.6	AC	auxillary flag
PSW.5	FO	flag 0 เป็นรีจิสเตอร์บอกสถานะที่ผู้ใช้สามารถกำหนดการใช้งานเองได้
PSW.4	RS1	ใช้เลือกกลุ่มรีจิสเตอร์ R0 - R7
PSW.3	RS0	ใช้เลือกกลุ่มรีจิสเตอร์ R0 - R7 0 0 เลือกรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปกลุ่มที่ 0 0 1 เลือกรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปกลุ่มที่ 1 1 0 เลือกรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปกลุ่มที่ 2 1 1 เลือกรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไปกลุ่มที่ 3
PSW.2	OV	บิตแสดงการเกิด overflow
PSW.1	-	บิตที่ผู้ใช้กำหนดการใช้งานเองได้
PSW.0	P	parity flag ถูกเซตหรือเคลียร์โดยวงจรภายใน MCS-51 ในแต่ละไซเกิลของคำสั่งแต่ละคำสั่ง ใช้เป็นตัวบอกให้ทราบว่าในรีจิสเตอร์ ACC มีข้อมูลที่เป็น 1 เป็นจำนวนคู่หรือคี่

รูปที่ 2.23 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ PSW

รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ PCON (Power Control Register) ไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลในระดับบิตได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.24

SMOD	-	-	-	GF1	GF0	-	IDL

บิต	ชื่อบิต	
PCON.7	SMOD	เมื่อใช้ไทม์เมอร์ 1 เป็นตัวกำหนด baud rate หากบิตนี้มีค่าเป็น 1 ในการใช้งานพอร์ตสื่อสารอนุกรมโหมด 1, 2 และ 3 ค่า baud rate จะเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า
PCON.6	--	ไม่ถูกกำหนดใช้งาน
PCON.5	--	ไม่ถูกกำหนดใช้งาน
PCON.4	--	ไม่ถูกกำหนดใช้งาน
PCON.3	GF1	บิตที่ผู้ใช้สามารถกำหนดการใช้งานได้เอง
PCON.2	GF0	บิตที่ผู้ใช้สามารถกำหนดการใช้งานได้เอง
PCON.1	PD	บิตควบคุมการใช้พลังงานแบบ Power Down Mode 1 : MCS-51 จะอยู่ในสภาวะ Power Down Mode (หยุดการทำงานจนกว่าจะมีการรีเซต) ใช้ได้เฉพาะ MCS-51 ที่ผลิตโดยใช้เทคโนโลยี่ CHMOS เท่านั้น 0 : MCS-51 จะอยู่ในสภาวะการทำงานปกติ
PCON.0	IDL	บิตควบคุมการใช้พลังงานต่ำแบบ Idle Mode 1 : MCS-51 อยู่ในสภาวะ Idle Mode คือ หยุดการทำงานชั่วคราว จนกว่าจะมีสัญญาณขัดจังหวะ ในระหว่างรอสัญญาณอินเตอร์รัปต์ MCS-51 จะใช้พลังงานน้อยมาก 0 : MCS-51 อยู่ในสภาวะการทำงานปกติ (บิต PD ต้องเป็น 1 ด้วย)

หมายเหตุ โปรแกรมที่ควบคุม MCS-51 ไม่ควรมีคำสั่งใดๆที่ทำให้มีการเขียนค่า 1 ไปยังบิตที่ไม่ได้ถูกกำหนดการใช้งาน เพื่อให้โปรแกรมเดียวกันนี้สามารถใช้ได้กับ MCS-51 เบอร์ใหม่ๆในอนาคต (ถ้าบิตเหล่านี้มีค่าเป็น 1 หมายถึงกำหนดให้วงจรภายในทำงาน)

รูปที่ 2.24 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ PCON

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

i 1747856x

2.6.3 โครงสร้างพอร์ตของ MCS-51

MCS-51 ทุกเบอร์จะมีพอร์ตขนาด 8 บิตจำนวน 4 พอร์ต (P0 - P3) โดย สามารถกำหนดให้ทำงานแบบพอร์ตขนานขนาด 8 บิต 4 พอร์ต หรือจะใช้เป็นพอร์ตขนาด 1 บิตได้ถึง 32 พอร์ต ทั้งนี้ผู้ใช้ยังสามารถกำหนดให้แต่ละพอร์ตใช้งานเป็นอินพุตพอร์ตหรือเอาท์พุตพอร์ตได้อย่างอิสระ

ในกรณีที่ผู้ออกแบบต้องการใช้หน่วยความจำภายนอกไม่ว่าจะเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลหรือสำหรับเก็บโปรแกรม พอร์ต 0 ถูกกำหนดการใช้งานเป็นดาต้าบัสและแอดเดรสบัสไบต์ต่ำ ส่วนพอร์ต 2 จะถูกกำหนดการใช้งานเป็นตัวส่งแอดเดรสไบต์สูง และบางส่วนของพอร์ต 3 จะถูกใช้ส่งสัญญาณควบคุม (สัญญาณที่ใช้ควบคุมการอ่านหรือเขียนข้อมูล) แต่ถ้าหากหน่วยความจำที่ใช้ภายนอกต้องการไม่ถึง 64 กิโลไบต์ พอร์ต 2 ที่ใช้เป็นแอดเดรสบัสไบต์สูงจะไม่ถูกนำมาใช้ทั้งหมด แต่พอร์ต 0 จะถูกใช้ทั้งหมด 8 เส้น เพราะต้องใช้เป็นดาต้าบัส ส่วนพอร์ต 3 จะนำมาใช้ติดต่อกับหน่วยความจำด้วยหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับหน่วยความจำที่ใช้ภายนอก ว่ามีหน่วยความจำส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลด้วยหรือไม่ (ต้องการสัญญาณควบคุมการอ่านหรือเขียนข้อมูลหรือไม่นั่นเอง) ดังนั้นในการออกแบบระบบ หากต้องการใช้หน่วยความจำภายนอกมากขึ้นเพียงใด ก็ยิ่งทำให้เหลือพอร์ตที่จะนำมาใช้งานลดลง ในการออกแบบจึงต้องพยายามลดขนาดหน่วยความจำภายนอกให้น้อยที่สุด

พอร์ต 3 ซึ่งมีขนาด 8 บิตนอกจากจะใช้ส่งสัญญาณสำหรับการอ่านหรือเขียนข้อมูลในการติดต่อกับหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอกชิปแล้ว ยังถูกใช้เป็นตัวรับสัญญาณขัดจังหวะ (INT 0, INT 1) สัญญาณอินพุตที่ต้องการนับสำหรับเคาน์เตอร์ (T0, T1) รวมทั้งใช้ในการติดต่อสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมกับอุปกรณ์ภายนอก (รับและส่งข้อมูลผ่านขา RXD, TXD) อีกด้วย

ภายในแต่ละพอร์ตที่ใช้เป็นอินพุตหรือเอาต์พุต ผู้ใช้สามารถกำหนดให้ทำงานเป็นอินพุตหรือเอาต์พุตพอร์ตได้อย่างอิสระ โดยอาศัยการควบคุมจากโปรแกรม ซึ่งสามารถควบคุมให้แต่ละพอร์ตถูกใช้เป็นอินพุตในช่วงเวลาหนึ่ง และเป็นเอาต์พุตในอีกช่วงเวลาหนึ่งได้

2.6.4 พอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม

MCS-51 สามารถรับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมได้โดยไม่ต้องพึ่งอุปกรณ์ภายนอกอื่นๆในด้านอัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลก็สามารถกำหนดค่าได้ตามความต้องการของผู้ใช้ โดยสามารถเลือก

อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูล (baud rate) มาตราฐานได้ตั้งแต่ 100, 1.2K, 2.4K, 4.8K, 9.6K, 19,2K, 37.5K ตามมาตราฐานของ UART นอกจากนี้ยังสามารถกำหนดการทำงานที่แตกต่างกันได้ถึง 4 แบบ ตามความเหมาะสมในแต่ละงาน

พอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมที่มีใน MCS-51 สามารถทำงานได้ในแบบ full duplex หมายความว่า MCS-51 สามารถรับและส่งข้อมูลได้พร้อมๆกัน โดยในการรับข้อมูลจะมีการบัฟเฟอร์ข้อมูลให้ด้วย จึงทำให้ MCS-51 สามารถกำหนดการรับข้อมูลไบต์ที่สองซึ่งถูกส่งตามเข้ามาก่อนที่ไบต์แรกที่ได้รับเข้ามาจะถูกอ่านจากรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะที่ใช้สำหรับรับข้อมูล (receive register) เพื่อนำไปเก็บไว้ในหน่วยความจำต่อไป (หากไบต์แรกยังไม่ถูกอ่านเมื่อได้รับไบต์ที่สองเรียบร้อยแล้ว ข้อมูลจะหายไปหนึ่งไบต์)

พอร์ตสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมใน MCS-51ประกอบด้วยรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิตจำนวนสองตัวแต่ละตัวมีชื่อเรียกตามหน้าที่ดังนี้คือ

- รีจิสเตอร์สำหรับรับข้อมูลใช้รับข้อมูลที่ส่งเข้ามาจากภายนอก
- รีจิสเตอร์สำหรับส่งข้อมูลใช้ส่งข้อมูลจาก MCS-51 ออกไปภายนอก

รีจิสเตอร์ทั้งสองมีตำแหน่งเดียวกันในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ คือ ตรงกับตำแหน่งของรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ SBUF (ตำแหน่ง 99H) ในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในชิปที่ใช้เป็นรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ การเข้าถึงข้อมูลในรีจิสเตอร์แต่ละตัว MCS-51 จะทราบเองว่าผู้ใช้ต้องการติดต่อกับรีจิสเตอร์ตัวใดโดยตรวจสอบจากรหัสคำสั่ง เพราะในการเขียนข้อมูลไปไว้ ในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ SBUF หมายถึงการโหลดข้อมูลไปที่รีจิสเตอร์สำหรับส่งข้อมูลเพื่อส่ง ข้อมูลออกไปภายนอก ส่วนการอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ SBUF จะหมายถึงนำค่าที่ รับเข้ามาได้จากภายนอกที่เก็บไว้ในรีจิสเตอร์สำหรับรับข้อมูลมาใช้งาน

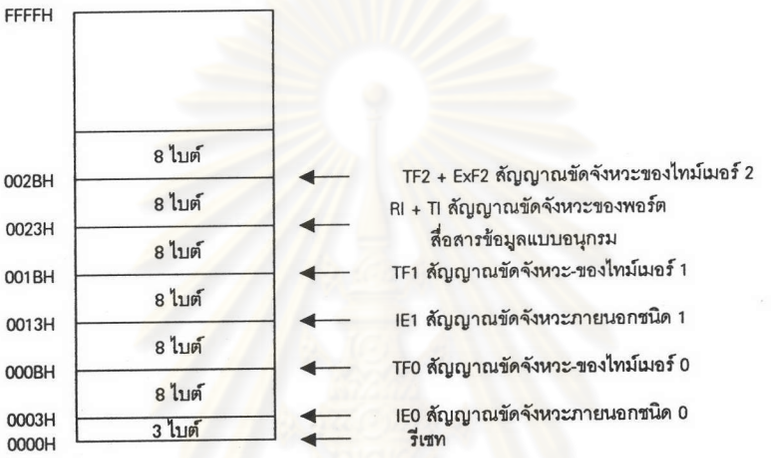
การส่งข้อมูลจะเริ่มทันทีเมื่อมีคำสั่งใด ๆ ที่ใช้รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ SBUF เป็นรีจิสเตอร์ปลายทาง (destination register) เช่น MOV SBUF,A

ส่วนในการรับข้อมูลจะเริ่มต้นโดยมีเงื่อนไขดังนี้

- ในโหมด 0 เริ่มเมื่อค่าในบิต RI = 0 และบิต REN = 1
- ในโหมดอื่น ๆ การรับข้อมูลเริ่มเมื่อ MCS-51 ได้รับบิตเริ่มต้นของข้อมูลเข้ามา โดยที่บิต REN ในขณะนั้นต้องมีค่า 1

2.6.5 โครงสร้างการขัดจังหวะ MCS-51

MCS-51 สามารถรับสัญญาณขัดจังหวะได้ถึง 5 ชนิด โดยจะเป็นสัญญาณขัดจังหวะที่เกิดจากภายนอก 2 ชนิด และที่เกิดจากภายในชิปอีก 3 ชนิด เมื่อมีสัญญาณขัดจังหวะเกิดขึ้น MCS-51 จะละการทำงานโปรแกรมที่กำลังทำอยู่ และข้ามไปทำงานโปรแกรมสำหรับบริการการเกิดการขัดจังหวะ (interrupt service routine) ที่อยู่ในหน่วยความจำตำแหน่งต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของสัญญาณขัดจังหวะดังแสดงในรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 ตำแหน่งหน่วยความจำของโปรแกรมบริการการเกิดการขัดจังหวะแต่ละชนิด

เราสามารถเลือกให้ซีพียูใน MCS-51 ถูกขัดจังหวะโดยสัญญาณขัดจังหวะที่เกิดขึ้นได้โดยการกำหนดค่าในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IE นอกจากนี้ยังสามารถควบคุมลำดับความสำคัญ ในการตอบสนองต่อสัญญาณขัดจังหวะของ MCS-51 ได้ด้วยรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IP

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IE (Interrupt Enable-Register) เข้าถึงข้อมูลได้ในระดับบิต รายละเอียดมีดังแสดงในรูปที่ 2.26

EA	-	ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0

บิต	ชื่อบิต	
IE 7	EA	ใช้ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณขัดจังหวะทั้งหมด 0 : MCS-51 จะไม่ตอบสนองต่อสัญญาณขัดจังหวะใดๆทั้งสิ้น 1 : การตอบสนองต่อสัญญาณขัดจังหวะแต่ละชนิดจะถูกควบคุมโดยตรงจากบิตที่ทำหน้าที่ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณขัดจังหวะที่อยู่ในรีจิสเตอร์นี้เช่นกัน
IE 6	--	ไม่ถูกกำหนดการใช้งาน
IE 5	ET2	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณขัดจังหวะของไทม์เมอร์ 2 เมื่อเกิด overflow (มีใช้เฉพาะ MCS-51 บางเบอร์ที่มีไทม์เมอร์ 2 เช่น 8052)
IE 4	ES	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณขัดจังหวะของพอร์ตสื่อสารอนุกรม
IE 3	ET1	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณขัดจังหวะของไทม์เมอร์ 1 เมื่อเกิด overflow
IE 2	EX1	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณขัดจังหวะภายนอกชนิด 1
IE 1	ET0	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณขัดจังหวะของไทม์เมอร์ 0 เมื่อเกิด overflow
IE 0	EX0	ควบคุมการตอบสนองต่อสัญญาณขัดจังหวะภายนอกชนิด 0

รูปที่ 2.26 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IE

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รีจีสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IP (Interrupt Priority Register) เข้าถึงข้อมูลได้ในระดับบิต ดังมีแสดงในรูปที่ 2.27

-	-	PT2	PS	PT1	PX1	PT0	PX0

บิต	ชื่อบิต	
IP 7	--	ไม่ถูกกำหนดการใช้งาน
IP 6	--	ไม่ถูกกำหนดการใช้งาน
IP 5	PT2	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณขัดจังหวะของไทม์เมอร์ 2
IP 4	PS	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณขัดจังหวะของพอร์ตสื่อสารอนุกรม
IP 3	PT	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณขัดจังหวะของไทม์เมอร์ 1
IP 2	PX1	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณขัดจังหวะภายนอกชนิด 1
IP 1	PT0	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณขัดจังหวะของไทม์เมอร์ 0
IP 0	PX0	กำหนดลำดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณขัดจังหวะภายนอกชนิด 0

รูปที่ 2.27 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ IP

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

---

[6] ปรเมศฐ์ ประนยานันทน์ และ ปิยพงศ์ เผ่าวณิช, คู่มือและการประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 (กรุงเทพมหานคร: บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2536)

2.7 การแสดงผล

สมัยแรกๆ เมื่อต้องการทราบผลการทำงานของระบบ นิยมใช้ 7 segment LED เป็นตัวแสดงผล ซึ่งการแสดงผลโดยวิธีนี้ มีขีดจำกัดในการทำงานมากพอสมควร คือไม่สามารถแสดงอักขระได้ครบทุกตัว เครื่องหมายพิเศษบางตัวก็แสดงไม่ได้ อีกทั้งในการใช้งานต้องมีการสแกนอยู่ตลอดเวลาทำให้การเขียนโปรแกรมยุ่งยากขึ้น

เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาเหล่านี้ จึงได้นำเอาจอแสดงผลแบบโมดูล LCD มาใช้งานแทน ทั้งนี้เพราะในโมดูล LCD นี้จะมีตัวควบคุมอยู่แล้ว เมื่อต้องการแสดงอะไรก็ส่งข้อมูลไปให้คอนโทรลเลอร์เหมือนกับการเอาต์พอร์ตธรรมดา ถ้าไม่ต้องการเปลี่ยนแปลงการแสดงผลก็สามารถไปทำงานอื่นได้โดยที่การแสดงผลก็ยังคงทำงานปกติจนกว่าต้องการเปลี่ยนแปลงการแสดงผลจึงจะส่งข้อมูล

โมดูล LCD สามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ ได้แก่

- Character LCD module
- Graphic LCD module
- Segment sidplay type LCD module

โดยแต่ละประเภทจะมีส่วนประกอบที่เหมือนกัน คือ

1. จอ LCD แบบด็อทแมตริกซ์ (dot matrix LCD)เป็นตัวแสดงผลให้เราสามารถในลักษณะการปิดเปิดตัวเองกับแสง ก็คือ ส่วนที่เป็นตัวกระจกบรรจุผลึก

2. ไดรเวอร์ (driver) เป็นตัวรับสัญญาณจากตัวควบคุมมาขับ LCD อีกทีหนึ่งโดยไดรเวอร์เบอร์ที่นิยมใช้ใน LCD โมดูล ได้แก่ HD4410H, MSM5259

3. คอนโทรลเลอร์ (controller) เป็นตัวรับข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกมา และจัดการควบคุม LCD โมดูลให้ทำงานแสดงผลต่างๆ เช่น การลบจอภาพ, การเกิดตัวอักษร เป็นต้น โดยเบอร์ที่นิยมใช้กันคือ HD44780 ซึ่งใช้ในแบบ character LCD module คือการแสดงเป็นตัวอักษรเป็นส่วนใหญ่ ส่วนเบอร์ HD61830 จะใช้ในแบบ graphic LCD module หรือแสดงในลักษณะกราฟิกได้

ในการใช้งาน LCD โมดูลนั้น เราต้องทำความเข้าใจในส่วนของคอนโทรลเลอร์ ซึ่ง LCD โมดูลของแต่ละบริษัทมักใช้คอนโทรลเลอร์ที่มีหลักการทำงานเหมือนกัน นอกจากนี้ใน LCD โมดูลแต่ละขนาดจำนวนตัวอักษรหรือจำนวนบรรทัดก็มีหลักการทำงานแบบเดียวกันทั้งหมด โดยคอนโทรลเลอร์

ที่นิยมมากคือเบอร์ HD44780

คอนโทรลเลอร์เบอร์ HD44780 เป็นไอซี LSI ที่ใช้ในการควบคุม LCD โดยแสดงผลในรูปตัวอักษรหรือสัญญลักษณ์ต่างๆ ตัวของมันสามารถต่อใช้งานแบบ 4 บิตหรือ 8 บิตก็ได้ โดยถ้าต่อใช้งานแบบ 4 บิต จะต่อใช้งานที่ DB7-DB4 เท่านั้น โดยข้อมูลแรกที่ส่งนั้น ตัวคอนโทรลเลอร์จะถือว่าเป็นข้อมูล 4 บิตบน และข้อมูลที่ส่งต่อมาเป็นข้อมูล 4 บิตล่าง

ในการวิจัยครั้งนี้จะใช้ LCD โมดูลแบบ character LCD module ขนาด 16 ตัวอักษร 2 บรรทัด และต่อใช้งานแบบ 8 บิต

2.7 ภาครับส่งข้อมูลกับอุปกรณ์ภายนอก

การรับและส่งข้อมูลต่างๆภายในเครื่อง คอมพิวเตอร์ข้อมูลทุกบิตจะถูกรับหรือส่งออกไปในเวลาเดียวกัน เช่น การอ่านหรือเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำ เราเรียกการรับและส่งข้อมูลในลักษณะนี้ว่า การรับส่งข้อมูลแบบขนาน (Parallel communication) นอกจากนี้ยังมีการรับส่งข้อมูลซึ่งเป็นการรับส่งข้อมูลทีละบิต แทนที่จะส่งข้อมูลพร้อมกันทุกบิตในเวลาเดียวกัน การรับและส่งข้อมูลแบบนี้มีชื่อเรียกว่า การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม (Serial communication)

เมื่อพิจารณาดูจะพบว่าการรับส่งข้อมูลแบบขนานนั้น การรับส่งข้อมูลจะทำได้เร็วกว่าแบบอนุกรมแต่ข้อเสียของการรับส่งแบบขนาน คือต้องใช้จำนวนสายในการส่งผ่านข้อมูลมากกว่าแบบอนุกรมให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการวางสายไปโดยไม่จำเป็น และยังมีการลดทอนของสัญญาณมากกว่าแบบอนุกรม ทำให้เกิดความผิดพลาดในการส่งผ่านข้อมูลขึ้นได้ง่าย ดังนั้นในการรับส่งข้อมูลในระยะทางไกล มักเลือกใช้การรับส่งข้อมูลแบบอนุกรมเพื่อลดจำนวนสายส่งซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการวางสายลงได้ถึงแม้ว่าการรับส่งข้อมูลแบบนี้จะยุ่งยากและช้ากว่าการรับส่งข้อมูลแบบขนานก็ตาม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.7.1 ระบบอินเตอร์เฟส RS-232 [7]

ระบบ RS-232 ได้มีการปรับปรุงแก้ไขในปี 2529 เป็น EIA 232-D1986 (โดยทั่วไปเรียกว่า RS-232D) มาตราฐานนี้จะใช้ขั้วต่อขนาด 25 ขาแบบ D (D- subminiature connector) สำหรับการส่งข้อมูลระหว่างระบบ ในระบบนี้สัญญาณจะตรงข้ามความเป็นจริงคือ สถานะ "high" มีระดับแรงดัน -3 ถึง -25 โวลต์ แต่ส่วนใหญ่ใช้ -12 โวลต์ และสถานะ "low" มีระดับแรงดันตั้งแต่ +3 ถึง +25 โวลต์ ส่วนใหญ่ใช้ +12 โวลต์

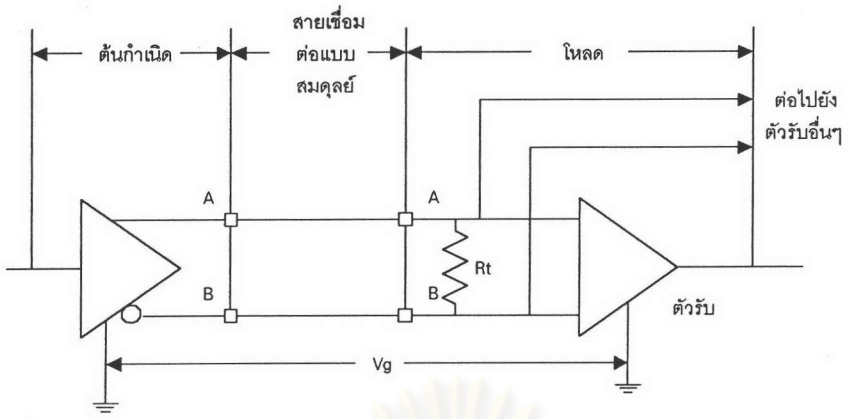
การที่ได้กำหนด RS-232 เป็นมาตราฐานในการสื่อสารข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ทำให้มีการติดต่อสื่อสารข้อมูลกันอย่างแพร่หลาย ระบบ RS-232 นี้มีความเร็วในการส่งข้อมูล 20,000 บิตต่อวินาที (20kbps) และระยะส่งไม่เกิน 50 ฟุต ตามคุณสมบัติ

จะเห็นได้ว่าการส่งข้อมูลแบบ RS-232 มีข้อจำกัดคือส่งได้แค่ 20,000 บิตต่อวินาที ที่ 50 ฟุต ถ้าระยะส่งไกลกว่านี้ ความเร็วในการส่งจะลดลงและมีสัญญาณรบกวนมากขึ้น เนื่องจากสายส่งสัญญาณเป็นแบบอ้างอิงกับกราวด์ไม่ใช่ระบบสมดุล (unbalance)

2.7.2 ระบบเตอร์เฟส RS-422

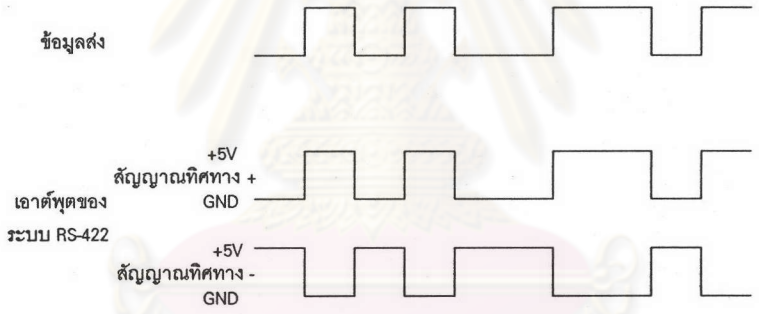
RS-422 ถูกออกแบบเพื่อมาใช้แทน RS-232 ในส่วนที่ขีดจำกัดของ RS-232 โดยได้ออกแบบให้ RS-422 มีความสามารถ ในการส่งข้อมูลได้ไกล ๆ คือ สามารถส่งได้ไกลถึง 4,000 ฟุต และความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุดถึง 10 ล้านบิตต่อวินาที (10 Mbps) ที่เป็นเช่นนี้เพราะใช้การแยกสายสัญญาณเป็น 2 เส้น ต่อ 1 สัญญาณ โดยไม่ใช้กราวน์ร่วม เรียกว่า เป็นระบบสมดุลย์ (balance) อีกทั้งยังใช้ระดับสัญญาณที่ +5 โวลต์ จึงไม่จำเป็นต้องใช้แหล่งจ่ายไฟเพิ่มเติมเหมือน RS-232 ส่วนที่ความเร็ว 90 kbps จะส่งได้ไกล 4,000 ฟุต ความเร็ว 2 Mbps ที่ 35 ฟุต

สัญญาณ RS-422 จะแบ่งเป็น 1 คู่สายต่อ 1 สัญญาณ เพื่อลดค่าอิมพีแดนซ์ในสาย ทำให้ผลของความไวต่อสัญญาณรบกวนมีน้อยมาก ใน 1 เส้นสัญญาณสาย 2 เส้นจะตีเกลียวไปด้วยกัน ทำให้มีอิมพีแดนซ์และกระแสในสายจะเท่ากัน แต่ทิศทางเป็นตรงข้าม สัญญาณรบกวนต่างๆหักล้างกันหมดส่วนสาย กราวด์นั้นจะใช้เพียงการอ้างอิงระดับแรงดันเท่านั้นโดยไม่ได้เป็นทางผ่านของสัญญาณแต่อย่างใด ลักษณะการเชื่อมต่อแบบนี้แสดงในรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 การเชื่อมต่อสัญญาณแบบสมดุลย์ที่ใช้ในระบบ RS-422

ในการส่งสัญญาณแบบนี้ ขณะที่เส้นหนึ่งมีแรงดัน +5 โวลต์อีกเส้นที่คู่กันจะเป็น 0 โวลต์ และในทางตรงข้ามเมื่อสายหนึ่งเป็น 0 โวลต์อีกสายเป็น +5 โวลต์ ดังนั้นการแกว่งของแรงดันที่ปรากฏระหว่าง 2 สาย จะมีค่าเป็น 10 โวลต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 เปรียบเทียบข้อมูลที่ส่งกับสัญญาณเอาต์พุตของระบบ RS-422

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

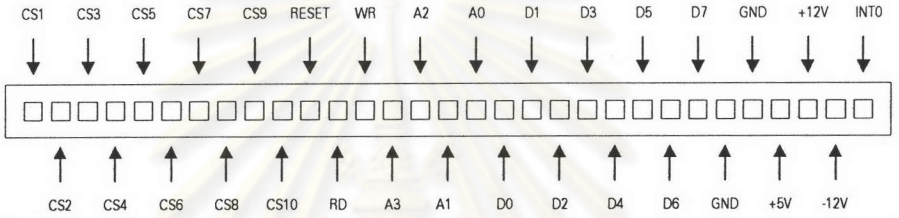
---

[7] เอกชัย สันกำแพง, "วงจรแปลง RS-232 เป็น RS-422," วารสารเซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิคส์ 115 (มีนาคม 2535): หน้า 134-135.

2.8 การเชื่อมต่อกับวงจร Interface อื่นๆ

ในส่วนของวงจรควบคุมการทำงานหลัก บางครั้งอาจจำเป็นต้องมีการเชื่อมต่อกับวงจร Interface อื่น ไม่ว่าจะเป็น วงจร Real Time Clock (RTC), วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นแอนะล็อก, วงจรที่ใช้สำหรับส่งสัญญาณเตือน เป็นต้น ซึ่งวงจรเหล่านี้จำเป็นที่จะต้องได้รับสัญญาณควบคุม หรือมีการส่งข้อมูลกลับไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์

ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงได้เตรียมส่วนที่ใช้เชื่อมต่อกับวงจรภายนอกไว้โดยนำขาสัญญาณที่ใช้ในการควบคุม หรือรับข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อออกมาเป็นเป็นช่องสำหรับเสียบวงจรเพิ่มเติมภายนอก โดยขาสัญญาณที่นำมาใช้มีดังแสดงในภาพที่ 2.30



รูปที่ 2.30 แสดงสัญญาณที่ต่อไปใช้เพื่อควบคุมการทำงานของวงจร Interface อื่นๆ

2.9 โปรแกรมควบคุมการทำงาน

โปรแกรมที่ใช้ควบคุมการทำงานของวงจรระบบแสวงหาข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ

- โปรแกรมที่ใช้ควบคุมระบบคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุม
- โปรแกรมที่ใช้ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

โปรแกรมที่ใช้ควบคุมระบบคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุม เป็นโปรแกรมภาษา C ที่ใช้ควบคุมให้คอมพิวเตอร์ส่งคำสั่งและอ่านข้อมูลที่ได้จากระบบแสวงหาข้อมูล ผู้ใช้สามารถส่งคำสั่งควบคุมและอ่านข้อมูลได้ผ่านทางเมนูและวินโดว์บนหน้าจอคอมพิวเตอร์

ส่วนโปรแกรมที่ใช้ควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ จะเป็นโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี้ของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีหน้าที่ควบคุมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์รับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์ที่ใช้ควบคุมและไปดำเนินการตามคำสั่งเหล่านั้นไม่ว่าจะเป็นการไปควบคุมการอ่านค่าอินพุตแบบแอนะล็อก การอ่านหรือส่งค่าเอาต์พุตแบบดิจิทัล หรือ การแสดงผลทางจอแสดง LCD