

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เข็มทิศดิจิทัลควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
DIGITAL COMPASS CONTROLLED BY MICROCONTROLLER

โดย

นายพิพัฒน์ ตราเกียรติกุล รหัส 36014295
นายสมภพ เตลานุปัทม์ รหัส 36014461
นายสุรินทร์ ดูเบย์ รหัส 36014518

อาจารย์ที่ปรึกษา
รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ

ปฏิญานีพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
คณะวิศวกรรมศาสตร์

ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2539

เลขหมู่..... 539

เลขทะเบียน..... 27873

วัน, เดือน, ปี..... 26 ส.ย. 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารประกอบการใช้การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2539

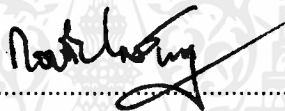
ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์ โทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เข็มทิศแบบดิจิตอลควบคุมโดยไมโครคอนโทรลเลอร์

DIGITAL COMPASS CONTROLLED BY MICROCONTROLLER

- ผู้จัดทำ
1. นาย พิพัฒน์ ตราเกียรติกุล รหัสประจำตัว 36014295
 2. นาย สมภพ เตลานุปถัมภ์ รหัสประจำตัว 36014461
 3. นาย สุรินทร์ คูเบย์ รหัสประจำตัว 36014518



..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. กอบชัย เดชหาญ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข็มทิศดิจิทัลควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
(Digital Compass Controlled by Microcontroller)

โดย นายพิพัฒน์ ตราเกียรติกุล รหัส 36014295
นายสมภพ เตลานุปัทม์ภัก รหัส 36014461
นายสุรินทร์ คูเบย์ รหัส 36014518

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. กอบชัย เดชหาญ

บทคัดย่อ

ปฏิญานาพันธฉบับนี้เป็นวิธีหนึ่งที่จะแสดงสนามแม่เหล็กโลกโดยใช้วิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ โดยอาศัยความรู้ทางสนามแม่เหล็ก, อุปกรณ์ฮอลล์เอฟเฟกต์ (Hall effect) การขยายไฟกระแสตรง และการแปลงจากอนาล็อกเป็นดิจิทัลซึ่งประกอบด้วยวงจรเซนเซอร์ / มัลติเพลกซ์เซอร์ และวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ถูกนำมาใช้ในการควบคุมระบบการทำงานทั้งหมดและส่วนแสดงผล

ABSTRACT

This project concerns about the magnetic field display by electronics method. This project uses magnetic field theory , Hall effect device , DC amplifier and Analog - Digital converter which consists of sensor / multiplexer circuit . The microcontroller is used to all control system and display unit.

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการดำเนินงานของวงจร	2
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	43
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	50
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและวิจารณ์	62
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	



สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1	แสดงฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์	2
รูปที่ 2.2	แสดงปรากฏการณ์ในฮอลล์	3
รูปที่ 2.3	แสดงการนำฮอลล์ 4 ตัว มาต่อขนานกัน เพื่อลดผลกระทบเนื่องจากความเค้นในเนื้อสาร	4
รูปที่ 2.4	แสดงบล็อกไดอะแกรมและกราฟแสดง ผลตอบสนองของฮอลล์ชนิดสวิตช์	4
รูปที่ 2.5	แสดงการตอบสนองของแรงดันเอาท์พุท กับสนามแม่เหล็กของฮอลล์ชนิดแลตซ์	5
รูปที่ 2.6	แสดงขั้วของฮอลล์	6
รูปที่ 2.7	แสดงพื้นฐานของวงจรมอนิเตอร์	7
รูปที่ 2.8	อธิบายขยายแรงดันแบบคอมมอนโหมดควรจะเป็นศูนย์เสมอ	7
รูปที่ 2.9	การพัฒนาวงจรมอนิเตอร์ให้ดีขึ้น	8
รูปที่ 2.10	วงจรมอนิเตอร์	9
รูปที่ 2.11 (a)	แผนภาพแสดงการส่งข้อมูลผ่านพอร์ทัลเอาท์พุทซึ่งเป็นเส้น สัญญาณจำนวน 8 เส้นสำหรับส่งข้อมูลจากระบบออกไปให้กับอุปกรณ์ภายนอก	10
(b)	แผนภาพแสดงการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกเข้ามาพอร์ทัล อินพุทของระบบ ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นสัญญาณจำนวน 8 เส้น	10
รูปที่ 2.12	โครงสร้างของแต่ละบิตภายในพอร์ทัล อินพุท / เอาท์พุทของ 8051	11
รูปที่ 2.13	แผนภาพแบบบล็อกภายในและขาสัญญาณของไอซีเบอร์ 8255	15
รูปที่ 2.14	ความหมายของพินในไบต์ข้อมูลควบคุมสำหรับ 8255	17
รูปที่ 2.15	แผนภาพแสดงการสร้างสัญญาณเลือกอุปกรณ์ (CS) ให้กับ 8255 โดยการถอดรหัสจากบัลแอตเดรส A2-A7	19
รูปที่ 2.16	แผนภาพวงจรแสดงการเชื่อมต่อระหว่าง 8255 กับ 8051	20
รูปที่ 2.17	แผนภาพบล็อกแสดงลักษณะการทำงานของพอร์ทัล 8255 ภายหลังการส่งไบต์ข้อมูลควบคุมที่มีค่า 82H	22

รูปที่ 2.18 (a) แผนภาพการใช้สัญญาณบอกสภาวะความพร้อม ในการติดต่อระหว่าง 8255 กับอุปกรณ์ภายนอก	22
(b) แผนภาพการใช้สัญญาณบอกสภาวะความพร้อม ในการติดต่อระหว่าง 8255 กับ อุปกรณ์ภายนอก	22
รูปที่ 2.19 การกำหนดการทำงานของ 8255 ในโหมด 1 เพื่อให้พอร์ท A เป็นพอร์ท สำหรับการส่งออกข้อมูล และ พอร์ท B เป็นพอร์ทสำหรับการรับเข้าข้อมูล จากอุปกรณ์ภายนอก	24
รูปที่ 2.20 แผนภาพแสดงลักษณะการทำงานของ 8255 เมื่อได้รับการกำหนดให้ทำงานในโหมด 2	25
รูปที่ 2.21 การดำเนินการโอนย้ายข้อมูลภายในหน่วยความจำข้อมูลภายใน	31
รูปที่ 2.22 การดำเนินการโอนย้ายข้อมูลภายในหน่วยความจำข้อมูลภายนอก	34
รูปที่ 2.23 การดำเนินการโอนย้ายข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรม	35
รูปที่ 2.24 แผนภาพอย่างง่ายแสดงการดำเนินการแลกเปลี่ยนข้อมูลด้วย คำสั่ง XCH กับหน่วยจำภายใน	36
รูปที่ 2.25 แผนภาพแสดงการจัดข้อมูลแบบตาราง	39
รูปที่ 2.26 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจร	40
รูปที่ 2.27 แสดงวงจรถนเซอร์และมัลติเพล็กซ์เซอร์	41
รูปที่ 2.28 แสดงค่าของควมถี่ของเซนเซอร์ทั้ง 2 ที่มุมต่างๆ	42
รูปที่ 3.1 แสดงวงจรรายของส่วนขยาย	43
รูปที่ 3.2 แสดงจุดเริ่มต้น-สิ้นสุดของพัลส์ที่ทำการนับ	45
รูปที่ 3.3 แสดงโฟลชาร์ตของโปรแกรมทั้งหมด	46
รูปที่ 3.4 แสดงโฟลชาร์ตของโปรแกรมนับความถี่	47
รูปที่ 4.1 แสดงค่าแรงดันเอาต์พุตของเซนเซอร์ทั้งสองที่มุม 180 องศา	50
รูปที่ 4.2 แสดงกราฟระหว่างแรงดันเอาต์พุตที่องศาต่างๆ	51
รูปที่ 4.3 แสดงวงจรรายอินสตรูเมนต์	52
รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะสัญญาณอินพุตและอินพุต เมื่อทำการเลือกแชนแนล 0	54
รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะสัญญาณอินพุตและสัญญาณเอาต์พุต เมื่อทำการเลือกแชนแนล 2	54
รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะสัญญาณเอาต์พุต เมื่อป้อนสัญญาณอินพุตรูปพัลส์	55
รูปที่ 4.7 แสดงกราฟระหว่างแรงดันอินพุตและค่าความถี่เอาต์พุตที่ได้	56

รูปที่ 4.8 บล็อกไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการทดลองของหัวข้อ 4.5	56
รูปที่ 4.9 แสดงรูปภาพของแรงดันเซนเซอร์ทั้งสองที่องศาต่างๆ	57
รูปที่ 4.10 แสดงรูปภาพความถี่ของเซนเซอร์ทั้งสองที่องศาต่างๆ	58
รูปที่ 4.11 แสดงค่าแรงดันที่ถูกขยายและค่าความถี่ที่ได้จาก VCO ของเซนเซอร์ตัวที่หนึ่งที่มุม 0 องศา	59
รูปที่ 4.12 แสดงค่าแรงดันที่ถูกขยายและค่าความถี่ที่ได้จาก VCO ของเซนเซอร์ตัวที่สองที่มุม 0 องศา	59
รูปที่ 4.13 แสดงค่าแรงดันที่ถูกขยายและค่าความถี่ที่ได้จาก VCO ของเซนเซอร์ตัวที่หนึ่งที่มุม 180 องศา	60
รูปที่ 4.14 แสดงค่าแรงดันที่ถูกขยายและค่าความถี่ที่ได้จาก VCO ของเซนเซอร์ตัวที่สองที่มุม 180 องศา	60
รูปที่ 4.15 แสดงทิศทางที่ 0 องศา	61
รูปที่ 4.16 แสดงทิศทางที่ 180 องศา	61

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงรูปแบบการส่งข้อมูลออกทางพอร์ท	13
ตารางที่ 2.2 แสดงรูปแบบการส่งข้อมูลออกทางพอร์ท	13
ตารางที่ 2.3 แสดงคำสั่งที่ทำงานเกี่ยวกับบิท	14
ตารางที่ 2.4 แสดงคำสั่งกระโดดอย่างมีเงื่อนไข	14
ตารางที่ 2.5 แสดงรายละเอียดกลุ่มของพอร์ท	16
ตารางที่ 2.6 แสดงหน้าที่การทำงานของขาสัญญาณไอซี 8255	16
ตารางที่ 2.7 แสดงรหัสที่ใช้ในการเลือกพอร์ท	18
ตารางที่ 2.8 แสดงบิทที่ใช้ในการส่งและรับของพอร์ทต่างๆ	18
ตารางที่ 2.9 แสดงตำแหน่งแอดเดรสของพอร์ทต่างๆ	19
ตารางที่ 2.10 แสดงข้อมูลที่ใช้ในการทำงานโหมดศูนย์	20
ตารางที่ 2.11 แสดงบิทเพื่อแสดงว่าพอร์ท A และพอร์ท C เป็นพอร์ทเอาต์พุตและพอร์ท B เป็นพอร์ทอินพุต	21
ตารางที่ 2.12 แสดงสถานะของอินพุตบัฟเฟอร์	23
ตารางที่ 2.13 แสดงการทำงานในโหมดหนึ่ง	23
ตารางที่ 2.14 หน้าที่ของเส้นสัญญาณภายในพอร์ท C	24
ตารางที่ 2.15 หน้าที่ของบิทภายในพอร์ท C	26
ตารางที่ 2.16 หน้าที่ของบิทภายในพอร์ท C เพื่อบอกสถานะของเส้นสัญญาณการติดต่อ การติดต่อทางพอร์ท A	28
ตารางที่ 2.17 แสดงข้อกำหนดของชุดคำสั่งของ 8051	30
ตารางที่ 2.18 การนำข้อมูลมาเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ A	31
ตารางที่ 2.19 การนำข้อมูลมาเก็บไว้ยังรีจิสเตอร์ทั่วไป	32
ตารางที่ 2.20 การนำข้อมูลมาเก็บไว้ยังหน่วยความจำโดยตรง	32
ตารางที่ 2.21 การอ้างแอดเดรสหน่วยจำโดยอ้อมผ่านทางรีจิสเตอร์	32
ตารางที่ 2.22 การโอนย้ายข้อมูลแบบบิท	32
ตารางที่ 2.23 การนำข้อมูลมาเก็บไว้ในหน่วยความจำโดยอ้อม	33
ตารางที่ 2.24 การนำข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมโดยอ้อม	35
ตารางที่ 2.25 การแลกเปลี่ยนข้อมูลกับหน่วยความจำกับรีจิสเตอร์	36
ตารางที่ 2.26 การแลกเปลี่ยนข้อมูลกับสแต็ก	37

ตารางที่ 2.27 การเพิ่มหรือลดตำแหน่งในหน่วยความจำ	38
ตารางที่ 2.28 แสดงรหัสที่ใช้ในการเลือกแกนแนลของตัวมัลติเพลกซ์เซอร์	41
ตารางที่ 3.1 แสดงรหัสที่ใช้ในการเลือกแกนแนล	44
ตารางที่ 3.2 แสดงคอนโทรลเวอร์ตที่ให้พอร์ท A เป็นเอาต์พุตและพอร์ท B เป็นอินพุต	45
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองที่องศาต่างๆ	51
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าแรงดันในส่วนของแอมป์ที่ได้จากการทดลอง	53
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความถี่ที่แรงดันอินพุตค่าต่างๆ	55
ตารางที่ 4.4 แสดงค่าแรงดันที่ถูกขยายจากเซนเซอร์ทั้งสองที่องศาต่างๆ	57
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความถี่ที่ได้จาก VCO ของเซนเซอร์ทั้งสองที่องศาต่างๆ	58



บทที่ 1

บทนำ

ปริญญาโทฉบับนี้จะแสดงการสร้างเข็มทิศแบบดิจิตอล ซึ่งจะแตกต่างจากเข็มทิศแบบธรรมดา ซึ่งเข็มทิศแบบธรรมดาในการอ่านค่าจะไม่สะดวกและมีความลำบากในการวัดองศาซึ่งทำให้ค่าที่ได้อาจมีการผิดพลาด แต่เข็มทิศแบบดิจิตอลนี้จะช่วยให้อ่านค่าได้สะดวก และการวัดจะทำได้ง่ายกว่าเข็มทิศแบบธรรมดา

ในการสร้างเข็มทิศแบบดิจิตอลนี้เราจะใช้เทคนิคของฮอลล์เอฟเฟกต์ (Hall effect) ในส่วนของเซนเซอร์ (sensor) ซึ่งจะเป็นส่วนตรวจวัดค่าของสนามแม่เหล็กโลก จากนั้นจะเข้าส่วนมัลติเพล็กซ์เพื่อเลือกสัญญาณจากเซนเซอร์ทั้งสองจากนั้นจะผ่านเข้าส่วนขยายเอาท์พุทที่ได้จากส่วนขยายจะเข้าส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เพื่อให้ขบวนการที่มีความถี่ออกมา เอาท์พุทที่ได้จะเข้าสู่ส่วนไปยังส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) เพื่อคำนวณเป็นค่าองศาออกมาและแสดงผลออกมาเป็นดิจิตอล ซึ่งทำให้อ่านค่าได้ง่ายและชัดเจน



บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการการทำงานของวงจร

2.1 แรงเนื่องจากประจุเคลื่อนที่

แรงที่เกิดในประจุเนื่องจากสนามไฟฟ้า แสดงได้ดังนี้

$$F = QE \quad (2.1)$$

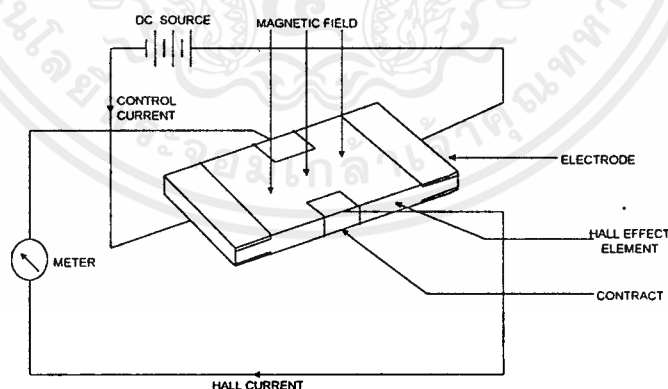
ซึ่งทิศทางของแรงจะมีทิศทางตามความเข้มสนามไฟฟ้า (สำหรับประจุบวก) และขึ้นอยู่ทั้งกับ E และ Q โดยตรง ถ้าประจุเคลื่อนที่แรงที่จุดต่างๆ แสดงได้สมการที่ (2.1)

ถ้าประจุเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กที่มีค่า flux density B หาได้จากการทดลองในการหาแรงซึ่งมีขนาดเป็นสัดส่วนกับสนามของประจุ Q ที่ความเร็ว V และ flux density B และมุม Sine ระหว่าง เวกเตอร์ V และ B ทิศทางของแรงจะตั้งฉากกับทั้ง V และ B และแสดงได้โดยเวกเตอร์หนึ่งหน่วยในทิศทางของ $V \times B$ ซึ่งสามารถแสดงสมการของแรงที่เคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กโดย

$$F = QV \times B \quad (2.2)$$

2.2 ฮอลล์เอฟเฟกต์ (Hall effect)

Hall Effect เป็นชื่อของ Edwin H Hall (1885 ถึง 1958) เขาได้ค้นพบว่าเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าไปในเส้นลวดที่วางอยู่ในสนามแม่เหล็กที่ตั้งฉาก ความแตกต่างของแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นข้ามเส้นลวดในมุมที่ตั้งฉากกันระหว่างสนามแม่เหล็กและลวดดังกล่าว ปรากฏการณ์ดังกล่าวจะพบได้ในโลหะที่บางใน semiconductor บางชนิด ในรูปที่ 2.1 แสดง คอนเซ็ปต์ดังกล่าว



รูปที่ 2.1 แสดงฮอลล์เอฟเฟกต์เซนเซอร์

ชิ้นส่วน Hall Effect มีขั้ว electrode ที่ปลายทั้ง 2 ด้าน ที่มีกระแสไฟฟ้าไหลเข้าไปเมื่อวาง element ดังกล่าวในสนามแม่เหล็กและทำการหมุนไปให้สัมพันธ์กัน ผลที่เปลี่ยนแปลงในรูปแบบ voltage สามารถสังเกตได้จาก sensitive meter ที่ต่อกับ element ทั้ง 2 ข้าง ค่า maximum voltage ที่เกิดขึ้นจะเกิดเมื่อ element กับสนามตั้งฉากซึ่งกันและกัน ถ้าสนามเคลื่อนที่ไป 180 องศา ค่า voltage จะมีค่าลดลงจากค่าบวกสูงสุดไปเป็นค่าลบสูงสุด แยกขั้วของ voltage จะขึ้นอยู่กับการทำชิ้นมา ตัวอย่างเช่น กับสังกะสีจะมีค่าบวก กับทองแดงจะมีค่าลบ ถ้าไม่ทราบชนิดใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้.

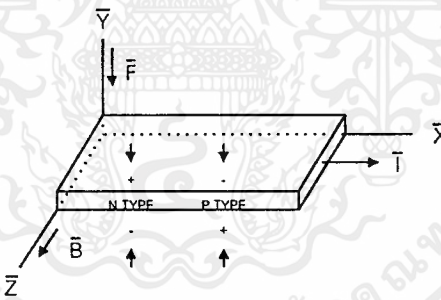
แต่ข้อเสียคือ ค่า Hall Voltage มักจะอ่อนและต้องการการขยายเพื่อใช้งานต่อไป การนำไฟฟ้าของ Hall element จะส่งผลให้เกิดระดับ voltage ที่สร้างขึ้นที่ต่างระดับกันกับตัวนำที่ตีค่า voltage จะต่ำ เนื่องจากอนุภาคที่มีประจุเคลื่อนที่เร็วอย่างไรก็ตามอนุภาคจะเคลื่อนที่ช้าลงใน semiconductor ดังนั้นมันจึงสร้างค่า voltage ที่สูงกว่า

การที่แรงดันเปลี่ยนไปตามทิศทางการหมุนของฮอลล์ดีไวซ์ พิจารณาได้ดังนี้

ถ้าหากว่ามีกระแสไหลผ่านสารกึ่งตัวนำในทิศทางหนึ่ง และในขณะนั้นถ้ามีสนามแม่เหล็กตัดผ่านตั้งฉากกับทิศทางของกระแสแล้ว จะปรากฏมีการเหนี่ยวนำสนามไฟฟ้าขึ้นโดยเกิดในทิศทางตั้งฉากกับกระแส และทิศทางสนามแม่เหล็ก ปรากฏการณ์ดังกล่าวเรียกว่า ปรากฏการณ์ของฮอลล์ (hall effect)

จากรูปที่ 2.2 ถ้ากระแสไฟไหลผ่านสารกึ่งตัวนำจากทางซ้ายไปทางขวา และสนามแม่เหล็ก (B) มีทิศทางดังรูปแล้ว จะทำให้พาหะส่วนมากซึ่งเป็นโฮลหรืออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ด้วยความเร็วจะมากหรือน้อยขึ้นกับความเข้มของสนามไฟฟ้า ผลดังกล่าวจะทำให้เกิดแรง (F) ขึ้นในแนวตั้ง แรงที่เกิดขึ้นนี้จะไปผลักให้โฮลและอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปอยู่ใกล้ผิวของสารกึ่งตัวนำ ถ้านำโวลต์มิเตอร์ไปวัดที่ผิวของสารกึ่งตัวนำจะได้แรงดันไฟฟ้า

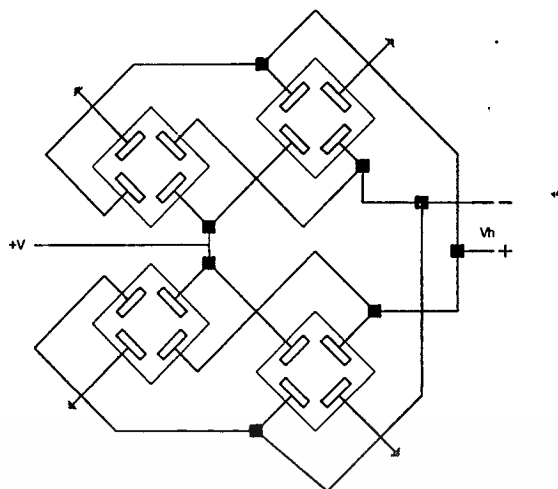
ถ้าเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด N แล้วพาหะส่วนมากคืออิเล็กตรอน ขั้วของแรงดันที่เกิดจะเป็นลบ ผิวด้านล่างจะเป็นขั้วลบ แต่ถ้าเป็นสารกึ่งตัวนำชนิด P จะมีขั้วตรงกันข้าม เนื่องจากพาหะส่วนใหญ่เป็นโฮล



รูปที่ 2.2 แสดงปรากฏการณ์ในฮอลล์

การเพิ่มความเข้มของสนามแม่เหล็ก ขึ้นอยู่กับชนิดสารกึ่งตัวนำที่ทำให้เกิดแรงดันฮอลล์ (hall voltage) รวมทั้งอุณหภูมิด้วย ความเด่นของเนื้อสาร และจำนวนกระแสเป็นตัวแปร ที่มีผลต่อความนำไฟฟ้าของพาหะส่วนมาก การเพิ่มค่าของกระแสเพื่อหวังเพิ่มแรงดันของฮอลล์จะทำให้แรงดันที่ได้ไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งเป็นสิ่งที่ เราไม่ต้องการ

ในรูปที่ 2.3 เป็นการนำฮอลล์ 4 ตัวมาต่อขนานกัน โดยวางให้ตั้งฉากกัน การนำฮอลล์มาต่อในลักษณะนี้ จะลดผลกระทบอันเนื่องมาจากความเค้นในเนื้อสาร และการวางฮอลล์ตรงข้ามกันจะลดความคลาดเคลื่อนของแรงดันไฟฟ้าด้วย



รูปที่ 2.3 แสดงการนำฮอลล์ 4 ตัว มาต่อขนานกันเพื่อลดผลกระทบเนื่องจากความเค้นในเนื้อสาร

2.2.1 ชนิดของฮอลล์

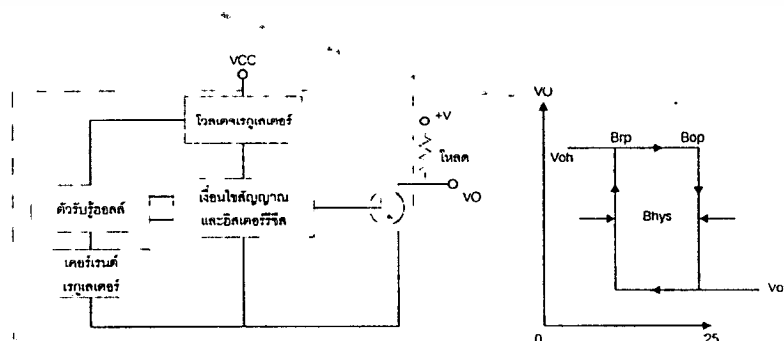
แบ่งออกเป็น 3 ชนิดคือ ชนิดเป็นสวิตช์ ชนิดเป็นตัวแลตซ์ และชนิดเป็นอุปกรณ์เชิงเส้น ชนิดสวิตช์ และชนิดแลตซ์ เป็นอุปกรณ์ทางดิจิทัลคือ จะมีเอาต์พุตเพียง 2 สถานะไม่เปิดก็ปิด ในขณะที่ฮอลล์แบบเชิงเส้นจะให้แรงดันเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงตามขนาดของสนามแม่เหล็ก เรามาดูรายละเอียดของทั้ง 3 ชนิดกัน

2.2.1.1 ฮอลล์ชนิดสวิตช์

ฮอลล์ชนิดสวิตช์ (Switch Hall Device) เป็นอุปกรณ์ที่อยู่ในสภาวะปกติจะ " ปิด " และจะ " เปิด " เมื่อได้รับสนามแม่เหล็ก รูปที่ 2.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมของฮอลล์ชนิดสวิตช์และการเปลี่ยนแปลงของ แรงดันเมื่อเปลี่ยนแปลงสนามแม่เหล็ก เมื่อสนามแม่เหล็กเพิ่มจนถึงค่า B_{RP} แล้วจะได้แรงเคลื่อน V_{OH} สภาวะเช่นนี้คือ " เปิด " เมื่อได้รับสนามแม่เหล็ก ลดลงจนถึง B_{Op} จะได้แรงดัน V_{OL} ในสภาวะเช่นนี้คือ " ปิด "

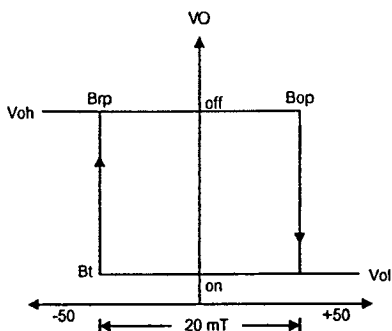
2.2.1.2 ฮอลล์ชนิดแลตซ์

ฮอลล์ชนิดแลตซ์ (Latching Hall Device) เป็นฮอลล์ที่จะเปิดเมื่อได้รับสนามแม่เหล็กบวกและจะปิดเมื่อได้รับสนามแม่เหล็กลบ ซึ่งต่างจากฮอลล์ชนิดสวิตช์ รูปที่ 2.5 เป็นการตอบสนองของฮอลล์ชนิดแลตซ์ จะเห็นว่าฮอลล์จะเปิดเมื่อได้รับ สนามแม่เหล็กเพื่อแลตซ์เป็น 20 mT และจะปิดเมื่อได้รับสนามแม่เหล็กเป็น -25 mT



รูปที่ 2.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมและกราฟแสดงผลตอบสนองของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ฮอลล์ชนิดสวิตช์ ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงการตอบสนองของแรงดันเอาต์พุตกับสนามแม่เหล็กของฮอลล์ชนิดแลตซ์

2.2.1.3 ฮอลล์ชนิดเชิงเส้น

ถ้าเราเพิ่มสนามแม่เหล็กให้แก่ฮอลล์ แล้วทำให้แรงดันที่เกิดขึ้นอย่างเชิงเส้นด้วย เราเรียกฮอลล์แบบนี้ว่าฮอลล์ชนิดเชิงเส้น (Linear Hall Device) ซึ่งจะไม่เกิดการเปิด/ปิดแบบฮอลล์ชนิดสวิตช์ คือไม่เกิดฮีสเทอรีซิส ความไวของฮอลล์ ชนิดเชิงเส้นมีประมาณ 16 mV/mT เราสามารถนำฮอลล์ชนิดเชิงเส้นมาหาขั้วของสนามแม่เหล็กได้ ถ้าเรารู้ค่าแรงดันในขณะที่สนามแม่เหล็กเป็นศูนย์ซึ่งเรียกว่า จุดอินเตอร์เซปต์ (Intercept)

หากแรงดันของฮอลล์มีค่ามากกว่าจุดอินเตอร์เซปต์แล้ว แสดงว่าขณะนั้นขั้วของสนามแม่เหล็กเป็นขั้วเหนือ แต่ถ้าแรงดันของฮอลล์น้อยกว่าจุดอินเตอร์เซปต์ แสดงว่าสนามแม่เหล็กขณะนั้นเป็นขั้วใต้

เนื่องจากฮอลล์เป็นอุปกรณ์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำ อุณหภูมิจึงมีผลต่อการทำงานของฮอลล์ ภายในไอซีจะต้องมีส่วนชดเชยอุณหภูมิ ฮอลล์ชนิดเชิงเส้นที่ติดตั้งจะมีความเที่ยงตรงขณะที่อุณหภูมิสูงขึ้นมากกว่าอุณหภูมิที่ใช้งานปกติ แรงดันที่ได้ไม่ควรผิดพลาดเกิน 5 % ของแรงดันที่อุณหภูมิปกติ

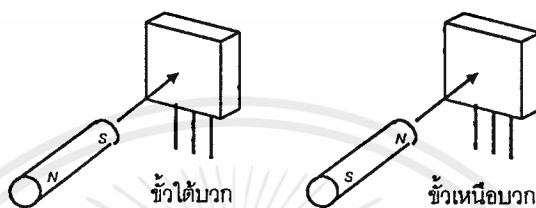
2.2.1.4 ประโยชน์ของฮอลล์

ฮอลล์เป็นอุปกรณ์ที่มีข้อดีมากมายที่เหนือกว่าอุปกรณ์ที่เป็นตัวรับรู้ตัวอื่นๆ เช่น ตัวตรวจจับทางแสง (Opto detector) รีเลย์ สวิตช์ไฟฟ้า และอีกมากมายซึ่งอุปกรณ์เหล่านี้ จะมีขีดจำกัดหลายอย่างเมื่อนำไปใช้งาน เช่น เมื่อใช้สวิตช์จะเกิดการสปาร์คที่หน้าสัมผัส ทำให้สวิตช์ชำรุดได้ง่าย แต่ฮอลล์ไม่มีการสัมผัสของโลหะจึงไม่เกิดการเสียหายขึ้น ไม่ต้องมีการบำรุงรักษา ฮอลล์สามารถใช้งานได้ยาวนานกว่าตัวตรวจจับทางแสงในสภาวะแวดล้อมที่เลวร้าย เช่น มีฝุ่นมาก ความชื้นสูง ใมน้ำ หรือที่มีไอน้ำ เราไม่สามารถใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่เป็นกลไกได้ รวมทั้งตัวตรวจจับทางแสงหรือรีเลย์ได้ เนื่องจากเราไม่สามารถป้องกันอุปกรณ์เหล่านี้จากสภาพที่เลวร้ายได้นั่นเอง แต่เราสามารถเลือกใช้ฮอลล์แทนได้ เนื่องจากทั้งฝุ่น ความชื้น น้ำ หรือไอน้ำสิ่งเหล่านี้ไม่มีผลต่อสนามแม่เหล็ก

2.2.1.5 การเลือกใช้ฮอลล์

เป็นเรื่องที่สำคัญที่ต้องทราบเกี่ยวกับการใช้อุปกรณ์รับรู้สนามแม่เหล็กซึ่งถูกกำหนดโดยผู้ผลิต โดยจะมีศัพท์อยู่ 2 คำ คือ " into " และ " out to " เป็นตัวบอกให้เราทราบถึงส่วนของฮอลล์ที่ต้องหันเข้ารับสนามแม่เหล็ก

ถ้าเรานำแท่งแม่เหล็กมาวางตั้งฉากกับตัวฮอลล์ โดยหันขั้วเหนือของแท่งแม่เหล็กเข้าหาฮอลล์ เส้นแรงแม่เหล็กจะพุ่งออกจากขั้วเหนือและมันจะพุ่งเข้าหาฮอลล์ ลักษณะเช่นนี้เรียกว่า " into " แต่ในทางตรงกันข้ามคือหันขั้วใต้เข้าหาฮอลล์ เรียกว่า " out of " แสดงดังรูปที่ 2.6 ดังนั้นในการใช้งานเราต้องทราบคุณลักษณะของฮอลล์ด้วย



รูปที่ 2.6 แสดงขั้วของฮอลล์

2.3 สนามแม่เหล็กโลก (The Earth Field)

มีการวัดทั้งหมด 4 หน่วย เพื่อแสดงถึงค่าสนามแม่เหล็กคือ เกาส์, เทสลา, แมกเวลต่อตารางเซนติเมตร (Maxwell/cm²) และ เวเบอร์ต่อตารางเมตร (Weber/metre²) โดยที่

$$1 \text{ เกาส์} = 1 \text{ แมกเวลต่อตารางเซนติเมตร} \quad (2.3)$$

$$1 \text{ เทสลา} = 10000 \text{ เกาส์} = 1 \text{ เวเบอร์ต่อตารางเมตร} \quad (2.4)$$

$$1 \text{ มิลลิเทสลา} = 10 \text{ เกาส์} \quad (2.5)$$

ค่าความแรงของสนามแม่เหล็กโลกสามารถหาได้โดยใช้ข้อมูลจากหนังสือชื่อ Open University book Understanding the Earth ซึ่งมันจะเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 2.5×10^{-5} ถึง 7.5×10^{-5} Wb.m²

แสดงค่าในหน่วยเดียวกันกับที่ใช้ในฮอลล์เซนเซอร์ช่วงสนามมีค่าตั้งแต่ 0.025 mT ถึง 0.07 mT หรือ 0.25 mG ถึง 0.7mG โดยที่ตัว TL173C มีค่าเซนซิวิตีคือ 15 V/T ซึ่งเท่ากับ 1.5 mV/G ค่า 0.5 mG เปลี่ยนแปลงระหว่าง -0.25 mG ถึง 0.25 mG (จากทิศใต้ไปทิศเหนือ) เมื่อไม่มีการขยายจะมีแรงดันของเซนเซอร์เปลี่ยนไป 0.00075 mV (1.5 mVx0.5mG)

2.4 วงจรขยายชนิดดิฟเฟอเรนเชียลอินสตรูเมนเตชัน

2.4.1 พื้นฐานของวงจรดิฟเฟอเรนเชียล

วงจรดิฟเฟอเรนเชียลนี้จะนำมาใช้ในการตรวจวัดก็ได้ หรือจะนำมาใช้สัญญาณขนาดเล็กก็ได้ โดยสัญญาณขนาดเล็กนี้หมายถึงสัญญาณแรงดันที่มีขนาดน้อยกว่า 10 มิลลิโวลต์ลงไป

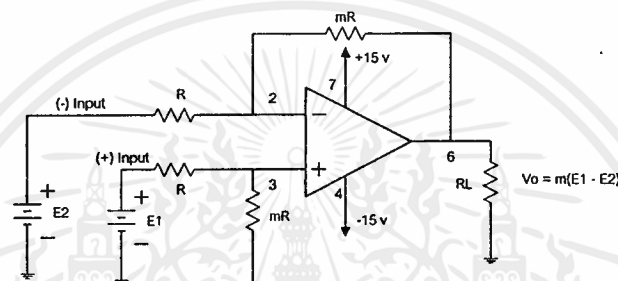
ในรูปที่ 2.7 ตัวต้านทานที่มีความคลาดเคลื่อนน้อยมาก(1 เปอร์เซ็นต์) ต่อเข้ากับออปแอมป์เพื่อทำเป็นวงจรดิฟเฟอเรนเชียลหรือวงจรขยายค่าแตกต่างกัน ถ้า E₁ ถูกแทนด้วยการลัดวงจร วงจรจะเป็นวงจรขยายชนิดอินเวอร์ตซึ่งจะทำให้อัตราขยายเท่ากับ -m เท่าของแรงดัน E₂ หรือ -mE₂ แต่ในกรณีที่ E₂ ถูกแทนด้วยการลัดวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำเอกสารนี้ไปเผยแพร่หรือใช้ประโยชน์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ได้ หากท่านมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดัน E_1 จะถูกแบ่งโดย R และ mR จนเหลือเพียง $E_1/(1+m)$ ที่ขาบวกของออปแอมป์ เมื่อมองวงจรเป็นวงจรรขยายแบบนอนอินเวอร์ตติ้ง เราจะได้ค่าขยายเท่ากับ $(m+1)$ เท่าของแรงดัน E_1 หรือประมาณเท่ากับ mE_1 ดังนั้นถ้าทั้ง E_1 และ E_2 ปรากฏอยู่ที่ขาทั้งสองของออปแอมป์ ค่าแรงดันเอาต์พุตจะเท่ากับ $V_o = m E_1 - m E_2$ หรือเป็นดังสมการที่ 2.6

$$V_o = m E_1 - m E_2 = m (E_1 - E_2) \quad (2.6)$$

จากสมการที่ 2.6 นี้ทำให้สรุปได้ว่า แรงดันเอาต์พุตสำหรับวงจรดิฟเฟอเรนเชียล หรือ V_o จะเป็นค่าแรงดันแตกต่างที่ป้อนเข้าสู่ที่ขาบวกและลบของออปแอมป์คูณกับค่าของอัตราขยาย (differential gain) ซึ่งถูกกำหนดโดยตัวต้านทาน

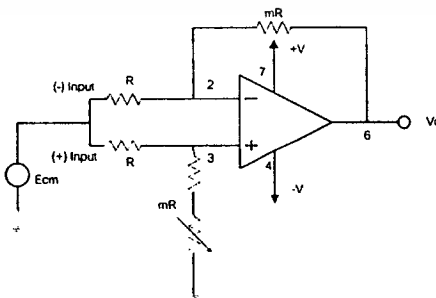


รูปที่ 2.7 แสดงพื้นฐานของวงจรดิฟเฟอเรนเชียล

จากสมการที่ 2.6 เราจะพบได้ว่าเมื่อแรงดันอินพุตทั้งสองมีค่าเท่ากัน จะทำให้แรงดันดิฟเฟอเรนเชียลหรือแรงดันค่าแตกต่างนี้มีค่าเป็นศูนย์เหมือนกัน

2.4.2 แรงดันแบบคอมมอนโหมด

แรงดันเอาต์พุตของออปแอมป์ควรจะเป็น 0 โวลต์เมื่อ $E_1 = E_2$ วิธีการที่จะทำให้แรงดันอินพุตทั้งสองมีค่าเท่ากันได้ง่ายที่สุดคือ การรวบปลายอินพุตทั้งสองเข้าด้วยกัน ดังรูปที่ 2.8 โดยแรงดันอินพุตนี้ เราจะเรียกว่า E_{CM} หรือแรงดันอินพุตแบบคอมมอนโหมด (common-mode input voltage)



รูปที่ 2.8 อัตราขยายแรงดันแบบคอมมอนโหมดควรจะเป็นศูนย์เสมอ

ดังนั้นแรงดัน V_o ควรจะมีค่าเป็นศูนย์ถ้าอัตราส่วนระหว่างตัวต้านทานเท่ากัน (ระหว่างอัตราขยายชนิดอินเวอร์ตติ้งที่มาจากค่า mR และ R กับเน็ตเวิร์กการแบ่งแรงดันที่เกิดจากค่า mR และ R) ซึ่งผลดังกล่าว ทำให้เกิด

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

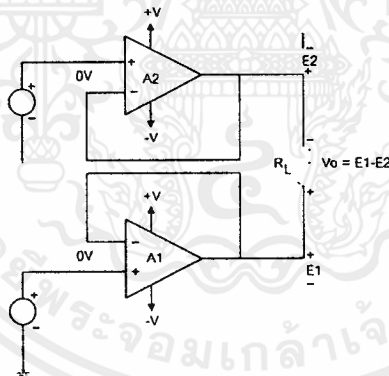
อัตราขยายแรงดันแบบคอมมอนโหมด หรือ V_o/E_{CM} (common-mode voltage gain) ที่มีค่าเท่ากับศูนย์ หนึ่งในการปฏิบัติเพื่อที่จะให้ค่าที่ถูกต้อง สัดส่วนของตัวต้านทานสองชุดนี้ควรจะเท่ากัน ซึ่งเรายากที่จะทราบค่าที่แท้จริงได้ ดังนั้นเราจึงใช้ตัวต้านทานที่สามารถปรับค่าได้หนึ่งตัว ณ ตำแหน่ง mR เพื่อใช้ในการปรับค่าจนกว่าจะได้ค่า V_o เท่ากับศูนย์โวลต์ ซึ่งตรงนี้เป็นคุณสมบัติของวงจรรขยายดิฟเฟอเรนเชียลที่ดีที่ถูกต้อง ซึ่งจะทำให้สามารถตรวจจับผลการแตกต่างของสัญญาณแรงดันที่มีค่าน้อยๆ หน่วยเป็นมิลลิโวลต์ได้

2.4.3 การพัฒนาวงจรรขยายดิฟเฟอเรนเชียลทั่วไปให้ดีขึ้น

2.4.3.1 เพิ่มตัวต้านทานด้านอินพุท

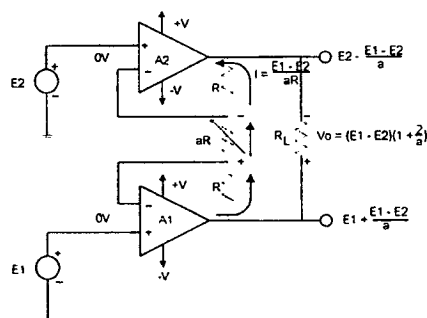
มีข้อเสียอยู่สองประการของวงจรรขยายดิฟเฟอเรนเชียลทั่วไปที่เราได้ศึกษามาก่อนหน้านี้แล้วว่ามันมีความต้านทานอินพุทที่ต่ำ และการปรับเปลี่ยนอัตราขยายก็เป็นไปโดยยาก ทั้งนี้เพราะอัตราส่วนของตัวต้านทานทั้งด้านขาอินพุทและขาเอาต์พุทของออปแอมป์จะต้องมีสัดส่วนที่เท่ากันให้มากที่สุด .

สำหรับวิธีแก้ปัญหาในกรณีแรก เราสามารถแก้ไขได้โดย การใส่บัฟเฟอร์เข้าที่อินพุทของวงจร (วงจรรบัฟเฟอร์หรือวงจรตามแรงดัน จะเป็นวงจรที่มีความต้านทานอินพุทสูงมาก) โดยวงจรถูกกล่าว จะประกอบด้วยออปแอมป์ 2 ตัวดังรูปที่ 2.9 (ก) เอาท์พุทของออปแอมป์ A_1 จะมีค่าเป็น E_1 และ เอาท์พุทของออปแอมป์ A_2 จะมีค่าเป็น E_2 เมื่อเทียบกับกราวด์ สำหรับแรงดัน V_o ที่ตกคร่อม R_L จะเป็นแรงดันที่เกิดจากความแตกต่างระหว่าง E_1 และ E_2 ซึ่งเป็นแรงดันที่เราต้องการนั่นเอง



(ก) วงจรรขยายที่ให้เอาท์พุทเป็น แรงดันดิฟเฟอเรนเชียล

โดยด้านหน้าของวงจร หรือที่เป็นอินพุทของวงจรรบัฟเฟอร์



(ข) การดัดแปลงวงจรในรูป (ก) ให้สามารถปรับค่าอัตราขยายได้

รูปที่ 2.9 การพัฒนาวงจรรขยายดิฟเฟอเรนเชียลทั่วไปให้ดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุป การที่จะเปลี่ยนอัตราขยายของวงจรนี้ได้ จะทำได้โดยการปรับค่าของตัวต้านทาน aR นั้นเอง อย่างไรก็ตาม วงจรนี้ยังมีข้อเสียอยู่ประการหนึ่ง ก็คือวงจรบัฟเฟอร์ จะใช้ได้ดีกับโหลดลอยเหนือกราวด์ (floating load) เท่านั้น ถ้าต้องการออกแบบวงจรให้มีโหลดเอาต์พุต เป็นตัวต้านทานถูกต้องเข้ากับกราวด์หรือ ที่เรียกว่า grounded load วงจรนี้จะต้องมีการเพิ่มวงจรอินเวอร์ตติ้งแอมป์เข้าไปอีกชั้นหนึ่งซึ่งเราเรียกว่า วงจรขยายเพื่อการเป็นเครื่องตรวจวัด (instrumentation amplifier)

2.4.4 วงจรขยายอินสตรูเมนเตชัน

2.4.4.1 การทำงานของวงจร

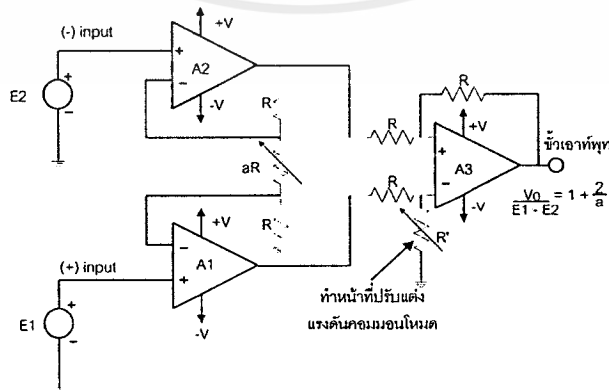
เราสามารถนำออปแอมป์ 3 ตัวมาต่อกันเป็นวงจรขยายอินสตรูเมนเตชันแอมป์ชนิดนี้ก็ได้ดังรูปที่ 2.10 การออกแบบตัววงจรจะเป็นการออกแบบเพิ่มเติมจากวงจรในรูปที่ 2.9(ข) โดยนำวงจรในรูปที่ 2.7 มาต่อเพิ่ม ข้อสังเกตที่สำคัญคือ ก่อนที่จะมีการนำวงจรในส่วนที่เป็นรูปที่ 2.9(ข) มาต่อเข้ากับวงจรในรูปที่ 2.7 ซึ่งมีอัตราขยายเท่ากับ 1 เท่า เราควรจะมีการปรับค่าวงจรในรูปที่ 2.7 ที่แรงดันคอมมอน สำหรับสมการที่เราอาจจะนำมาเขียนใหม่ให้สะดวกขึ้นดังนี้

$$\frac{V_o}{E_1 - E_2} = 1 + \frac{2}{a} \quad (2.7)$$

เมื่อ $a = aR/R$

และเมื่อ E_1 ถูกป้อนเข้าที่ขาบวกของออปแอมป์ ในขณะที่ E_2 ป้อนเข้าที่ขาลบ เราจะได้คุณสมบัติโดยย่อของวงจรขยายอินสตรูเมนเตชันดังนี้

1. อัตราขยายแรงดันซึ่งจะนำมาคูณกับค่า $E_1 - E_2$ จะกำหนดโดยตัวต้านทานเพียงตัวหนึ่ง
2. ความต้านทานทางด้านอินพุตจะมีค่าสูงมาก และไม่เปลี่ยนแปลงตามอัตราขยาย ในขณะที่ออปแอมป์ธรรมดาทั่วไป จะมีการเปลี่ยนแปลงในกรณีเสมอ
3. V_o ไม่ขึ้นอยู่กับแรงดันคอมมอนที่มาจากทั้ง E_1 และ E_2 เลย แต่จะเป็นผลที่เกิดขึ้นกับค่าของแรงดันแตกต่าง หรือแรงดันดิฟเฟอเรนเชียลเท่านั้น



รูปที่ 2.10 วงจรขยายอินสตรูเมนเตชัน

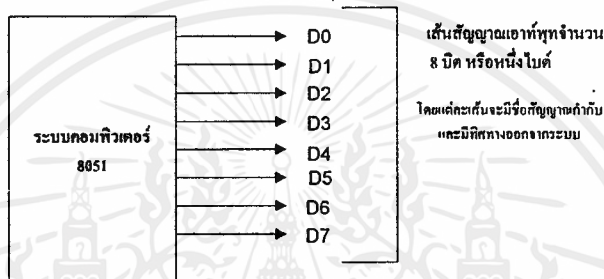
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีคนนำไปใช้

2.5 ไมโครโปรเซสเซอร์ 8051

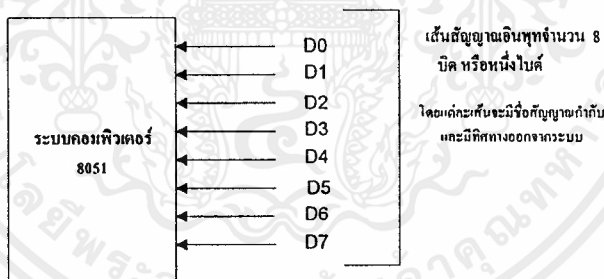
2.5.1 พอร์ตอินพุตและเอาต์พุต

พอร์ต มีความหมายถึงแอดเดรสหนึ่งที่ได้รับกำหนดไว้เพื่อการโอนย้ายข้อมูลระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์ภายนอก การกำหนดประเภทของการติดต่อขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของข้อมูล เมื่อพิจารณาจากไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นหลัก (ดูรูปที่ 2.11) ดังนั้น การนำเข้าสู่ข้อมูลจากวงจรมานอกจึงเรียกว่า การอินพุต (Input) และในกรณีตรงกันข้ามเพื่อส่งออกข้อมูลก็จะเรียกว่า การเอาต์พุต (Output)

เมื่อพิจารณาถึงวิธีการส่งข้อมูลภายในพอร์ตก็จะสามารถแยกประเภทของพอร์ตออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ พอร์ตแบบขนาน (Parallel port) ซึ่งทำการส่งจำนวนบิตข้อมูลทั้งหมดออกมา หรือนำเข้าไปพร้อมกันในคราวเดียว และ พอร์ตอนุกรม (Serial port) ซึ่งทำการโอนย้ายข้อมูลคราวละบิต ๆ จนครบจำนวน



รูปที่ 2.11 (a) แผนภาพแสดงการส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ตเอาต์พุตซึ่งเป็นเส้นสัญญาณจำนวน 8 เส้นสำหรับส่งข้อมูลจากระบบออกไปให้กับอุปกรณ์ภายนอก



รูปที่ 2.11 (b) แผนภาพแสดงการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกเข้ามาพอร์อินพุตของระบบ ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นสัญญาณจำนวน 8 เส้น

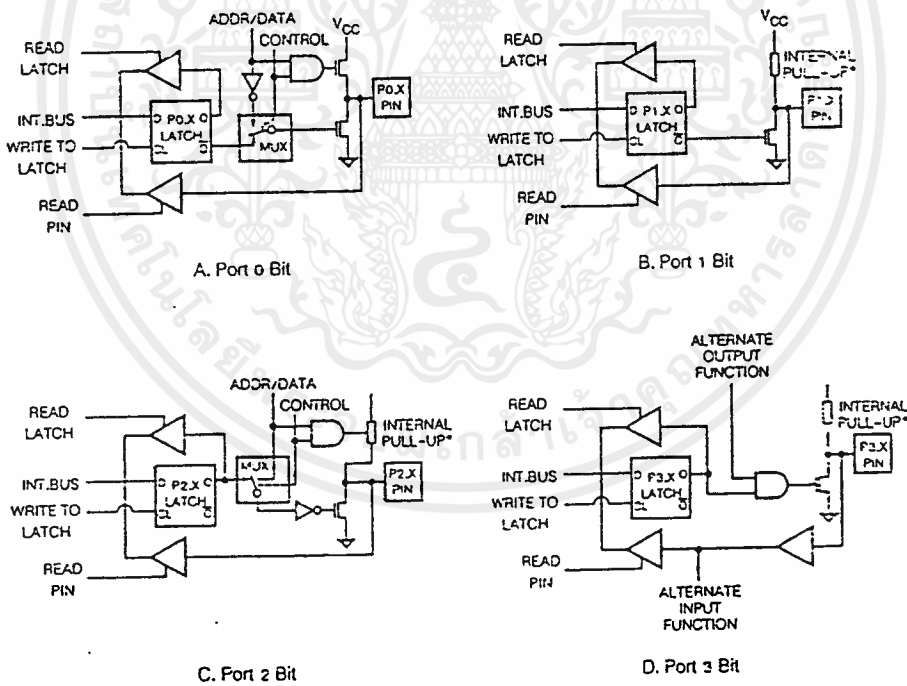
2.5.2 พอร์ตแบบขนานของ 8051

8051 มีโครงสร้างของพอร์ตที่สามารถใช้งานแบบขนานได้จำนวนทั้งหมดสี่พอร์ต เรียกชื่อเรียงตามลำดับว่า พอร์ต 0, 1, 2 และ 3 และเป็นพอร์ตขนาด 8 บิตทั้งหมด การใช้งานพอร์ตสามารถทำได้ทั้งในลักษณะของเส้นสัญญาณเดี่ยว ๆ หรือกลุ่มของสัญญาณได้ นอกจากนี้พอร์ต 0, 2 และ 3 ยังสามารถนำไปใช้ในงานอื่น ๆ ที่ไม่ใช่เป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุตได้ โดยพอร์ต 0 จะทำหน้าที่มัลติเพล็กซ์ ระหว่างบัสแอดเดรสไบต์ต่ำ และบัสข้อมูลสำหรับการติดต่อกับวงจรมารวมกับข้อมูลบัสแอดเดรสไบต์สูงซึ่งจะส่งออกมาทางพอร์ต 2 สำหรับพอร์ต 3 นั้น นอกเหนือไปจากความสามารถเช่นพอร์ตปกติแล้ว สามารถนำไปเป็นขาสัญญาณของการอินเทอร์รัปต์ต่าง ๆ ซึ่งรวมทั้งการสร้างสัญญาณควบคุม RD และ WR เพื่อทำหน้าที่อ่านหรือเขียนหน่วยความจำข้อมูล

ภายนอกด้วย การใช้งานพอร์ทลักษณะงานแบบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่เป็นพอร์ทแบบอินพุท/เอาต์พุทนี้จะดำเนินการโดย 8051 เองโดยอัตโนมัติ

2.5.3 โครงสร้างการทำงานของพอร์ท 8051

จากลักษณะโครงสร้างของแต่ละบิตภายในพอร์ททั้งหมดของ 8051 ซึ่งได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.12 นั้น จะเห็นว่ามีความคล้ายคลึงกันตามลักษณะโครงสร้างที่เรียกว่า Quasi-bidirectional port ยกเว้นพอร์ท 0 ซึ่งเพียงแต่ไม่มีตัวต้านทานทำหน้าที่ Pull-up สัญญาณไว้ภายในเท่านั้น วงจรประกอบอื่นภายในยังมีฟลิปฟลอปแบบ D ซึ่งมีผลทำให้พอร์ทสามารถแลตช์หรือค้างสภาวะของสัญญาณได้ นอกจากนี้ในส่วนของเอาต์พุทของฟลิปฟลอปเฉพาะของพอร์ท 0 และพอร์ท 2 จะมีโครงสร้างที่ทำหน้าที่คล้ายกับสวิตช์เพิ่มเติมขึ้น เพื่อควบคุมให้เอาต์พุทนี้ต่อเข้ากับส่วนของทรานซิสเตอร์ในระหว่างที่ไม่ได้มีการทำงานในลักษณะของบัสดาเดเรสหรือบัสข้อมูลด้วย สำหรับบัพเฟอร์จำนวนสองตัวของทุกบิตในพอร์ทนั้นมีการทำงานแยกกันโดยอิสระ โดยตัวที่อยู่ทางด้านบนจะยอมให้สัญญาณผ่านได้ก็ต่อเมื่อมีการอ่านค่าข้อมูลที่ค้างไว้ ส่วนอีกตัวหนึ่งซึ่งอยู่ทางด้านล่างจะถูกใช้งานเฉพาะเมื่อได้มีการอ่านสถานะของขาสัญญาณเท่านั้น



รูปที่ 2.12 โครงสร้างของแต่ละบิตภายในพอร์ทอินพุท/เอาต์พุทของ 8051

2.5.4 การใช้งานพอร์ทเป็นการอินพุท

การใช้งานพอร์ทเป็นการอินพุทข้อมูลจะต้องเริ่มด้วยการส่งข้อมูลที่มีค่าเป็น 1 ออกมาทางบิตของพอร์ทนั้นก่อนเป็นลำดับแรก เพื่อยุติการทำงานของทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ขับสัญญาณเอาต์พุทของบิตนั้น ทำให้ขาเอกสารเป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณของบิตถูกต่อเข้ากับตัวต้านทานซึ่งทำหน้าที่ Pull-up ภายใน ซึ่งมีผลให้บิตนั้น ๆ ของพอร์ท 1,2 และ 3 เป็นสถานะของลอจิกสูง ตัวต้านทานนี้มีค่าประมาณ 50 K โอห์ม ซึ่งเป็นค่าที่สูงมาก และทำให้อุปกรณ์ภายนอกสามารถขับสัญญาณของพอร์ทเหล่านี้เป็นลอจิกต่ำได้ง่าย สำหรับบิตของพอร์ท 0 นั้น แม้ว่าจะมีหลักการการทำงานที่คล้ายคลึงกันกับบิตของพอร์ทอื่น ๆ แต่เนื่องจากการที่ไม่มีตัวต้านทานทำหน้าที่ Pull-up ภายในไว้ ทำให้เมื่อทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ขับสัญญาณเอาต์พุตนั้นหยุดการทำงาน ก็จะเป็นผลให้ขาสัญญาณนี้อยู่ในสถานะอิมพีแดนซ์สูงแทน

2.5.5 การใช้งานพอร์ทเป็นการเอาต์พุต

เมื่อมีการส่งข้อมูลที่มีค่าเป็น 0 ให้กับแต่ละบิตของพอร์ททุกพอร์ท ข้อมูลนี้จะถูกส่งให้กับฟลิปฟลอป ซึ่งจะค้างค่านี้อยู่ และมีผลทำให้ทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ขับสัญญาณเอาต์พุตนั้นทำงาน ดังนั้นขาสัญญาณก็จะมีสถานะลอจิกเป็นลอจิกต่ำด้วย

ส่วนการส่งข้อมูลที่มีค่าเป็น 1 ออกมานั้น ในกรณีที่เป็นการทำงานในแต่ละบิตของพอร์ท 1 2 หรือ 3 จะทำให้ทรานซิสเตอร์ที่ทำหน้าที่ขับสัญญาณเอาต์พุตนั้นหยุดการทำงาน มีผลทำให้ขาของสัญญาณเป็นลอจิกสูงด้วยตัวต้านทานที่ Pull-up อยู่ภายในนั้น แต่สำหรับการทำงานในแต่ละบิตทางพอร์ท 0 นั้น จะมีผลที่แตกต่างออกไป โดยขาสัญญาณจะเป็นสถานะอิมพีแดนซ์สูงแทน เนื่องจากไม่มีตัวต้านทานภายในเชื่อมต่ออยู่นั่นเอง ดังนั้นในการใช้งานพอร์ท 0 เป็นการเอาต์พุตข้อมูล จึงจำเป็นต้องใช้ตัวต้านทานภายนอก Pull-up สัญญาณไว้กับลอจิกสูงแทน

ความสามารถอีกประการหนึ่งเกี่ยวกับพอร์ทอินพุต/เอาต์พุตของ 8051 เป็นวิธีการอ่านค่าลอจิกจากพอร์ทซึ่งมีได้สองวิธี คือ การอ่านค่าลอจิกที่ขาสัญญาณ (Port pin) และการอ่านค่าลอจิกของการแลตช์ที่พอร์ท (Port latch) ดังจะสังเกตได้จากรูปที่ 2.12 วิธีการอ่านค่าจากพอร์ททั้งสองแบบนี้จะช่วยให้ระบบทำงานได้ด้วยความถูกต้องมากยิ่งขึ้น ยกตัวอย่างเช่น หากว่าพอร์ทถูกนำไปต่อกับขาเบสของทรานซิสเตอร์แบบ NPN และขาอิมิตเตอร์ต่อกับกราวด์ของระบบ เมื่อมีการส่งค่า 1 ออกไปจะมีผลทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน ในขณะที่ถ้าซีพียูมีการอ่านค่าลอจิกจากขาสัญญาณของพอร์ทนี้ ก็จะได้ค่าลอจิกต่ำ เนื่องจากมองเห็นค่าศักย์ไฟฟ้าระหว่างขาเบสและขาอิมิตเตอร์ซึ่งมีค่าประมาณ 0.6 โวลต์แทน ดังนั้นในกรณีเช่นนี้หากว่าเป็นการอ่านค่าจากลอจิกของการแลตช์ ก็จะได้รับค่าระดับลอจิกสูงซึ่งเป็นค่าที่ถูกต้องตามสภาพที่เป็นจริง

2.5.6 ลักษณะสมบัติของพอร์ทอินพุต/เอาต์พุต

ดังได้กล่าวแล้วว่าพอร์ท 1,2 และ 3 ของ 8051 มีตัวต้านทาน (ซึ่งสร้างขึ้นจาก FET) ทำหน้าที่ Pull-up ขาสัญญาณไว้และมีค่าประมาณ 50 K โอห์ม ซึ่งถือว่ามีค่าที่สูงมาก เป็นผลให้การเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณลอจิกจากสูงไปต่ำทำได้อย่างรวดเร็ว แต่ในกรณีตรงข้ามจะใช้เวลาการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณนานกว่ามาก ทั้งนี้เนื่องจากว่ากระแสจะไหลผ่านตัวต้านทานนี้ได้้น้อยมาก ดังนั้นในการแก้ปัญหาจึงได้มีการออกแบบตัวต้านทานเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งตัวขนานไว้ โดยมีค่าประมาณ 1 K โอห์ม เรียกว่า Speed-up resistor ซึ่งยกให้กระแสไหล

ผ่านได้มากขึ้นประมาณ 50-100 เท่า และจะมีการเชื่อมต่อตัวด้านทานที่เพิ่มขึ้นนี้เฉพาะเมื่อมีการเปลี่ยนระดับสัญญาณจากลอจิกต่ำไปเป็นลอจิกสูงเท่านั้น โดยใช้เวลาประมาณ 2 คล็อกไซเคิล

2.5.7 คำสั่งการใช้งานพอร์ทอินพุท/เอาต์พุท

เนื่องจาก 8051 ใช้หลักการที่เรียกว่า Memory mapped system กล่าวคือ การอ้างถึงพอร์ทรีจิสเตอร์หรืออุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในระบบ จะเป็นการติดต่อกับหน่วยความจำตำแหน่งหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นในการดำเนินการเพื่อนำเข้าหรือส่งออกข้อมูลกับพอร์ท จึงใช้คำสั่งการอ่านค่าจากหน่วยความจำ ซึ่งถูกออกแบบให้เป็นตำแหน่งของพอร์ทหรือคำสั่งการเขียนค่าข้อมูลไปยังตำแหน่ง หน่วยความจำนั้นแทน ดังนั้นจะสังเกตเห็นได้ว่าในตารางชุดคำสั่งของ 8051 จะไม่มีคำสั่งที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของพอร์ทแต่ประการใด เช่นคำสั่ง IN (นำเข้าข้อมูลจากพอร์ท) หรือคำสั่ง OUT (ส่งข้อมูลออกจากพอร์ท) เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 แสดงรูปแบบการส่งข้อมูลออกทางพอร์ท

คำสั่ง	ความหมาย
MOV P0,A	นำค่าภายในรีจิสเตอร์ A ส่งออกไปยังพอร์ท 0
MOV P1,#0000101B	ส่งค่าข้อมูลออกไปยังพอร์ท 1 โดยตรง
MOV P1,#05H	ส่งค่าข้อมูลที่มีค่าเช่นเดียวกับบรรทัดที่ผ่านมาเพียงแต่กำหนดค่าข้อมูลเป็นเลขฐานสิบหก

ตารางที่ 2.2 แสดง รูปแบบการส่งข้อมูลออกทางพอร์ท

คำสั่ง	ความหมาย
MOV A,P1	อ่านข้อมูลเข้ามาพอร์ท 1 และนำไปเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ A
MOV R0,P2	อ่านข้อมูลเข้ามาจากพอร์ท 2 และนำไปเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ R0

ตารางที่ 2.3 แสดงคำสั่งที่ทำงานเกี่ยวกับบิต

คำสั่ง	ความหมาย
CLR P2.0	รีเซ็ตพอร์ท 2 บิต 0 ให้เป็นค่าศูนย์
SETB P2.0	เซตพอร์ท 2 บิต 0 ให้เป็นค่าหนึ่ง
CPL P1.2	เปลี่ยนสถานะลอจิกของพอร์ท 1 บิต 2 ให้เป็นสถานะตรงข้าม
MOV C, P1.0	อ่านค่าสถานะจากพอร์ท 1 บิต 0 และนำไปเก็บไว้ในแฟล็กทด

นอกจากนี้ 8051 ยังมีชุดคำสั่งที่จัดการข้อมูลแบบบิตได้โดยตรง (Single-bit Operation) ดังนั้นเราสามารถที่จะใช้คำสั่งเหล่านี้จัดการพอร์ทอินพุท/เอาต์พุททั้งหมดแบบเส้นสัญญาณเดียวได้ โดยการใช้คำสั่ง SETB เพื่อกำหนดค่าเป็น 1 หรือคำสั่ง CLR เพื่อทำให้บิตมีค่าเป็น 0 คำสั่งเหล่านี้มีประโยชน์มากและทำให้ลดความซับซ้อนในการใช้คำสั่งภายในโปรแกรมลงได้มาก

ตารางที่ 2.4 แสดงคำสั่งกระโดดแบบมีเงื่อนไข

คำสั่ง	ความหมาย
JB P2.0, <location>	ทดสอบการมีค่าเป็น 1 ของพอร์ท 2 บิต 0 และ กระโดดไปยังตำแหน่ง location ถ้าเงื่อนไขเป็นจริง
JNB P2.0, <location>	ทดสอบการมีค่าเป็น 0 ของพอร์ท 2 บิต 0 และ กระโดดไปยังตำแหน่ง location ถ้าเงื่อนไขเป็นจริง

การพิจารณาตรวจสอบค่าบิตของแต่ละพอร์ทอินพุท/เอาต์พุทนั้น ก็สามารถใช้ชุดคำสั่งในการทดสอบบิตของพอร์ทได้โดยตรง โดยไม่ต้องมีการย้ายค่าของพอร์ทไปยังรีจิสเตอร์ก่อนแต่ประการใด

2.5.8 ลักษณะพื้นฐานของ 8255

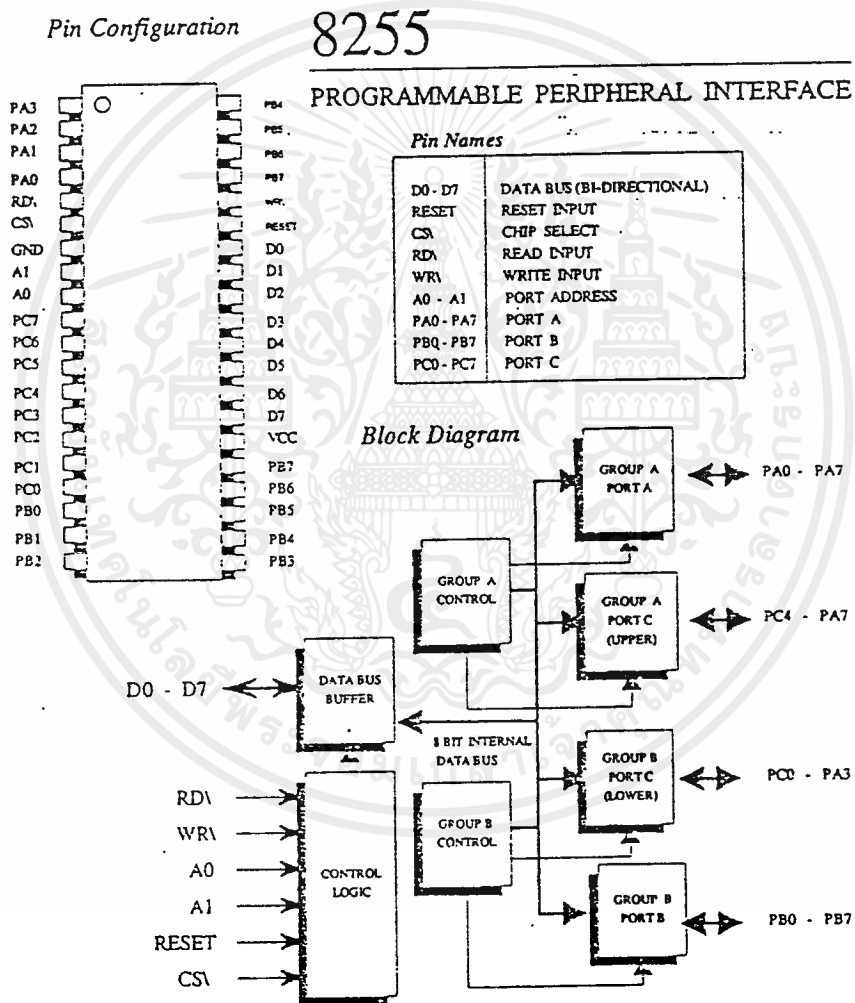
ไอซีเบอร์ 8255 ได้รับการออกแบบมาเพื่อทำหน้าที่เป็นพอร์ท สำหรับการรับ/ส่งข้อมูลแบบขนานระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ความอ่อนตัวในการนำไปใช้งานของ 8255 ได้แก่ การที่สามารถเปลี่ยนแปลงลักษณะการทำงานของพอร์ท ให้เป็นการเอาต์พุทหรืออินพุทได้สะดวก เพียงการส่งข้อมูลควบคุมจากไมโครคอนโทรลเลอร์ก่อนที่จะเริ่มต้นใช้งานเท่านั้น ความสามารถเช่นนี้ เรียกว่า Programmable คือ สามารถโปรแกรมการทำงานได้ ทำให้ได้รับความนิยมนำไปใช้งานกันอย่างแพร่หลาย

จากแผนภาพในรูปที่ 2.13 จะเห็นว่า 8255 ประกอบด้วยบล็อกของหน่วยการทำงานหลายส่วนอยู่ภายในบล็อกทางด้านขวามือจำนวน 4 บล็อก เป็นส่วนที่เชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกโดยตรงผ่านทางเส้นสัญญาณที่ระบุ ชื่อว่า PA0 - PA7, PB0 - PB7 และ PC0 - PC7 กลุ่มของสัญญาณเหล่านี้จำแนกออกเป็น 3 กลุ่มคือ พอร์ท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A (PA) พอร์ต B (PB) และพอร์ต C (PC) สำหรับบล็อกถัดเข้ามาบริเวณส่วนกลางมีชื่อว่า GROUP A CONTROL และ GROUP B CONTROL ทำหน้าที่กำหนดการทำงานของพอร์ตทั้งสาม บล็อกทั้งสองนี้เชื่อมต่อกับบล็อกอื่น ๆ ผ่านทางบัสข้อมูลภายใน 8255 เอง สำหรับบล็อกการทำงานทางด้านซ้าย ที่มีชื่อว่า Data bus buffer และ read/write control logic ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างระบบบัสของไมโครคอนโทรลเลอร์กับ 8255 เพื่อรับหรือส่งข้อมูลระหว่างกันตามระดับลอจิกของคำสั่งสัญญาณ RD_i และ WR_i ตามลำดับ



รูปที่ 2.13 แผนภาพแบบบล็อกภายในและคำสั่งสัญญาณของไอซีเบอร์ 8255

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.9 การจำแนกกลุ่มของพอร์ท 8255

ในบรรดาพอร์ททั้งสามของ 8255 คือ พอร์ท A พอร์ท B และ พอร์ท C โดยพื้นฐานนั้น ล้วนเป็นพอร์ทแบบขนานที่ประกอบด้วยสัญญาณ 8 เส้น ซึ่งแต่ละเส้นจะแทนบิตของข้อมูลพอร์ท ซึ่งอาจจะกล่าวในอีกลักษณะว่าเป็นพอร์ทแบบ 8 บิต นอกจากนี้ยังสามารถอ้างถึงแต่ละบิตของเส้นสัญญาณพอร์ทนี้ได้โดยอิสระ อย่างไรก็ตาม 8255 ได้จัดกลุ่มของพอร์ทเหล่านี้ออกเป็น 2 กลุ่ม (Group) คือ Group A และ Group B เพื่อประโยชน์ในการกำหนดรูปแบบการทำงานของพอร์ท ดังตารางต่อไปนี้

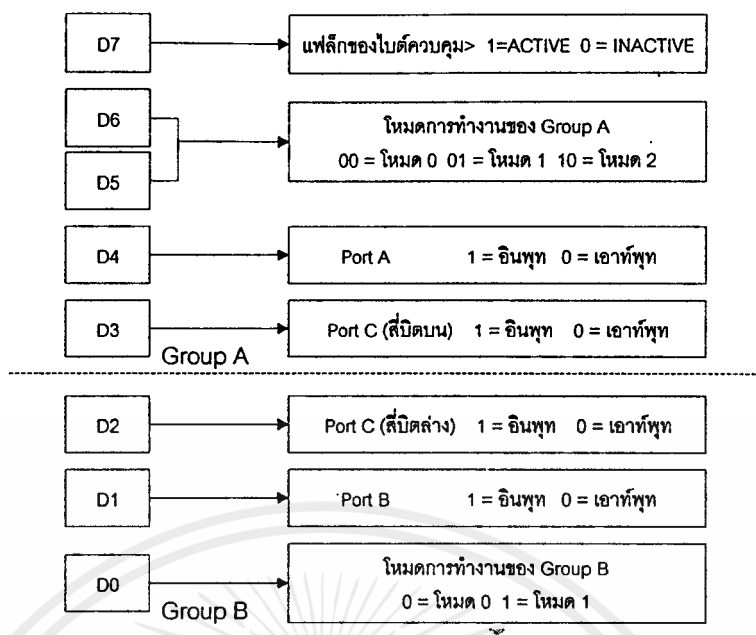
ตารางที่ 2.5 แสดงรายละเอียดกลุ่มของพอร์ท

สัญญาณ	ความหมาย
Group A	พอร์ท A จำนวน 8 บิต (ทุกบิตของพอร์ท) พอร์ท C จำนวน 4 บิต (เฉพาะ 4 บิตบนของพอร์ท)
Group B	พอร์ท B จำนวน 8 บิต (ทุกบิตของพอร์ท) พอร์ท C จำนวน 4 บิต (เฉพาะ 4 บิตล่างของพอร์ท)

จากตารางการทำงานข้างต้นจะเห็นว่า จำนวนเส้นสัญญาณทั้งหมดของพอร์ท C (PC0-PC7) ได้ถูกแยกออกเป็นกลุ่ม คือ กลุ่มของ 4 บิตล่าง (Lower nibble) จาก PC0 - PC3 และกลุ่มของ 4 บิตบน (Upper nibble) จาก PC4 - PC7 ดังนั้น Group A และ Group B ของ 8255 จึงมีจำนวนบิตในแต่ละกลุ่มเป็นจำนวนถึง 12 บิต

ตารางที่ 2.6 ตารางหน้าที่การทำงานของขาสัญญาณไอซี 8255

สัญญาณ	ความหมาย
D0 - D7	กลุ่มของสัญญาณข้อมูลของ 8255 เมื่อมีการเขียนหรืออ่าน
CS\	สัญญาณเลือกอุปกรณ์ เมื่อขาสัญญาณนี้เป็นระดับลอจิกต่ำ ซีพียูก็สามารถเขียนหรืออ่านข้อมูลจาก 8255 ได้
RD\	สัญญาณบอกสถานะต้องการอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์ของ 8255
WR\	สัญญาณบอกสถานะต้องการเขียนข้อมูลให้กับรีจิสเตอร์ของ 8255
A0 - A1	สัญญาณระบุตำแหน่งรีจิสเตอร์ภายใน 8255 ที่ต้องการ
RESET	สัญญาณการรีเซตวงจรทำงานภายใน 8255 เพื่อเริ่มต้นใหม่
PA0 - PA7	กลุ่มของสัญญาณ 8 เส้น เมื่อทำการติดต่อกับพอร์ท A ของ 8255
PB0 - PB7	กลุ่มของสัญญาณ 8 เส้น เมื่อทำการติดต่อกับพอร์ท B ของ 8255
PC0 - PC7	กลุ่มของสัญญาณ 8 เส้น เมื่อทำการติดต่อกับพอร์ท C ของ 8255



รูปที่ 2.14 ความหมายของบิตในไบต์ข้อมูลควบคุมสำหรับ 8255

2.5.10 รูปแบบคำสั่งเพื่อกำหนดการทำงานของ 8255

การกำหนดให้พอร์ททั้งสามของ 8255 ทำงานในลักษณะต่าง ๆ กันหรือที่เรียกว่า โหมดการทำงาน (Mode) จะเริ่มด้วยการส่งค่าข้อมูลไบต์หนึ่งให้กับรีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานภายใน 8255 ข้อมูลนี้จะเรียกว่า ไบต์ข้อมูลควบคุม (Control word) โดยแต่ละบิตของข้อมูลนี้จะมีความหมายที่ระบุถึงความต้องการต่าง ๆ ไปดังแสดงในรูปที่ 2.14 การส่งข้อมูลไบต์นี้จะต้องเริ่มต้นเป็นลำดับแรกก่อนที่จะได้มีการดำเนินการใดกับ 8255 ทั้งสิ้น

ตามความหมายของบิตภายในตารางของข้อมูลรูปที่ 2.15 จะเห็นว่าการเลือกให้พอร์ทใดทำหน้าที่เป็นพอร์ทอินพุตก็เพียงแต่กำหนดค่าข้อมูล 1 ให้กับบิตที่เกี่ยวข้องกับพอร์ทนั้น หรือกรณีตรงข้ามสำหรับการเอาท์พุทก็เพียงการกำหนดค่าข้อมูล 0 เท่านั้น อย่างไรก็ตามการกำหนดให้ไบต์ข้อมูลควบคุมนี้มีผลอย่างถูกต้อง ก็จะต้องทำการกำหนดให้บิต D7 มีค่าเป็น 1 เสมอ สำหรับบิตที่บอกถึงโหมดการทำงาน (บิต D6 -D5 และ D2) นี้จะได้กล่าวรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

2.5.11 การเชื่อมต่อ 8255 กับ 8051

เมื่อพิจารณาแผนภาพของ 8255 จะเห็นว่ามิชาสัญญาณแอดเดรสจำนวน 2 เส้น คือ A0 และ A1 ทำให้ตำแหน่งของแอดเดรสที่จะอ้างถึงได้มีค่าเป็น 2² หรือเท่ากับ 4 ตำแหน่ง ซึ่งแต่ละตำแหน่งจะมีความหมายถึงการระบุรีจิสเตอร์หรือพอร์ทภายใน 8255 ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.7 แสดงรหัสที่ใช้ในการเลือกพอร์ท

A	A	ชื่อของรีจิสเตอร์
1	0	
0	0	พอร์ท A
0	1	พอร์ท B
1	0	พอร์ท C
1	1	รีจิสเตอร์ควบคุม

เมื่อพิจารณาค่าของแอดเดรสเหล่านี้ร่วมกับระดับลอจิกของขาสัญญาณ RD \setminus และ WR \setminus จะเป็นการอ่านค่าหรือเขียนข้อมูลทางขาสัญญาณ D0 - D7 ให้กับรีจิสเตอร์นั้นตามลำดับ ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.8 แสดงบิตที่ใช้ในการส่งและรับของพอร์ทต่างๆ

RD \setminus	WR \setminus	A1	A0	ความหมาย
0	1	0	0	ส่งหรือเขียนข้อมูลให้กับพอร์ท A
1	0	0	0	รับหรืออ่านข้อมูลจากพอร์ท A
0	1	0	1	ส่งหรือเขียนข้อมูลให้กับพอร์ท B
1	0	0	1	รับหรืออ่านข้อมูลจากพอร์ท B
0	1	1	0	ส่งหรือเขียนข้อมูลให้กับพอร์ท C
1	0	1	0	รับหรืออ่านข้อมูลจากพอร์ท C
0	1	1	1	ส่งหรือเขียนข้อมูลให้กับรีจิสเตอร์ควบคุม
1	0	1	1	เป็นสภาวะที่ไม่ถูกต้อง

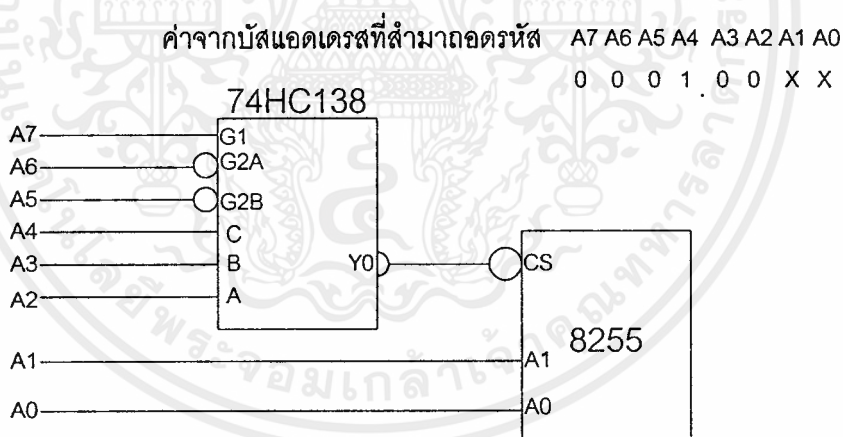
ดังนั้นโดยทั่วไปจึงมักจะกำหนดให้แอดเดรสของ 8255 ทั้งสี่ตำแหน่งนี้ อยู่ในแอดเดรสช่วงใดช่วงหนึ่งของระบบ เช่น 10h, 11h, 12h และ 13h โดยขาสัญญาณแอดเดรสที่นอกเหนือไปจาก A0 และ A1 นำมาเข้ายังตัวถอดรหัสแอดเดรส เพื่อสร้างสัญญาณเลือกอุปกรณ์ (CS) ในช่วงแอดเดรสที่ต้องการ ขอให้ดูตัวอย่างวงจรในรูปที่ 2.15 สัญญาณ CS นี้จะเป็นสภาวะลอจิกต่ำก็ต่อเมื่อค่าในบัสแอดเดรส A2 - A7 มีค่าเท่ากับ 0000100xx (ตัวอักษร xx ใช้เพื่อระบุถึงรีจิสเตอร์ภายใน 8255 เพื่อทำการอ่านหรือเขียนข้อมูล) ดังนั้นจากวงจรนี้แอดเดรสของรีจิสเตอร์ภายใน 8255 จะมีค่าตามตารางต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

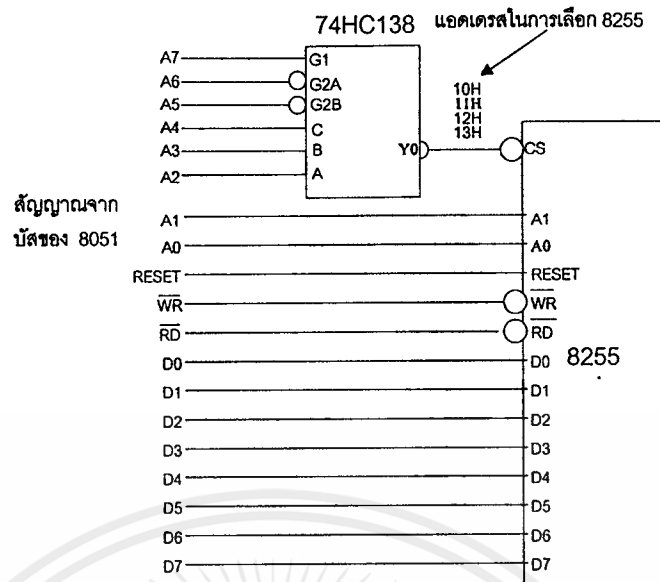
ตารางที่ 2.9 แสดงตำแหน่งแอดเดรสของพอร์ทต่างๆ

ตำแหน่งแอดเดรส	ความหมาย
10h	พอร์ท A
11h	พอร์ท B
12h	พอร์ท C
13h	รีจิสเตอร์ควบคุม

คำสั่งญาณควบคุมอื่น ๆ คือ RD $\bar{}$ และ WR $\bar{}$ มักจะเชื่อมต่อเข้ากับคำสั่งญาณชื่อเดียวกันของ 8051 ได้โดยตรง ทำให้แอดเดรสพอร์ทของ 8255 อยู่ในพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลของ 8051 สำหรับคำสั่งญาณ RESET ของ 8255 ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการรีเซ็ตหรือเริ่มสภาวะการทำงานใหม่เมื่อระดับของคำสั่งญาณเป็นลอจิกสูง ดังนั้นหากว่าจะใช้สัญญาณการรีเซ็ตเดียวกับของ 8051 เพื่อที่จะรีเซ็ต 8255 ด้วยก็จะสามารถทำได้โดยตรง



รูปที่ 2.15 แผนภาพแสดงการสร้างสัญญาณเลือกอุปกรณ์ (CS) ให้กับ 8255 โดยการถอดรหัสจากบัสแอดเดรส A2-A7



รูปที่ 2.16 แผนภาพวงจรแสดงการเชื่อมต่อระหว่าง 8255 กับ 8051

ส่วนขาสัญญาณ D0 - D7 ก็สามารถนำไปเชื่อมต่อโดยตรงเข้ากับบัสของ 8051 ได้เช่นกัน ขอให้ดูวงจรทำงานแสดงการเชื่อมต่อระหว่าง 8255 และ 8051 ในรูปที่ 2.16 ซึ่งในที่นี้สมมติว่าไม่จำเป็นต้องมีการใช้วงจรถูกหรือไอซีบัฟเฟอร์รับสัญญาณบัสข้อมูล

2.5.12 การทำงานโหมด 0 ของ 8255

เมื่อ 8255 ได้รับการกำหนดให้ทำงานในโหมดนี้ จะทำให้พอร์ตต่าง ๆ มีหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุทหรือเอาต์พุทได้เพียงลักษณะเดียวเท่านั้น การเริ่มต้นจะทำได้โดยการส่งไบต์ข้อมูลควบคุมให้กับรีจิสเตอร์ควบคุม (ขอให้ดูความหมายของบิต จากรูปที่ 2.15 ประกอบ) ต่อไปจะได้แสดงให้เห็นถึงรูปแบบการกำหนดบิต เมื่อต้องการให้พอร์ต A, B และ C ทำหน้าที่เป็นพอร์ตเอาต์พุททั้งหมด ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.10 แสดงข้อมูลที่ใช้ในการทำงานโหมด 0

ตำแหน่งบิต	ค่าข้อมูล	ความหมาย
D7	1	ระบุให้ทราบว่าเป็นไบต์ข้อมูลควบคุม
D6 และ D5	00	กำหนดโหมดการทำงานให้กับพอร์ต A เป็นโหมด 0
D4	0	ระบุว่าพอร์ต A เป็นการเอาต์พุทข้อมูล
D3	0	กำหนดให้เส้นสัญญาณสี่บิตบนของพอร์ต C เป็นการเอาต์พุท ข้อมูล
		กำหนดโหมดการทำงานให้กับพอร์ต B เป็นโหมด 0
D0	0	ระบุว่าพอร์ต B เป็นการเอาต์พุทข้อมูล
D1	0	กำหนดให้เส้นสัญญาณสี่บิตล่างของพอร์ต C เป็นการเอาต์พุท ข้อมูล
D2	0	ระบุว่าพอร์ต C เป็นการเอาต์พุทข้อมูล

ค่าของไบต์ข้อมูลควบคุมนี้จะต้องส่ง (หรือ เขียน) ให้กับรีจิสเตอร์ควบคุม ซึ่งหากใช้วงจรตามรูปที่ 2.16 จะเป็นแอดเดรส 13h และสามารถแสดงคำสั่งได้ดังนี้

```
MOV DPTR,#4003H ; SET THE CONTROL REGISTER ADDRESS
```

```
MOVX @DPTR,#80H ; OUTPUT THE CONTROL WORD TO 8255
```

จากตัวอย่างข้างต้น เนื่องจากแอดเดรสมีค่าไม่เกิน 256 (0FFh) จึงสามารถอ้างถึงตำแหน่งแอดเดรสของรีจิสเตอร์ ควบคุมของ 8255 ผ่านทางรีจิสเตอร์ควบคุมของ 8255 ผ่านทางรีจิสเตอร์ R0 ได้ แต่ในบางกรณีค่าของแอดเดรสนี้อยู่ในช่วงที่มีค่าเกินกว่านี้ เช่น แอดเดรส 4000h ถึง 4003h ก็จะต้องใช้การอ้างถึงโดยอ้อมผ่านทางรีจิสเตอร์ DPTR แทนดังนี้

```
MOV DPTR,#4003H ; SET THE CONTROL REGISTER ADDRESS
```

```
MOVX @DPTR,#80H ; OUTPUT THE CONTROL WORD TO 8255
```

ภายหลังจาก 8255 ได้รับการโปรแกรมจากค่าของไบต์ข้อมูลควบคุมนี้แล้ว ก็จะสามารถใช้งานพอร์ททั้งหมดในฐานพอร์ทเอาต์พุตเพื่อส่งออกข้อมูลได้ตามต้องการ ตัวอย่างเช่น หากต้องการส่งข้อมูลค่า 23h ออกไปทางพอร์ท A ค่าข้อมูล 41h ออกไปทางพอร์ท B ค่าข้อมูล 73h ออกไปทางพอร์ท C จะมีรูปแบบคำสั่งดังนี้

```
MOV R0,#10H ; SET UP PORT A ADDRESS
```

```
MOV @R0,#23H ; OUTPUT DATA TO 8255
```

```
MOV R0,#11H ; SET UP PORT B ADDRESS
```

```
MOV @R0,#41H ; OUTPUT DATA TO 8255
```

```
MOV R0,#12H ; SET UP PORT C ADDRESS
```

```
MOV @R0,#73H ; OUTPUT DATA TO 8255
```

กรณีต่อไป หากว่าต้องการให้พอร์ทของ 8255 มีทั้งพอร์ทอินพุตและเอาต์พุต ตัวอย่างเช่น ต้องการให้พอร์ท A และ C เป็นพอร์ทเอาต์พุต สำหรับพอร์ท B เป็นพอร์ทอินพุต ตามแผนภาพในรูปที่ 2.18 ค่าของไบต์ข้อมูลควบคุมก็จะเป็นดังนี้

ตารางที่ 2.11 แสดงบิตเพื่อแสดงว่าพอร์ท A และพอร์ท C เป็นพอร์ทเอาต์พุต และพอร์ท B เป็นพอร์ทอินพุต

ตำแหน่งบิต	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
ค่าของบิต	1	0	0	0	0	0	1	0

ตัวอย่างคำสั่งเพื่อการอ่านค่าข้อมูล,เข้ามาทางพอร์ท B

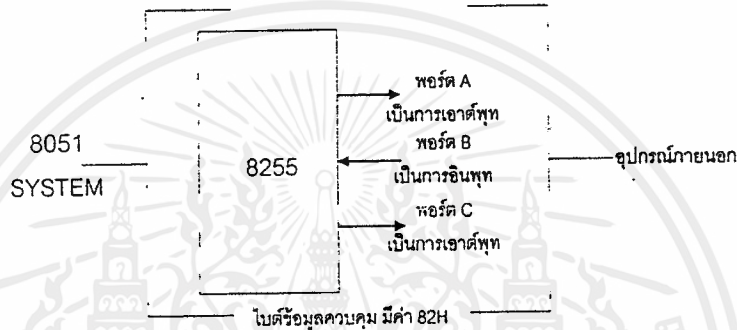
```
MOV R0,#11H ; SET UP PORT B ADDRESS
```

```
MOV A,#R0 ; READ DATA FROM PORT B
```

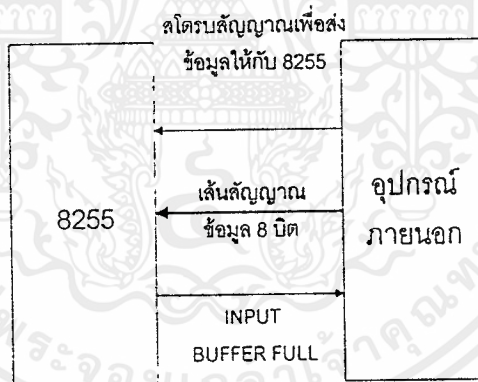
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.13 การทำงานโหมด 1 ของ 8255

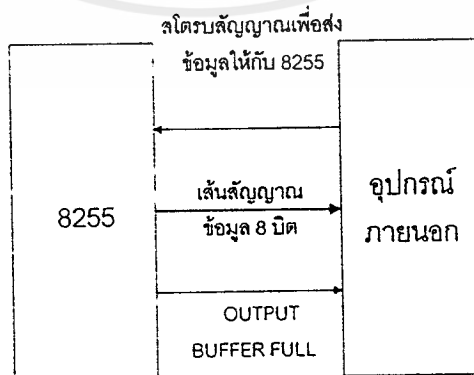
เมื่อ 8255 ได้รับการกำหนดให้ทำงานในโหมด 1 จะมีผลทำให้พอร์ท A และพอร์ท B ยังสามารถใช้งานเป็นการอินพุตหรือเอาต์พุตข้อมูลในลักษณะเดียวกับโหมด 0 ที่ผ่านมา เพียงแต่พอร์ท C จะถูกนำไปใช้เป็นพอร์ทสำหรับการบอกสถานะการติดต่อ (Handshake Signals) เท่านั้น โดยเส้นสัญญาณสี่บิตบน (PC7 - PC4) จะใช้งานร่วมกับการติดต่อข้อมูลทางพอร์ท A และเส้นสัญญาณสี่บิตล่าง (PC3 - PC0) จะใช้งานร่วมกับการติดต่อข้อมูลทางพอร์ท B การทำงานในลักษณะเช่นนี้จะพบเห็นได้เสมอ เมื่อมีการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งมักจะทำงานได้ช้ากว่าไมโครคอนโทรลเลอร์มาก จึงจำเป็นต้องอาศัยการบอกสถานะของการทำงานจากเส้นสัญญาณเหล่านี้ เช่น ความไม่พร้อมในการรับข้อมูล หรือมีข้อมูลที่จะทำการติดต่อ เป็นต้น



รูปที่ 2.17 แผนภาพบล็อกแสดงลักษณะการทำงานของพอร์ท 8255 ภายหลังจากการส่งไบตข้อมูลควบคุมที่มีค่า 82h



รูปที่ 2.18 (a) แผนภาพการใช้สัญญาณบอกสถานะความพร้อมในการติดต่อระหว่าง 8255 กับอุปกรณ์ภายนอก



รูปที่ 2.18 (b) แผนภาพการใช้สัญญาณบอกสถานะความพร้อมในการติดต่อระหว่าง 8255 กับอุปกรณ์ภายนอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.18 (a) ข้อมูลจะถูกส่งออกจากอุปกรณ์ภายนอกเข้ามายังพอร์ทของ 8255 แต่ก่อนที่จะทำการส่งข้อมูลนั้น อุปกรณ์ภายนอกต้องทำการตรวจสอบสถานะของเส้นสัญญาณที่แสดงว่า พื้นที่ในการรับข้อมูลของ 8255 (หรือที่เรียกว่า Input buffer) นั้นว่าง ตามรูปเส้นสัญญาณนี้มีชื่อว่า Input buffer full ซึ่งใช้ในความหมายต่อไปนี้

ตารางที่ 2.12 แสดงสถานะของอินพุทบัฟเฟอร์

ค่าลอจิกสัญญาณ	ความหมาย
Input Buffer Full	
จริง	ข้อมูลที่ส่งให้กับ 8255 ก่อนหน้านี้ยังกังอยู่ในบัฟเฟอร์ เนื่องจากซีพียู 8051 ยังไม่ได้อ่านข้อมูลนี้ไปจากบัฟเฟอร์ของ 8255 ดังนั้นจึงไม่สามารถรับข้อมูลเข้ามาได้อีก
เท็จ	พื้นที่บัฟเฟอร์ภายใน 8255 นั้นว่างแล้ว เนื่องจากซีพียู 8051 ได้อ่านข้อมูลนี้ไปเสร็จสิ้นแล้ว ดังนั้นจึงสามารถรับข้อมูลไปติดต่อไปจากอุปกรณ์ภายนอกได้

จากรูปที่ 2.18 (b) ข้อมูลจะถูกส่งออกจาก 8255 ไปให้กับอุปกรณ์ภายนอก แต่ก่อนที่ 8255 จะส่งข้อมูลออกไปนั้น จะต้องทำการส่งสถานะของสัญญาณออกไปเพื่อแจ้งให้อุปกรณ์ภายนอกทราบว่า มีข้อมูลที่ทำการส่งออกไป สัญญาณนี้มีชื่อว่า Output buffer full และเมื่ออุปกรณ์ภายนอกได้รับข้อมูลเรียบร้อยแล้ว จึงจะทำการสไตรปสัญญาณอีกเส้นหนึ่งเพื่อแจ้งให้ 8255 ทราบต่อไป

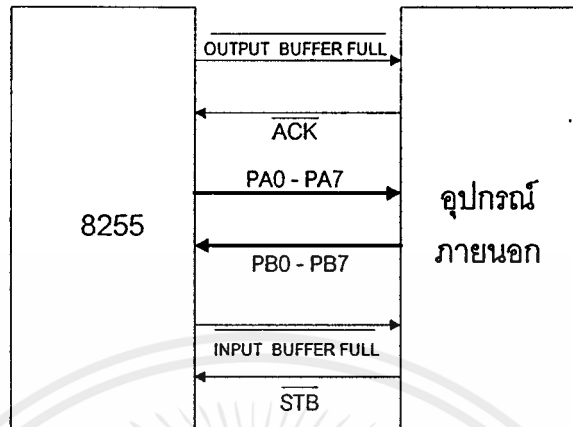
การทำงานของ 8255 ในโหมด 1 นั้น พอร์ทสำหรับการรับหรือส่งข้อมูล คือพอร์ท A และ B สามารถทำงานได้โดยอิสระไม่ขึ้นต่อกัน ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.20 ซึ่งได้กำหนดให้พอร์ท A เป็นพอร์ทเอาต์พุต และพอร์ท B เป็นพอร์ทอินพุต ค่าของไบต์ข้อมูลควบคุมจะเป็นดังนี้

ตารางที่ 2.13 แสดงการทำงานในโหมด 1

ตำแหน่งบิต	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
ค่าของบิต	1	0	1	0	0	1	1	0

การกำหนดบิตข้างต้นนี้จะทำให้ข้อมูลจะต้องส่งออกไปทางพอร์ท A ทางขาสัญญาณ PA0 - PA7 สัญญาณ Output buffer full (OBF) ใช้เส้นสัญญาณ PC7 สัญญาณตอบรับจากอุปกรณ์ ภายนอก (ACK) ใช้เส้นสัญญาณ PC6 สำหรับการรับข้อมูลเข้ามาจากอุปกรณ์ภายนอกจะเข้ามาทางพอร์ท B ทางขาสัญญาณ PB0 - PB7 ขาสัญญาณ PC1 ใช้เป็นสัญญาณ Input buffer full (IBF) และ ขาสัญญาณ PC2 เป็น เส้นสัญญาณ

สโตร์ข้อมูลให้กับ 8255 (STB) ในรูปที่ 2.19 ได้แสดงให้เห็นถึงหน้าที่ของพอร์ท C ทั้งหมดเมื่อถูกใช้งานในโหมด 1 สำหรับการบอกสถานะการติดต่อเส้นสัญญาณ



รูปที่ 2.19 การกำหนดการทำงานของ 8255 ในโหมด 1 เพื่อให้พอร์ท A เป็นพอร์ทสำหรับการส่งออกข้อมูล และพอร์ท B เป็นพอร์ทสำหรับการรับเข้าข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอก

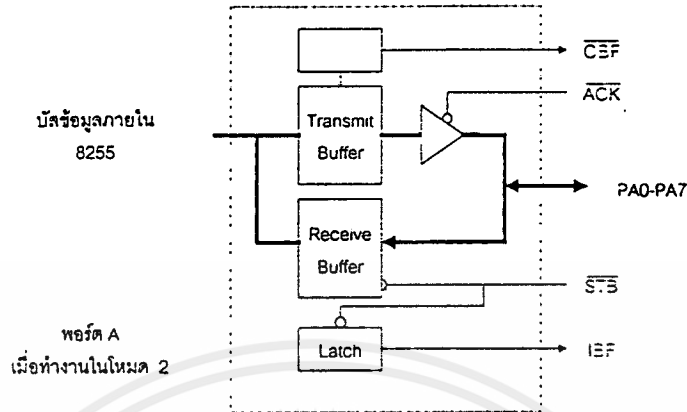
ตารางที่ 2.14 หน้าที่ของเส้นสัญญาณภายในพอร์ท C เมื่อกำหนดให้ทำงานในโหมด 1 เพื่อบอกสถานะของการอินพุตและ การเอาท์พุทข้อมูล

เส้นสัญญาณ	สถานะติดต่อสำหรับการอินพุต	สถานะติดต่อสำหรับการเอาท์พุท
PC0	สัญญาณ INTR ของพอร์ท B	สัญญาณ INTR ของพอร์ท B
PC1	สัญญาณ IBF ของพอร์ท B	สัญญาณ OBF\ ของพอร์ท B
PC2	สัญญาณ STB\ ของพอร์ท B	สัญญาณ ACK\ ของพอร์ท B
PC3	สัญญาณ INTR ของพอร์ท A	สัญญาณ INTR ของพอร์ท A
PC4	สัญญาณ STB\ ของพอร์ท A	การอินพุต/เอาท์พุทตามปกติ
PC5	สัญญาณ IBF ของพอร์ท A	การอินพุต/เอาท์พุทตามปกติ
PC6	การอินพุต/เอาท์พุทตามปกติ	สัญญาณ ACK\ ของพอร์ท A
PC7	การอินพุต/เอาท์พุทตามปกติ	สัญญาณ OBF\ ของพอร์ท A

2.5.14 การทำงานโหมด 2 ของ 8255

เมื่อ 8255 ได้รับการกำหนดให้ทำงานในโหมด 2 ซึ่งกำหนดไว้ให้ใช้เฉพาะกับการทำงานของพอร์ท A เท่านั้น โดยจะมีลักษณะเป็นพอร์ทข้อมูลแบบสองทิศทาง (Bi-directional data port) กล่าวคือข้อมูลภายในเส้นสัญญาณของพอร์ท A ทั้งหมดสามารถเป็นข้อมูลที่มาจากการอินพุตหรือเอาท์พุทก็ได้ ขอให้พิจารณาแผนภาพในเอกสารรูปที่ 2.20 จะเห็นว่าเส้นสัญญาณ PA0 - PA7 จะถูกเชื่อมต่อเข้ากับบล็อกของวงจรแลตซ์ทั้งหมด โดยแลตซ์ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับข้อมูลส่งออก (Output latch) มีหน้าที่สำหรับการค้างค่าข้อมูลที่ 8051 ทำการเขียนมายังพอร์ท A และรอคอยให้อุปกรณ์ภายนอกมาอ่านข้อมูลนี้ไปจาก 8255 ส่วนแลตช์สำหรับข้อมูลรับเข้า (Input latch) ทำหน้าที่สำหรับเก็บข้อมูลที่อุปกรณ์ภายนอกส่งมาให้กับพอร์ท A



รูปที่ 2.20 แผนภาพแสดงลักษณะการทำงานของ 8255 เมื่อได้รับการกำหนดให้ทำงานในโหมด 2

ลำดับเหตุการณ์เมื่อ 8051 ต้องการจะส่งข้อมูลออกไปให้อุปกรณ์ภายนอก จะเริ่มโดยการส่งข้อมูลออกมาทางพอร์ท A ของ 8255 เช่นปกติ ซึ่งมีผลทำให้ขาสัญญาณ OBF_A เปลี่ยนไปเป็นระดับลอจิกต่ำ เมื่ออุปกรณ์ภายนอกตรวจสอบสัญญาณนี้ก็จะทราบได้ว่าขณะนี้ข้อมูลที่จะต้องอ่านไปจาก 8255 สัญญาณนี้ยังสามารถใช้ในการแจ้งซีพียู 8051 ได้เช่นเดียวกัน (โดยการอ่านและตรวจสอบค่าบิต D7 ของพอร์ท C) ว่าบัพเฟอร์ของ 8255 พร้อมทั้งจะรับข้อมูลใหม่เข้าไปหรือไม่ เมื่ออุปกรณ์ภายนอกได้อ่านข้อมูลจากบัพเฟอร์นี้แล้ว ก็จะต้องทำการสไตรบสัญญาณ ACK ซึ่งจะมีผลทำให้ขาสัญญาณ OBF_A ของ 8255 เปลี่ยนกลับไปเป็นระดับลอจิกสูงอีกครั้งหนึ่ง

ส่วนการอ่านค่าข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกก็เป็นไปในลักษณะที่คล้ายกัน โดยก่อนที่อุปกรณ์จะส่งข้อมูลเข้ามาให้กับ 8255 จะต้องตรวจสอบสถานะของขาสัญญาณ IBF นี้เสียก่อน หากว่าเป็นระดับลอจิกต่ำจึงจะสามารถส่งข้อมูลออกมาได้ พร้อมกับทำการสไตรบสัญญาณ STB_A มาแจ้งให้ 8255 ได้รับทราบ ซึ่งจะมีผลทำให้ขาสัญญาณ IBF เป็นระดับลอจิกสูงโดยอัตโนมัติ ดังนั้น 8051 ก็จะรับทราบได้ว่ามีข้อมูลมาจากอุปกรณ์ภายนอก (โดยการอ่านค่าและพิจารณาค่า บิต D5 ของพอร์ท C) และภายหลังจากที่ได้มีการอ่านค่าไปจากพอร์ท A ของ 8255 แล้ว ก็จะทำให้สถานะขาสัญญาณ IBF เปลี่ยนไปเป็นระดับลอจิกต่ำเช่นเดิม

ตามแผนภาพตารางในรูปที่ 2.15 แสดงให้เห็นถึงหน้าที่ของบิตต่าง ๆ ในพอร์ท C เมื่อได้รับการกำหนดให้ทำงานในโหมด 2 ซึ่งนำมาใช้เป็นบิตบอกสถานะการติดต่อระหว่าง 8255 กับอุปกรณ์ภายนอกตามลักษณะที่ได้กล่าวมาข้างต้นทั้งหมดนั่นเอง

ตารางที่ 2.15 หน้าที่ของบิตภายในพอร์ท C เมื่อกำหนดให้ทำงานในโหมด 2 เพื่อบอก
สถานะของเส้นสัญญาณการติดต่อทางพอร์ท A

เส้นสัญญาณ	ลักษณะการทำงาน
PC0	การอินพุท/เอาต์พุทข้อมูลตามปกติ
PC1	การอินพุท/เอาต์พุทข้อมูลตามปกติ
PC2	การอินพุท/เอาต์พุทข้อมูลตามปกติ
PC3	สัญญาณ INTR ของพอร์ท A
PC4	สัญญาณ STB\ ของพอร์ท A
PC5	สัญญาณ IBF ของพอร์ท A
PC6	สัญญาณ ACK\ ของพอร์ท A
PC7	สัญญาณ OBF\ ของพอร์ท A

2.5.15 รูปแบบการอ้างตำแหน่งแอดเดรสของ 8051

การอ้างตำแหน่งแอดเดรส (Address modes) เป็นวิธีการที่ไม่โครคอนโทรลเลอร์จะสามารถระบุตำแหน่งของข้อมูลที่จะดำเนินการ เมื่อมีการใช้ชุดคำสั่งต่าง ๆ ได้ (โอเปอร์เรนด์ต้นทางและปลายทาง) ลักษณะการอ้างแอดเดรสของ 8051 มีทั้งหมด 5 ลักษณะ คือ

1. การอ้างแอดเดรสจากค่าตำแหน่งทันที (Immediate Addressing)
2. การอ้างแอดเดรสจากรีจิสเตอร์ (Register Addressing)
3. การอ้างแอดเดรสจากหน่วยความจำโดยตรง (Direct Addressing)
4. การอ้างแอดเดรสโดยอ้อมผ่านรีจิสเตอร์ (Register-inderect Addressing)
5. การอ้างแอดเดรสโดยอ้อมผ่านค่าฐานภายในรีจิสเตอร์ร่วมกับค่าดัชนีในอีกรีจิสเตอร์ (Base-register Plus Index register Addressing)

2.5.15.1 การอ้างแอดเดรสจากค่าตำแหน่งทันที (Immediate Addressing)

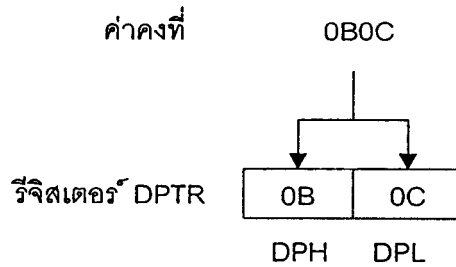
การอ้างแอดเดรสด้วยวิธีการนี้เป็นลักษณะพื้นฐานที่สุด ซึ่งบางครั้งการใช้คำสั่งที่มีการอ้างแอดเดรสแบบนี้ อาจเรียกว่าเป็น คำสั่งที่อ้างอิงกับหน่วยความจำ (Memory Reference Instruction) โดยโอเปอร์เรนด์ที่ใช้กับชุดคำสั่งอาจจะเป็นตัวเลขหนึ่งหรือสองไบต์ เพื่อบอกค่าที่จะไปนำค่ามาเก็บไว้ในรีจิสเตอร์อย่างชัดเจน โดย 8051 มีการกำหนดไว้ว่าจะต้องมีเครื่องหมาย # (pound sign) นำหน้าค่าตัวเลขของโอเปอร์เรนด์ต้นทาง

ตัวอย่างคำสั่ง

```
MOV DPTR,#0B0CH
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นการบอกว่าข้อมูลต้นทางที่จะนำมาเก็บไว้ภายในรีจิสเตอร์ DPTR เป็นค่าข้อมูล 0B0CH โดยสามารถแสดงเป็นแผนภาพได้ดังนี้



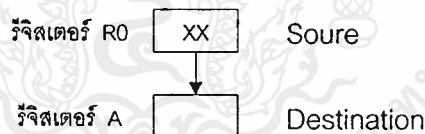
2.5.15.2 การอ้างแอดเดรสจากรีจิสเตอร์ (Register Addressing)

เป็นการอ้างตำแหน่งของข้อมูลที่จะดำเนินการมาจากรีจิสเตอร์ ดังนั้นจึงมีการใช้ชื่อของรีจิสเตอร์ ในส่วนของโอเปอเรนด์ต้นทางหรือปลายทางของข้อมูล อย่างไรก็ตามรีจิสเตอร์ที่จะสามารถใช้กับการอ้างแอดเดรสลักษณะนี้จะมีเฉพาะรีจิสเตอร์ A รีจิสเตอร์ DPTR และรีจิสเตอร์ R0 - R7 สำหรับรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษอื่น ๆ จะต้องใช้วิธีการอ้างแอดเดรสแบบอื่น คือ การอ้างแอดเดรสจากหน่วยความจำโดยตรงเท่านั้น

ตัวอย่างคำสั่ง

MOV A,R0

เป็นการบอกว่าข้อมูลต้นที่จะนำมาเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ R0 มาเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ A โดยสามารถแสดงเป็นแผนภาพได้ดังนี้



2.5.15.3 การอ้างแอดเดรสจากหน่วยความจำโดยตรง (Direct Addressing)

เป็นการอ้างตำแหน่งของข้อมูลที่จะดำเนินการ โดยให้หมายเลขตำแหน่งแอดเดรสของหน่วยความจำมา โดยชัดเจน และกำหนดด้วยว่าจะต้องเป็นเฉพาะหน่วยความจำข้อมูลภายใน 8051 เท่านั้น (ซึ่งรวมถึงบริเวณรีจิสเตอร์ใช้งานพิเศษ (SFR) ด้วย) ทำให้ค่าตัวเลขของแอดเดรสที่ใช้ในการเขียนโอเปอเรนด์ของชุดคำสั่งเป็นได้เพียงขนาดหนึ่งไบต์

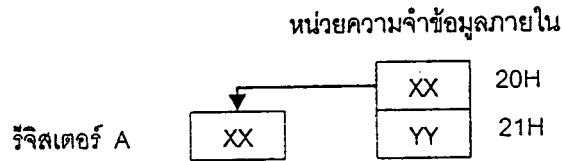
แอดเดรสของหน่วยความจำข้อมูลภายใน 8051 มีค่าได้ตั้งแต่ 00H - 7FH และค่าแอดเดรสหน่วยความจำที่เป็นของรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษอยู่ในช่วงตั้งแต่ 80H - FFH

ตัวอย่างคำสั่ง

MOV A,20H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นการบอกถึงตำแหน่งแอดเดรสที่จะไปนำข้อมูลต้นทางมา ซึ่งเป็นแอดเดรส 20H ของหน่วยความจำข้อมูลภายใน 8051 มาเก็บไว้ยังรีจิสเตอร์ A โดยสามารถแสดงเป็นแผนภาพได้ดังนี้



ตารางที่ 2.16 หน้าที่ของบิตภายในพอร์ท C เมื่อกำหนดให้ทำงานในโหมด 2 เพื่อบอกสถานะของเส้นสัญญาณการติดต่อทางพอร์ท A

ชื่อรีจิสเตอร์	คำจำกัดความ	ความสามารถในอ้างอิงแบบบิต
ACC	ACCUMULATOR	ได้
B	REGISTER B	ได้
PSW	PROGRAM STATUS WORD	ได้
SP	STACK POINTER	ได้
DPTR	DATA POINTER(DPH & DPL)	ได้
P0	PORT 0	ได้
P1	PORT 1	ได้
P2	PORT 2	ได้
P3	PORT 3	ได้
IP	INTERRUPT PRIORITY	ได้
IE	INTERRUPT ENABLE	ได้
TMOD	TIMER / COUNTER MODE	ไม่ได้
TCON	TIMER / COUNTER CONTROL	ได้
TH0	TIMER / COUNTER 0 (HIGH)	ไม่ได้
TL0	TIMER / COUNTER 0 (LOW)	ไม่ได้
TH1	TIMER / COUNTER 1 (HIGH)	ไม่ได้
TL1	TIMER / COUNTER (LOW)	ไม่ได้
SCON	SERIAL CONTROL	ไม่ได้
SBUF	SERIAL BUFFER	ไม่ได้
PCON	POWER CONTROL	ไม่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.15.4 การอ้างแอดเดรสโดยอ้อมผ่านรีจิสเตอร์ (Register-indirect Addressing)

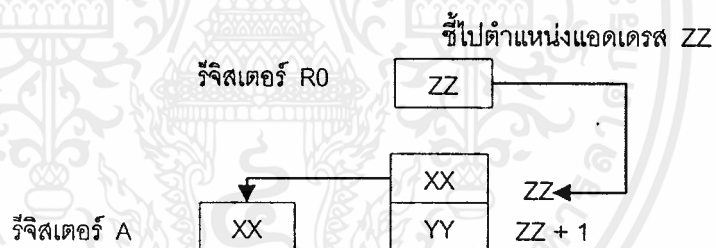
การอ้างแอดเดรสโดยวิธีการนี้ เป็นการนำค่าแอดเดรสของตำแหน่งหน่วยความจำที่ต้องการจัดเก็บไว้ภายในรีจิสเตอร์ ดังนั้นเมื่อมีความต้องการที่จะติดต่อกับหน่วยความจำก็เพียงแต่ใช้ค่าที่เก็บอยู่ในรีจิสเตอร์เท่านั้น การอ้างแอดเดรสในลักษณะเช่นนี้อาจเรียกได้ว่า รีจิสเตอร์ ทำหน้าที่เป็นพอยน์เตอร์ (Pointer) หรือตัวชี้ ไปยังแอดเดรสของหน่วยความจำ

รีจิสเตอร์ของ 8051 ที่สามารถใช้การอ้างแอดเดรสด้วยแบบนี้ได้จะเป็นรีจิสเตอร์ R0 หรือ R1 ซึ่งเป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต ทำให้ตำแหน่งของหน่วยความจำที่ใช้เป็นเพียงค่าตั้งแต่ 0 - FFH แต่หากจะต้องการอ้างถึงหน่วยความจำได้ในขอบเขตที่มากกว่านี้ ก็จะต้องใช้รีจิสเตอร์ DPTR ซึ่งเป็นรีจิสเตอร์ขนาด 16 บิตแทน นอกจากนี้แล้วการใช้ รีจิสเตอร์เพื่อทำงานลักษณะนี้จะต้องนำหน้าชื่อของรีจิสเตอร์ด้วยเครื่องหมาย @ (อ่านว่า at sign)

ตัวอย่างคำสั่ง

```
MOV A,@R0
```

เป็นการบอกถึงตำแหน่งแอดเดรสที่จะไปนำข้อมูลต้นทางมา โดยใช้ค่าที่เก็บอยู่ภายในรีจิสเตอร์ R0 เป็นแอดเดรสต้นทางของหน่วยความจำมาเก็บไว้ยังรีจิสเตอร์ A โดยสามารถแสดงเป็นแผนภาพได้ดังนี้



2.5.15.5 การอ้างแอดเดรสโดยอ้อมผ่านค่าฐานภายในรีจิสเตอร์ร่วมกับค่าดัชนีในอีกรีจิสเตอร์

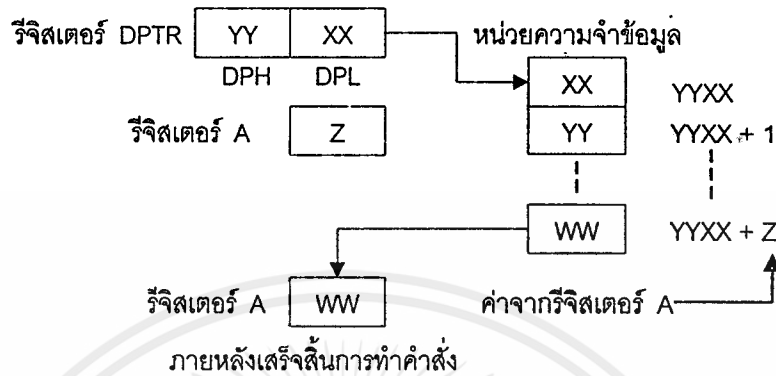
(Base-register Plus Index register Addressing)

การอ้างแอดเดรสทางอ้อมในอีกลักษณะหนึ่งของ 8051 ซึ่งใช้รีจิสเตอร์ทำหน้าที่เป็นตัวชี้ตำแหน่งของข้อมูลเช่นกัน เพียงแต่มีการใช้รีจิสเตอร์ถึงสองตัวเข้ามาช่วยในการกำหนดเป็นค่าแอดเดรสของตำแหน่งที่ต้องการ โดยรีจิสเตอร์ตัวหนึ่งจะทำหน้าที่เก็บค่าเริ่มต้นของหน่วยความจำ (Base register) ซึ่งจะต้องไปรวมกับค่าขนาด 8 บิตที่อยู่ภายในรีจิสเตอร์อีกตัวหนึ่ง (Index register) วิธีการอ้างแอดเดรสแบบนี้ จะทำให้การเขียนโปรแกรมในลักษณะที่เป็นการติดต่อข้อมูลจากโครงสร้างที่เป็นตาราง (Lookup table) ทำได้โดยสะดวกมากขึ้น

ตัวอย่างคำสั่ง

```
MOV A,@A+DPTR
```

เป็นการบอกถึงตำแหน่งแอดเดรสที่จะไปนำข้อมูลต้นทางมา โดยคำนวณจากค่า 16 บิตที่เก็บอยู่ภายในรีจิสเตอร์ DPTR บวกกับค่าที่เก็บอยู่ภายในรีจิสเตอร์ A เมื่อไปนำข้อมูลที่ตำแหน่งแอดเดรสนี้แล้วให้นำมาเก็บไว้ยังรีจิสเตอร์ A โดยสามารถแสดงเป็นแผนภาพได้ดังนี้



ตารางต่อไปนี้แสดงให้เห็นถึงข้อกำหนดของรูปแบบที่จะนำมาใช้ในการอธิบายความเกี่ยวกับชุดคำสั่งของ 8051 ภายในรายงานเล่มนี้โดยตลอด

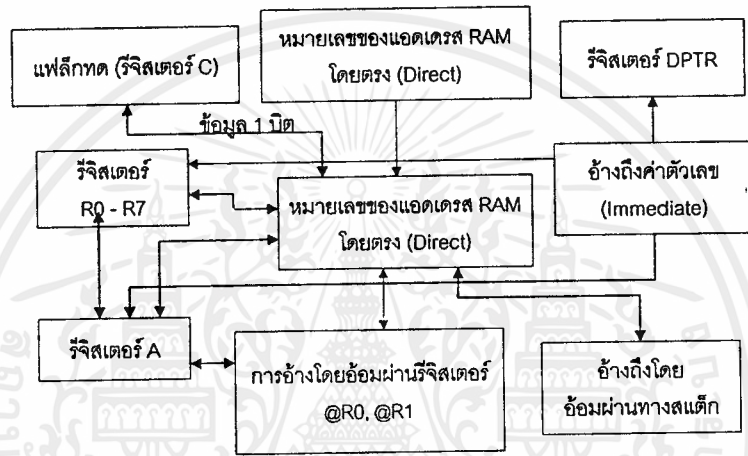
ตารางที่ 2.17 แสดงข้อกำหนดของชุดคำสั่งของ 8051

สัญลักษณ์	ความหมาย
Rn	รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7
direct	หน่วยความจำข้อมูลภายในของ 8051 ซึ่งอาจจะเป็นตำแหน่งของรีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ (SFR) หรือ หน่วยความจำปกติก็ได้
@Ri	การอ้างถึงตำแหน่งหน่วยความจำข้อมูลโดยอ้อมผ่านรีจิสเตอร์ R0 และ R1
@DPTR	การอ้างถึงหน่วยความจำข้อมูลโดยอ้อมผ่านรีจิสเตอร์ DPTR
#data	ค่าตัวเลขข้อมูลขนาด 8 บิต ซึ่งเป็นค่าได้ตั้งแต่ 00 - 0FFH
#data16	ค่าตัวเลขข้อมูลขนาด 16 บิต ซึ่งเป็นค่าได้ตั้งแต่ 00 - 0FFFFH
addr11	ค่าของแอดเดรสโดยใช้เพียง 11 บิต สำหรับคำสั่ง ACALL และ AJMP
addr16	ค่าของแอดเดรสโดยใช้เพียง 16 บิต สำหรับคำสั่ง ACALL และ AJMP
bit	ข้อมูลขนาด 1 บิต

2.5.16 การโอนย้ายข้อมูลกับหน่วยความจำข้อมูลภายใน

หน่วยความจำข้อมูลภายใน (Internal Data Memory) เป็นหน่วยความจำ RAM ที่ประกอบอยู่ภายในตัวไอซีของ 8051 เอง การโอนย้ายข้อมูลที่อยู่ในส่วนของหน่วยความจำภายในนี้สามารถใช้วิธีการอ้างแอดเดรสที่กล่าวมาได้หลายแบบ ยกเว้นการอ้างแอดเดรสโดยอ้อมผ่านค่าฐานภายในรีจิสเตอร์รวมกับค่าดัชนีในอีกรีจิสเตอร์นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สแตร์เท่านั้น เนื่องจากมีขนาดหน่วยความจำเพียง 256 ไบต์ จากแผนภาพในรูปที่ 2.23 แสดงให้เห็นถึงการทำคำสั่งในการโอนย้ายข้อมูลที่อยู่ในหน่วยความจำข้อมูลภายใน ซึ่งก็จะเป็นการดำเนินการกับข้อมูลขนาดหนึ่งไบต์ ระหว่างรีจิสเตอร์ A รีจิสเตอร์ R0-R7 รีจิสเตอร์หน้าที่พิเศษ (SFR) และหน่วยความจำ RAM เป็นที่น่าสังเกตว่าการโอนย้ายข้อมูลระหว่างหน่วยความจำ ภายในด้วยกันนั้น สามารถทำได้โดยไม่ต้องใช้รีจิสเตอร์ R0-R7 หรือรีจิสเตอร์ A เลย ส่วนข้อมูลที่โอนย้ายให้กับรีจิสเตอร์ DPTR ซึ่งเป็นรีจิสเตอร์ขนาดสองไบต์ (16 บิต) นั้น ก็ใช้ค่าตัวเลขขนาด สองไบต์ (Immediate Data) ส่งให้กับรีจิสเตอร์ได้ นอกจากนั้นแล้วยังมีการดำเนินการกับข้อมูลแบบบิตด้วย ซึ่งกระทำระหว่างแฟล็กท (Carry register) กับหน่วยความจำที่ใช้งานแบบบิตได้โดยตรง



รูปที่ 2.21 การดำเนินการโอนย้ายข้อมูลภายในหน่วยความจำข้อมูลภายใน

ตารางต่อไปนี้แสดงให้เห็นถึงรูปแบบทั่วไปแบบต่าง ๆ ของคำสั่งการโอนย้ายข้อมูลภายใน 8051 โดยพื้นฐาน

ตารางที่ 2.18 การนำข้อมูลมาเก็บไว้ยังรีจิสเตอร์ A

รูปแบบคำสั่ง	ความหมาย
MOV A,Rn	ให้นำข้อมูลจากรีจิสเตอร์ R0 - R7 มาเก็บไว้ยังรีจิสเตอร์ A
MOV A,direct	ให้นำค่าข้อมูลจากหน่วยความจำข้อมูลภายใน มาเก็บไว้ยังรีจิสเตอร์ A
MOV A,#data	ให้นำค่าข้อมูลตัวเลขมาเก็บไว้ยังรีจิสเตอร์ A

ตารางที่ 2.19 การนำข้อมูลมาเก็บไว้ยังรีจิสเตอร์ทั่วไป

รูปแบบคำสั่ง	ความหมาย
MOV Rn,A	ให้นำข้อมูลจากรีจิสเตอร์ A มาเก็บไว้ยังรีจิสเตอร์ Rn
MOV Rn,direct	ให้นำค่าข้อมูลจากหน่วยความจำข้อมูลภายใน มาเก็บไว้ยังรีจิสเตอร์ Rn
MOV Rn,#data	ให้นำค่าข้อมูลตัวเลขมาเก็บไว้ยังรีจิสเตอร์ Rn

ตารางที่ 2.20 การนำข้อมูลมาเก็บไว้ยังหน่วยความจำโดยตรง

รูปแบบคำสั่ง	ความหมาย
MOV direct,#data	ให้นำค่าตัวเลขมาเก็บไว้ยังหน่วยความจำภายใน

ตารางที่ 2.21 การอ้างแอดเดรสหน่วยความจำโดยอ้อมผ่านทางรีจิสเตอร์

รูปแบบคำสั่ง	ความหมาย
MOV A,@Rn	ให้นำค่าข้อมูลจากหน่วยความจำที่มีค่าเก็บอยู่ภายในรีจิสเตอร์ Rn มาเก็บไว้ยังรีจิสเตอร์ A
MOV @Rn,A	ให้นำค่าข้อมูลจากรีจิสเตอร์ A มาเก็บไว้ยังหน่วยความจำที่มีค่าเก็บอยู่ภายในรีจิสเตอร์ Rn

ตารางที่ 2.22 การโอนย้ายข้อมูลแบบบิต

รูปแบบคำสั่ง	ความหมาย
MOV C,bit	ให้นำข้อมูลแบบบิตจากหน่วยความจำมาเก็บไว้ยังแฟล็กท (รีจิสเตอร์ C)
MOV bit,C	ให้นำบิตข้อมูลจากแฟล็กท มาเก็บไว้ยังหน่วยความจำบริเวณที่สามารถเก็บข้อมูลแบบบิตได้

ตัวอย่างต่อไปนี้จะแสดงให้เห็นถึงการใช้คำสั่ง MOV เพื่อการโอนย้ายข้อมูล ในลักษณะของการใช้วิธี

การอ้างแอดเดรสต่าง ๆ

ตัวอย่างคำสั่ง

ความหมาย

MOV A,#0F1H

ให้นำค่าตัวเลข F1H ไปไว้ยังรีจิสเตอร์ A

เอก MOV 20H,#0AH สแกนไว้ให้นำค่าตัวเลข 0AH ไปเก็บไว้ยังหน่วยความจำภายในแอดเดรส 20H นี้ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOV DPTR,#1234H	ให้นำค่าตัวเลข 16 บิตที่มีค่า 1234H ไปไว้ยังรีจิสเตอร์ DPTR
MOV A,R0	เป็นการนำค่าข้อมูลจากรีจิสเตอร์ไปเก็บไว้ยังรีจิสเตอร์ A
MOV 40H,A	ให้นำข้อมูลจากรีจิสเตอร์ A ไปเก็บหน่วยความจำภายในแอดเดรส 40H
MOV 20H,40H	ให้นำข้อมูลจากหน่วยความจำภายในแอดเดรส 40H ไปเก็บไว้ยังหน่วยความจำภายในแอดเดรส 20 H
MOV R0,12H	ให้นำข้อมูลจากหน่วยความจำในแอดเดรส 12H ไปเก็บยังรีจิสเตอร์ R0
MOV #08H,R7	ให้นำข้อมูลจากรีจิสเตอร์ R7 มาเก็บในหน่วยความจำในแอดเดรส 08H
MOV @R1,#35H	ให้นำข้อมูลจากหน่วยความจำภายในแอดเดรส 35H มาเก็บไว้ยังแอดเดรสที่อยู่ภายในรีจิสเตอร์ R1
MOV @R1,80H	ให้นำข้อมูลจากหน่วยความจำภายในแอดเดรส 80H มาเก็บไว้ยังที่หน่วยความจำที่มีค่าแอดเดรสอยู่ในรีจิสเตอร์ R1
MOV A,@R0	ให้นำข้อมูลที่อยู่ภายในหน่วยความจำที่มีค่าแอดเดรสอยู่ในรีจิสเตอร์ R0 ไปเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ A

2.5.17 การโอนย้ายข้อมูลกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก

หน่วยความจำ RAM ที่อยู่ภายนอกตัวไอซี 8051 จะเรียกว่า หน่วยความจำข้อมูลภายนอก (External Data Memory) ซึ่งขนาดสูงสุดของหน่วยความจำประเภทนี้จะมีค่าได้สูงสุด 64 กิโลไบต์ (แอดเดรสจาก 0000-FFFFH) การโอนย้ายข้อมูลกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกของ 8051 นั้นจะใช้คำสั่ง MOVX ซึ่งหลักการคล้ายคลึงกับการใช้คำสั่ง MOV ในหัวข้อที่ผ่านมาทุกประการ (โดยตัวอักษร X มีความหมายถึง External) ดังนั้นเมื่อใช้การอ้างแอดเดรสโดยอ้อมผ่านรีจิสเตอร์ DPTR ก็จะได้ตำแหน่งของหน่วยความจำที่ครบถ้วนตามความสามารถของ 8051 นอกจากนั้นยังสามารถใช้ รีจิสเตอร์ R0 - R1 ได้เช่นกัน เพียงแต่จะอ้างถึงตำแหน่งได้ในขอบเขตที่จำกัดเพียงแอดเดรส 00-FFH เนื่องจากรีจิสเตอร์ทั้งสองตัวเป็นขนาด 8 บิตเท่านั้น ดังได้ แสดง เป็ แผนภาพใน รูป ที่ 2.22

ตารางต่อไปนี้แสดงให้เห็นถึงรูปแบบทั่วไปแบบต่าง ๆ ของคำสั่งการโอนย้ายข้อมูลกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกโดยพื้นฐาน

ตารางที่ 2.23 การนำข้อมูลมาเก็บไว้ยังหน่วยความจำโดยอ้อมผ่านทางรีจิสเตอร์

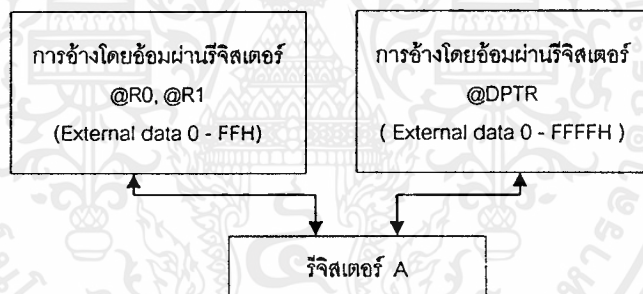
รูปแบบคำสั่ง	ความหมาย
MOVX A,@Rn	ให้นำค่าข้อมูลจากหน่วยความจำที่มีค่าเก็บอยู่ในรีจิสเตอร์ Rn มาเก็บไว้ยังรีจิสเตอร์ A
MOVX A,@DPTR	ให้นำข้อมูลจากหน่วยความจำที่มีค่าเก็บอยู่ในรีจิสเตอร์ DPTR มาเก็บไว้ยังรีจิสเตอร์ A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เฉพาะในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยวิธีใดๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOVX @Rn,A	ให้นำค่าข้อมูลจากรีจิสเตอร์ A มาเก็บไว้ยังหน่วยความจำที่มีค่าเก็บอยู่ภายในรีจิสเตอร์ Rn
MOVX @DPTR,A	ให้นำข้อมูลจากรีจิสเตอร์ A มาเก็บไว้ยังหน่วยความจำที่มีค่าเก็บอยู่ภายในรีจิสเตอร์ DPTR

ตัวอย่างคำสั่ง	ความหมาย
MOVX A,@R1	ให้นำข้อมูลจากหน่วยความจำภายนอกที่มีค่าเก็บอยู่ภายในรีจิสเตอร์ R1 มาเก็บไว้ยังรีจิสเตอร์ A
MOVX A,@DPTR	ให้นำข้อมูลจากหน่วยความจำภายนอกที่มีค่าเก็บอยู่ภายในรีจิสเตอร์ DPTR มาเก็บไว้ยังรีจิสเตอร์ A
MOVX @R0,A	ให้นำข้อมูลจากรีจิสเตอร์ A มาเก็บไว้ยังตำแหน่งของหน่วยความจำที่มีค่าเก็บอยู่ภายในรีจิสเตอร์ R0
MOVX @DPTR,A	ให้นำข้อมูลจากรีจิสเตอร์ A มาเก็บไว้ยังตำแหน่งของหน่วยความจำที่มีค่าเก็บอยู่ภายในรีจิสเตอร์ DPTR

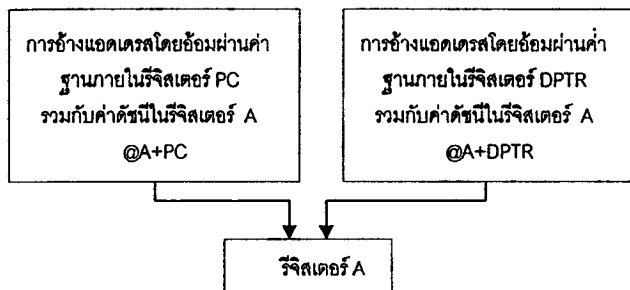


รูปที่ 2.22 การดำเนินการโอนย้ายข้อมูลภายในหน่วยความจำข้อมูลภายนอก

2.5.18 การโอนย้ายข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก

หน่วยความจำโปรแกรมของ 8051 เป็นหน่วยความจำที่สามารถอ่านข้อมูลได้อย่างเดียวเท่านั้น เช่นในลักษณะของหน่วยความจำ EPROM ดังนั้นการโอนย้ายข้อมูลจึงเป็นเฉพาะการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมแต่เพียงทางเดียวเท่านั้น การทำงานลักษณะเช่นนี้จะนำมาใช้ประโยชน์ในการเขียนโปรแกรมประเภทที่มีการอ่านข้อมูลที่กำหนดมาล่วงหน้า และไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ เช่น ตารางค่ารูปแบบของการเปลี่ยนข้อมูลรหัส ASCII ไปเป็นรูปแบบที่แสดงผลบน LED 7 เซกเมนต์ เป็นต้น

การทำงานเพื่อที่จะนำข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมนี้อาศัยคำสั่ง MOVX (โดยตัวอักษร C มีความหมายถึง Code) โดยใช้การอ้างแอดเดรสหน่วยความจำแบบโดยอ้อมผ่านค่าฐานภายในรีจิสเตอร์ PC หรือ DPTR รวมกับค่าดัชนีในรีจิสเตอร์ A ดังที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ผ่านมา เมื่อไปนำค่าจากตำแหน่งดังกล่าวมาแล้ว ก็ให้นำมาจัดเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ A อีกครั้งหนึ่ง ดังแสดงเป็นแผนภาพการทำงานในรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 การดำเนินการโอนย้ายข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรม

ตารางที่ 2.24 การนำข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมโดยอ้อมผ่านทางรีจิสเตอร์

รูปแบบคำสั่ง	ความหมาย
MOVC A,@A+DPTR	ให้นำข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมโดยพิจารณาตำแหน่งจากการบวกค่ารีจิสเตอร์ A กับค่าของรีจิสเตอร์ DPTR
MOVC A,@A+PC	ให้นำข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรม โดยพิจารณาตำแหน่งจากการบวกค่ารีจิสเตอร์ A กับค่าของรีจิสเตอร์ PC

ตัวอย่างคำสั่ง	ความหมาย
MOV DPTR,#1000H	กำหนดค่าตัวเลขเริ่มต้น 1000H ให้กับรีจิสเตอร์ DPTR
MOV A,#02H	กำหนดค่าตัวเลขเริ่มต้น 2H ให้กับรีจิสเตอร์ A
MOVC A,@A+DPTR	เป็นการนำค่าจากหน่วยความจำโปรแกรมที่แอดเดรส 1002 มาเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ A
MOVC A,@A+PC	เป็นการนำค่าจากหน่วยความจำโปรแกรมที่แอดเดรส 502AH มาเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ A (สมมติว่าค่ารีจิสเตอร์ PC เป็น 5000H และค่าในรีจิสเตอร์ A เป็น 24H)

2.6.19 การแลกเปลี่ยนข้อมูลจากหน่วยความจำ

การแลกเปลี่ยนข้อมูล (Data Exchanges) เป็นการโอนย้ายข้อมูลลักษณะหนึ่ง เพียงแต่เมื่อเสร็จสิ้นการทำคำสั่งแล้ว ข้อมูลจากตำแหน่งต้นทางจะถูกย้ายไปเก็บที่ตำแหน่งปลายทาง และข้อมูลจากตำแหน่งปลายทางจะถูกย้ายไปเก็บที่ตำแหน่งต้นทาง หรืออาจจะกล่าวโดยง่ายว่ามีการสลับข้อมูลกันระหว่างข้อมูลในตำแหน่งต้นทางและปลายทาง ดังนั้นการแลกเปลี่ยนข้อมูลกับการโอนย้ายข้อมูลจะแตกต่างกันตรงที่ เมื่อกำหนดคำสั่งโอนย้ายข้อมูลแล้ว ที่ตำแหน่งต้นทางและปลายทางจะมีข้อมูลเหมือนกันทุกประการ

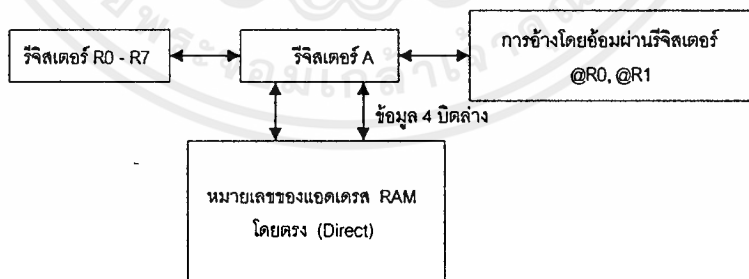
ตารางต่อไปนี้แสดงให้เห็นถึงรูปแบบโดยที่ ฐานของคำสั่งการแลกเปลี่ยนข้อมูล โดยใช้คำสั่ง XCH (ซึ่งย่อมาจากคำว่า Exchange)

ตารางที่ 2.25 การแลกเปลี่ยนข้อมูลกับหน่วยความจำและรีจิสเตอร์

รูปแบบคำสั่ง	ความหมาย
XCH A,@Rn	ให้แลกเปลี่ยนข้อมูลภายในรีจิสเตอร์ R0 - R7 กับรีจิสเตอร์ A
XCH A,@DPTR	ให้แลกเปลี่ยนข้อมูลภายในหน่วยความจำตำแหน่ง direct กับรีจิสเตอร์ A
XCH @Rn,A	ให้แลกเปลี่ยนข้อมูลภายในหน่วยความจำตำแหน่งที่มีค่าเก็บไว้ภายในรีจิสเตอร์ R0 หรือ R1 กับรีจิสเตอร์ A
XCHD @DPTR,A	ให้แลกเปลี่ยนข้อมูลภายในเฉพาะ 4 บิตล่าง ระหว่าง หน่วยความจำตำแหน่งที่มีค่าเก็บไว้ภายในรีจิสเตอร์ R0 หรือ R1 กับรีจิสเตอร์ A

ตัวอย่างคำสั่ง

ตัวอย่างคำสั่ง	ความหมาย
XCH A,R5	ให้ทำการสลับค่าข้อมูลจากรีจิสเตอร์ R5 กับรีจิสเตอร์ A
XCH A,@R1	ให้ทำการสลับค่าข้อมูลทั้งไบต์จากหน่วยความจำ RAM ที่มีค่าเก็บอยู่ภายในรีจิสเตอร์ R1 กับรีจิสเตอร์ A
XCHD A,@R0	ให้ทำการสลับค่าข้อมูลเฉพาะ 4 บิตล่างจากหน่วยความจำ RAM ที่มีค่าเก็บอยู่ภายในรีจิสเตอร์ R1 กับรีจิสเตอร์ A
XCH A,80H	ให้ทำการสลับค่าข้อมูลระหว่างตำแหน่งหน่วยความจำ RAM ภายในที่แอดเดรส 80H กับรีจิสเตอร์ A



รูปที่ 2.24 แผนภาพอย่างง่ายแสดงการดำเนินการแลกเปลี่ยนข้อมูลด้วยคำสั่ง XCH กับหน่วยความจำภายใน

2.5.20 การโอนย้ายข้อมูลกับสแต็ก

เทคนิควิธีอย่างหนึ่งที่นิยมนำมาใช้ในการจัดการข้อมูลภายในโปรแกรม คือ การใช้งานสแต็ก (Stack) ซึ่งโดยหลักการแล้วเป็นการจองพื้นที่หน่วยความจำบริเวณหนึ่งขึ้นมา และจัดจำตำแหน่ง เหล่านี้ไว้ว่า เอกสารเป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นตำแหน่งสำหรับการเก็บข้อมูล เมื่อนำข้อมูลมาเก็บไว้ยังพื้นที่สแต็ก ก็จะถูกค่าภายในตัวชี้ (Pointer) ซึ่งจะบอกว่าเป็นตำแหน่งใดที่จะนำข้อมูลไปเก็บไว้ได้ เมื่อนำข้อมูลมาเก็บไว้แล้วค่าภายในตัวชี้ก็จะเพิ่มขึ้นเพื่อเลื่อนไปยังตำแหน่งถัดไป ดังนั้นหากจะนำข้อมูลต่อไปมาจัดเก็บไว้ ก็จะเป็นตำแหน่งแอดเดรสที่อยู่ถัดไป กล่าวคือ กระดาษแผ่นที่อยู่ในลำดับล่างสุดจะเป็นแผ่นที่ถูกวางเป็นแผ่นแรก กระดาษแผ่นต่อ ๆ ไปก็จะวางอยู่เหนือกระดาษแผ่นแรกถัดขึ้นไป และจะเป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนถึงที่สุด เมื่อต้องการกระดาษแผ่นใดก็จะต้องนำกระดาษที่วางซ้อนอยู่ก่อนนั้นออกไปจนกระทั่งถึงแผ่นที่ต้องการ

รีจิสเตอร์ของ 8051 ทำหน้าที่เป็นตัวชี้ตำแหน่งหน่วยความจำของสแต็กที่จะเก็บข้อมูล เข้าไปมีชื่อเรียกว่า รีจิสเตอร์ SP (Stack Pointer) โดยค่าภายในรีจิสเตอร์นี้จะเป็นค่าของแอดเดรสของตำแหน่งดังกล่าว การโอนย้ายข้อมูลกับสแต็กจะใช้คำสั่ง PUSH และ POP โดยคำสั่ง PUSH เป็นการนำข้อมูลจากโอเปอเรนด์ต้นทางเข้าไปเก็บยังสแต็ก ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าแอดเดรสภายในรีจิสเตอร์ SP เพิ่มขึ้น สำหรับคำสั่ง POP ก็จะมีลักษณะการทำงานที่ตรงข้ามกัน

เมื่อเริ่มต้นการทำงานของ 8051 โดยอาจจะเป็นการเริ่มจ่ายไฟหรือการรีเซ็ตเกิดขึ้น 8051 จะทำการกำหนดพื้นที่สแต็ก ไว้บริเวณหน่วยความจำข้อมูลภายในที่แอดเดรส 07H ทำให้ค่าเริ่มต้นของรีจิสเตอร์ SP จึงมีค่าเป็น 07H เพื่อชี้ไปยังตำแหน่งดังกล่าว อย่างไรก็ตาม หน่วยความจำข้อมูลภายในที่แอดเดรสนี้เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ใช้งาน R0 - R7 ในแบงก์ที่ 1 ดังนั้นหาก ว่ามีการใช้หน่วยความจำนี้ในฐานะของรีจิสเตอร์ R0 -R7 แล้ว ก็จะต้องกำหนดค่าให้กับรีจิสเตอร์ SP ใหม่เพื่อย้ายไปใช้หน่วยความจำบริเวณอื่นเป็นพื้นที่สแต็กแทน เพื่อสนับสนุนโครงสร้างการทำงานของโปรแกรมย่อยขอให้ดูรูปแบบโดยพื้นฐานของการใช้งานคำสั่ง PUSH และ POP จากตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.26 การแลกเปลี่ยนข้อมูลกับสแต็ก

รูปแบบคำสั่ง	ความหมาย
PUSH direct	ให้ทำการเพิ่มค่าภายในรีจิสเตอร์ SP จากนั้นโอนย้ายข้อมูลจากหน่วยความจำแอดเดรส direct ไปเก็บยังหน่วยความจำข้อมูลภายในที่ตำแหน่งซึ่งเก็บค่าไว้ในรีจิสเตอร์ SP
POP direct	ให้ทำการโอนย้ายข้อมูลจากหน่วยความจำข้อมูลภายในที่ตำแหน่ง ซึ่งเก็บค่าไว้ในรีจิสเตอร์ SP ไปยังหน่วยความจำข้อมูลภายในที่ตำแหน่ง direct และลดค่าภายในรีจิสเตอร์ SP ลง

ตัวอย่างคำสั่ง

ความหมาย

MOV 81H,#40H

กำหนดค่าให้กับตำแหน่งรีจิสเตอร์ SP (ซึ่งอยู่ตรงกับตำแหน่ง 81H) ให้ชี้ไปยังตำแหน่งแอดเดรส 40H ซึ่งจะจองไว้เป็นพื้นที่สแต็ก

MOV R0,#22H กำหนดค่าตัวเลข 22H ให้กับรีจิสเตอร์ R0
 PUSH 00H รีจิสเตอร์ SP มีค่า 41H และแอดเดรส 41H มีค่าข้อมูล 22H
 POP 07H รีจิสเตอร์ SP มีค่า 40H และรีจิสเตอร์ R7 มีค่าข้อมูล 22H

หมายเหตุ จากตัวอย่างข้างต้นนี้แสดงให้เห็นถึงการโอนย้ายข้อมูลจากรีจิสเตอร์ R0 ไปยังรีจิสเตอร์ R7 ผ่านทางหน่วยความจำของสแต็ก ซึ่งอยู่บริเวณแอดเดรส 40H นอกจากนี้จะเห็นว่าในการใช้รูปแบบของคำสั่ง PUSH และ POP นั้นไม่สามารถจะอ้างถึงชื่อรีจิสเตอร์ได้โดยตรง จึงจำเป็นจะต้องใช้ค่าแอดเดรสของหน่วยความจำ RAM ที่ตรงกันกับรีจิสเตอร์แทน

2.5.21 การเพิ่มและลดตำแหน่งหน่วยความจำ

การดำเนินงานเกี่ยวกับหน่วยความจำเพื่อเคลื่อนย้ายหรือโอนย้ายถ่ายข้อมูล มักจะมีการอ้างถึงตำแหน่งหน่วยความจำแอดเดรสที่อยู่ใกล้เคียงกัน เช่น อาจจะเป็นตำแหน่งที่อยู่ก่อนหน้าหรืออยู่หลังจากแอดเดรสปัจจุบันไปหนึ่งตำแหน่ง เป็นต้น ซึ่งหากพิจารณาโดยพื้นฐานจะมีลักษณะเหมือนกับการลบค่าตัวเลข 1 หรือบวกค่าตัวเลข 1 เข้ากับหมายเลขแอดเดรสในปัจจุบันนั่นเอง คำสั่งพื้นฐานของ 8051 ที่สนับสนุนการทำงานเช่นนี้ ได้แก่ INC และ DEC ซึ่งมักจะนำมาใช้ประกอบการอ้างแอดเดรสหลาย ๆ ลักษณะ ทั้งแบบการอ้างตำแหน่งแอดเดรสโดยอ้อมหรือโดยตรง อย่างไรก็ตามคำสั่งทั้งสองนี้ก็สามารถนำไปใช้ในวัตถุประสงค์เพื่อลดหรือเพิ่มค่าภายในรีจิสเตอร์ต่าง ๆ ได้ ขอให้ดูรูปแบบการใช้งานโดยพื้นฐานของคำสั่งจากตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.27 การเพิ่มหรือลดตำแหน่งหน่วยความจำ

รูปแบบคำสั่ง	ความหมาย
INC A	ให้ทำการบวกหนึ่งกับค่าข้อมูลภายในรีจิสเตอร์ A
INC Rn	ให้ทำการบวกหนึ่งกับค่าข้อมูลภายในรีจิสเตอร์ R0 - R7
INC direct	ให้ทำการบวกหนึ่งกับค่าข้อมูลภายในหน่วยความจำข้อมูลภายในที่แอดเดรส direct
INC @Ri	ให้ทำการบวกหนึ่งกับค่าข้อมูลภายในหน่วยความจำ ตำแหน่งที่มีค่าเก็บไว้ภายในรีจิสเตอร์ R0 หรือ R1
INC DPTR	ให้ทำการบวกหนึ่งกับค่าข้อมูลภายในรีจิสเตอร์ DPTR
INC A	ให้ทำการลบหนึ่งกับค่าข้อมูลภายในรีจิสเตอร์ A
INC Rn	ให้ทำการลบหนึ่งกับค่าข้อมูลภายในรีจิสเตอร์ R0 - R7
INC direct	ให้ทำการลบหนึ่งกับค่าข้อมูลภายในหน่วยความจำข้อมูลภายในที่แอดเดรส direct
INC @Ri	ให้ทำการลบหนึ่งกับค่าข้อมูลภายในหน่วยความจำ ตำแหน่งที่มีค่าเก็บไว้ภายในรีจิสเตอร์ R0 หรือ R1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.22 การโอนย้ายข้อมูลจากตาราง

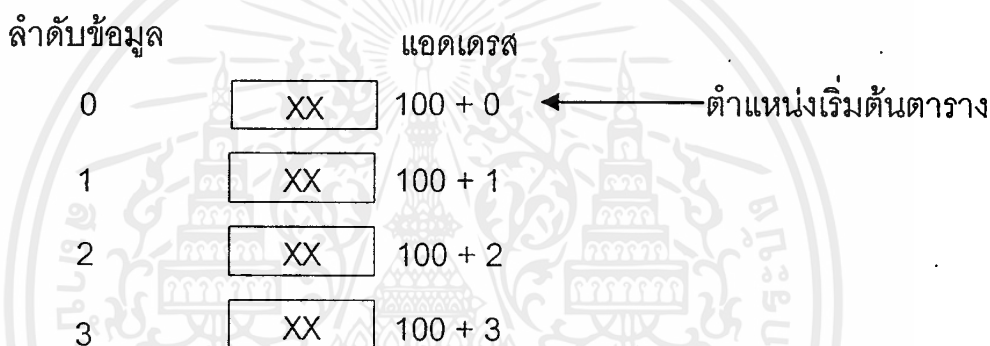
โครงสร้างของข้อมูลซึ่งมีการจัดการให้อยู่ในลักษณะของตาราง ประกอบด้วยกลุ่มของข้อมูลที่มีการจัดเรียงไว้เป็นลำดับอนุกรมต่อเนื่อง ดังลักษณะในแผนภาพในรูปที่ 2.25 โดยสมาชิกตัวแรกของตารางคือตัวที่ศูนย์ ตัวถัดมาเป็นตัวที่หนึ่ง , สอง, ... เป็นลำดับไป หากว่าตำแหน่งของตารางเริ่มต้นที่แอดเดรส 100H ดังนั้น

ข้อมูลตัวแรกจะอยู่ที่แอดเดรส $100+0 = 100H$,

ข้อมูลตัวแรกจะอยู่ที่แอดเดรส $100+1 = 101H$,

ข้อมูลตัวแรกจะอยู่ที่แอดเดรส $100+1 = 102H$,

ข้อมูลตัวแรกจะอยู่ที่แอดเดรส $100+1 = 103H$ เรื่อยไป

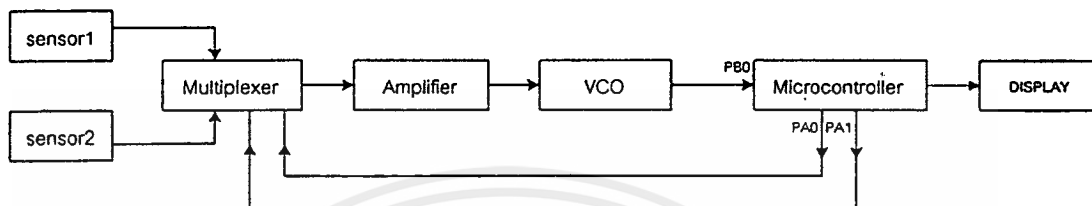


รูปที่ 2.25 แผนภาพแสดงการจัดข้อมูลแบบตาราง

โครงสร้างข้อมูลแบบตารางนี้มักจะนิยมนำมาใช้ในการช่วยแก้ปัญหาให้ง่ายขึ้น โดยทำการคิดคำนวณผลลัพธ์ไว้ล่วงหน้า แล้วนำไปเก็บยังตารางไว้ จากนั้นในขณะเมื่อประมวลผลโปรแกรมก็เพียงแต่เลือกจับคู่กับค่าที่เหมาะสมภายในตารางเท่านั้น ตัวอย่างเช่น การคำนวณหาค่าของ Sin x ก็อาจจะทำการคำนวณค่า Sin เมื่อ x เป็นค่าตัวเลขจำนวนเต็มต่าง ๆ ไว้เรียบร้อยแล้ว และนำมาจัดเก็บเป็นโครงสร้างลักษณะแบบตาราง เมื่อต้องการหาค่าของ Sin 2 ก็เพียงแต่ไปนำคำตอบมาจากข้อมูลตัวที่สามของตารางเท่านั้น ไม่ต้องมีการคำนวณใด ๆ เกิดขึ้นทั้งสิ้น (ดูรูปที่ 2.48) ซึ่งจะมีผลทำให้โปรแกรมลดความซับซ้อนลงได้อย่างมาก และใช้เวลาในการประมวลผลได้รวดเร็วมากยิ่งขึ้น

2.6 หลักการทำงานของวงจร

สำหรับการคำนวณหาทิศทางนั้นจะใช้อุปกรณ์ฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์เพื่อใช้ในการหาสนามแม่เหล็กโลกแล้วนำผลที่รับได้ที่แปรสภาพจากสนามแม่เหล็กเป็นแรงดันไฟฟ้าแล้วมาทำการคำนวณโดยใช้ ซิงเกิลบอร์ด ไมโครโปรเซสเซอร์ตระกูล MCS-51 ในการคำนวณหาและแสดงทิศทางดังกล่าวเป็นตัวเลข เพื่อให้ง่ายแก่การเข้าใจ สามารถแสดงการทำงานโดยบล็อกไดอะแกรม ดังรูป



รูปที่ 2.26 แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจร

ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้โดยจะมีฮอลล์เอฟเฟคเซนเซอร์ 2 ตัวเพื่อทำการตรวจจับสนามแม่เหล็กทั้งทิศเหนือ-ใต้ และ ตะวันตก-ตะวันออก ซึ่งจากการวัดจริงเซนเซอร์จะวัดค่าสนามแม่เหล็กโลกได้น้อย ทำให้จำเป็นต้องมีแม่เหล็กเพื่อมาช่วยให้เซนเซอร์วัดค่าสนามแม่เหล็กได้มากขึ้น ซึ่งจะเพียงพอที่จะทำให้ค่าแรงดันที่ได้จากเซนเซอร์มีค่าแตกต่างกันครบ 360 องศา ค่าจากเซนเซอร์ทั้ง 2 นี้ จะถูกนำมาผลิตเพลกซ์โดยมัลติเพลกซ์เซอร์ โดยในมัลติเพลกซ์เซอร์จะมีอินพุต 4 แชนแนล และ เอาท์พุท 1 แชนแนล โดยจะถูกเลือกแชนแนลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ เอาท์พุทแชนแนลของตัวมัลติเพลกซ์เซอร์จะนำไปเป็นอินพุทของส่วนขยาย ซึ่งค่าแรงดันที่ได้นี้จะจะมีค่าแตกต่างกันในแต่ละมุม จะถูกนำไปขยาย ซึ่งจะทำให้ค่าแรงดันมีค่ามากขึ้นและมีค่าแตกต่างกันอย่างชัดเจน จากนั้นค่าแรงดันที่ได้จะนำไปผ่านส่วนโวลต์เตจคอนโทรลลอซซิลเลเตอร์เพื่อทำการเปลี่ยนจากไฟกระแสตรงเป็นไฟกระแสสลับที่มีลักษณะเป็นขบวนพัลส์จากนั้นค่าที่ได้จะถูกคำนวณโดยไมโครคอนโทรลเลอร์เมื่อทำงานครบทั้ง 2 ค่าแล้วไมโครคอนโทรลเลอร์ก็จะประมวลผลเพื่อแสดงผลของทิศทางดังกล่าวต่อไป

2.6.1 วงจรส่วนของเซนเซอร์ และมัลติเพลกซ์เซอร์,

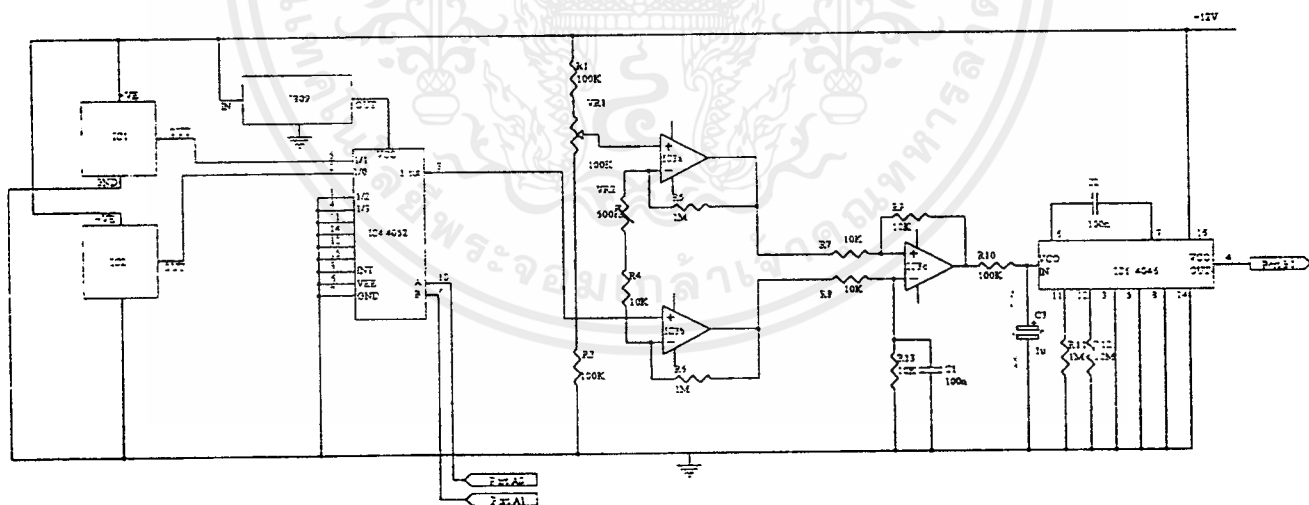
สำหรับรายละเอียดของวงจรในส่วนของ เซ็นเซอร์และมัลติเพลกซ์เซอร์ สามารถอธิบายได้ดังนี้ IC1 และ IC2 เป็นเซนเซอร์ฮอลล์เอฟเฟคท์ที่ตรวจจับสนามแม่เหล็กในทิศทาง เหนือ-ใต้ และ ตะวันตก-ตะวันออก ตามลำดับซึ่งผลที่ได้จะได้แรงดันไฟตรงที่มีค่าน้อย (โดยแรงดันดังกล่าวจะแปรผันตามความแรงของสนามแม่เหล็กโลก) ค่าแรงดันไฟตรงนี้นั้นจะป้อนให้กับส่วนของ มัลติเพลกซ์ ซึ่งจะใช้แชนแนลอินพุทเพียง 2 แชนแนล จะประกอบด้วย

1. แชนแนลอินพุทของเซนเซอร์ที่รับทางทิศ เหนือ-ใต้
2. แชนแนลอินพุทของเซนเซอร์ที่รับทางทิศ ตะวันตก-ตะวันออก

สำหรับแขนแนลนี้จะถูกเลือกโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางขา A และ B ของตัวมัลติเพล็กซ์เซอร์โดย 00=แขนแนล0,01=แขนแนล1,10=แขนแนล2 (B คือบิตทางซ้ายและ A คือบิตทางขวา)ค่าเอาต์พุตของตัวมัลติเพล็กซ์ หรือค่าแรงดันไฟตรงนี้จะป้อนอินพุต ของวงจรรขยายใน ส่วน อินสตรูเมนต์เช่นแอมป์เพื่อขยายค่าแรงดันให้มีค่ามากขึ้น เพียงพอที่จะทำให้แต่ละมุมมีค่าความถี่ที่แตกต่างกันจากนั้นเอาต์พุตจะนำไปผ่านส่วนโวลต์เดจคอนโทรลลอซซิลเลเตอร์เพื่อแปลงค่าแรงดันดังกล่าวให้ เป็น ขบวนการพัลส์ที่มีความถี่ต่างๆ ซึ่งขบวนการพัลส์ดังกล่าวจะป้อนเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการคำนวณต่อไป

ตารางที่ 2.28 แสดงรหัสที่ใช้ในการเลือกแขนแนลของตัวมัลติเพล็กซ์เซอร์

B	A	แขนแนล
0	0	0
0	1	1
1	0	ไม่ได้ใช้
1	1	ไม่ได้ใช้



รูปที่ 2.27 แสดงวงจร เซนเซอร์และมัลติเพล็กซ์เซอร์

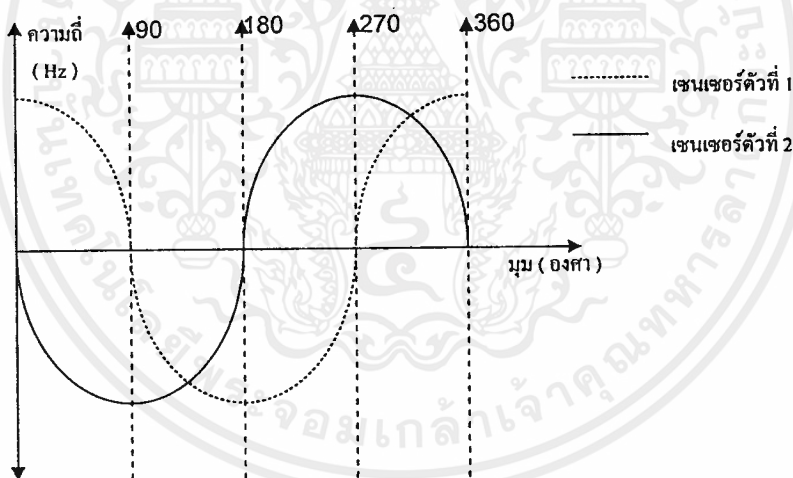
ในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 โดยแรงดันที่ได้จากส่วนของโวลต์เดจคอนโทรลลอซซิลเลเตอร์จะต่อเข้ากับขาของพอร์ต B บิตที่ 0 โดยมีขั้นตอนในการคำนวณหามุมดังนี้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. โดยในขั้นแรกไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการเลือกแชนแนลของตัวมัลติเพล็กซ์เซอร์ในขั้นตอนแรกจะเลือกแชนแนล " 0 " ซึ่งก็คือจะได้ขบวนการพัลส์ที่มีความถี่เปลี่ยนแปลงตามความแรงของสนามแม่เหล็กจาก IC1 ที่จะจับสนามแม่เหล็กในทิศ เหนือ-ใต้ แล้วทำการเข้าสู่ส่วนของโปรแกรมนับความถี่เพื่อทำการนับความถี่ได้ความถี่ f_1 ค่าที่ได้จะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำที่ตำแหน่ง S1RESULT (825FH)

2. ทำเช่นเดียวกับขั้นตอนแรกแต่ใช้แชนแนล " 1 " ได้ความถี่ f_2 แล้วเก็บไว้ในหน่วยความจำอีกตำแหน่ง S2RESULT (8262H)

3. จากนั้นจะเข้าสู่ส่วนของการคำนวณความถี่โดยนำค่าความถี่ที่คำนวณได้จากเซนเซอร์ตัวที่ 1 (เป็นเลขฐานสิบหก) นำมาเปรียบเทียบกับค่าความถี่ที่มุมแต่ละ 10 องศาจากนั้นนำค่าที่ใกล้เคียงที่สุดออกมา เก็บที่หน่วยความจำที่ตำแหน่ง RESULT (8267H-8268H)

4. นำค่าความถี่ที่คำนวณได้จากเซนเซอร์ตัวที่ 2 มาตัดสินว่าค่ามุมที่ได้เป็นของฝั่งตะวันออกหรือฝั่งตะวันตก โดยตัดสินจากผลต่างทางความถี่ของค่าความถี่ที่มุม 180 องศาของเซนเซอร์ตัวที่ 2 ที่ได้ทำการบันทึกไว้ก่อนแล้วกับค่าของมุมที่ได้จากเซนเซอร์ตัวที่ 2 ในขณะนั้น ถ้าค่าที่ได้ออกมาเป็นลบแสดงว่าเป็นมุมทางฝั่งตะวันออก นั่นคือค่าของมุมที่เก็บในตำแหน่ง RESULT คือค่ามุมที่ถูกต้องแล้ว แต่ถ้าค่าผลต่างเป็นบวกนั่นคือฝั่งตะวันตก นั่นคือค่าของมุมที่ถูกต้องคือ $360 - \text{RESULT}$ ซึ่งจะส่งไปยังส่วนของโปรแกรมแสดงผลต่อไป

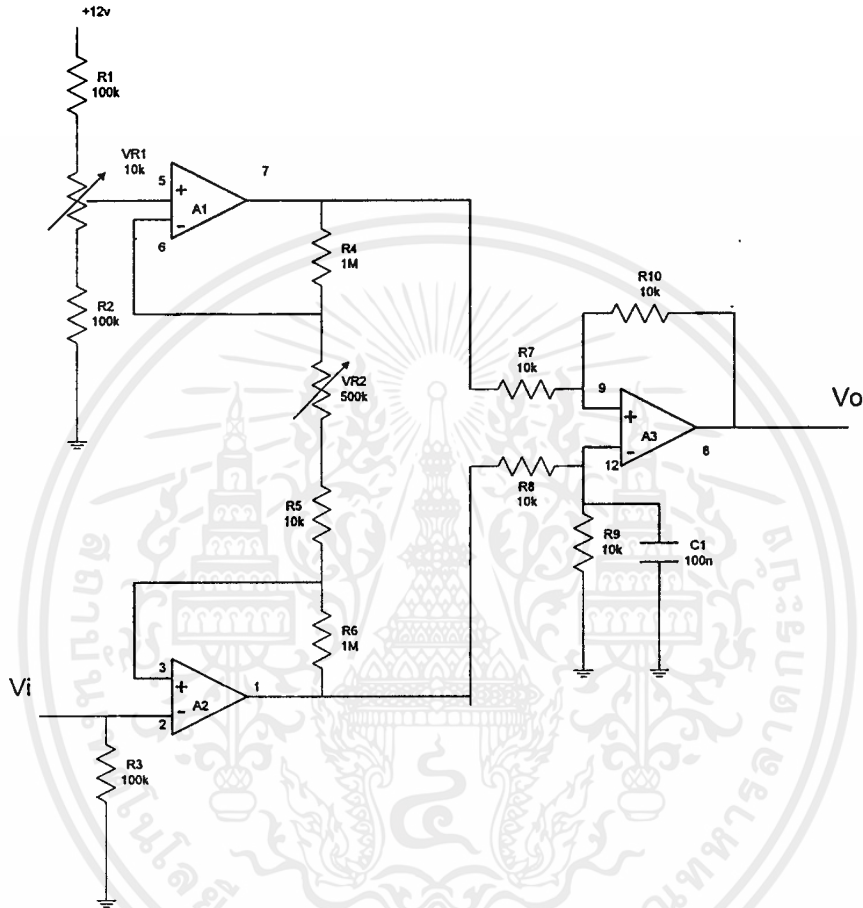


รูปที่ 2.28 แสดงค่าของความถี่ของเซนเซอร์ทั้งสองที่มุมต่างๆ

บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง

3.1 การคำนวณหาอัตราขยายของวงจรส่วนขยาย

พิจารณาวงจรตามรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงวงจรของส่วนขยาย

แรงดันอินพุตที่ขา 5 หาได้โดยใช้หลักการของการแบ่งแรงดันซึ่งจะได้

$$V_s = \frac{12(VR_1 + R_1 + R_2)}{VR_1 + R_2} \quad (3.1)$$

แทนค่า R_1, R_2 ซึ่งมีค่าเท่ากับ $100k$ เท่ากัน ส่วน VR_1 ซึ่งมีค่า $10k$ ให้ติดค่าตัวแปรไว้ก่อน ดังนั้นสมการที่ 3.1 เขียนใหม่ได้ดังนี้

$$V_s = \frac{12(VR_1 + 200)}{VR_1 + 100} \quad (3.2)$$

จากคุณสมบัติของออปแอมป์ทำให้แรงดันที่ขา 5 และขา 6 มีค่าเท่ากันและเมื่อเราทำการป้อนแรงดันอินพุต V_i ที่ขา 2 ทำให้แรงดันที่ขา 3 มีค่าเท่ากันด้วย

พิจารณาที่จุด A และจุด B ซึ่งเป็นแรงดันที่ขา 3 และขา 6 ตามลำดับซึ่งจะทำให้เกิดกระแสที่แสดงได้เบื้องต้น โดยที่ R_4 และ VR_2 มีค่าเท่ากับ $10k$ และ $500k$ ตามลำดับ เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$I_{A,B} = \frac{(V_A - V_B)}{(R_5 + VR_2)} = \frac{(V_3 - V_6)}{(10 + VR_2)} \quad (3.3)$$

ดังนั้นแรงดันระหว่างขา 1 และขา 7 สามารถหาได้ดังนี้

$$V_{1,7} = I_{A,B}(R_4 + R_5 + R_6 + VR_2) = \frac{V_3 - V_6}{10 + VR_2} \times (2010 + VR_2) \quad (3.4)$$

โดยที่ค่า R_4, R_5, R_6 และ VR_2 มีค่าเท่ากับ 1000k, 10k, 1000k และ 500k ตามลำดับ

$V_{1,7}$ จะผ่านเข้าสู่ส่วนขยายส่วนสุดท้ายที่มีอัตราขยายเท่ากับ 1 ดังนั้นจะได้แรงดันเอาต์พุตคือ

$$V_o = \frac{V_3 - V_6}{10 + VR_2} \times (2010 + VR_2) \quad (3.5)$$

โดยที่ V_3 และ V_6 มีค่าดังนี้

$$V_6 = \frac{12(VR_1 + 200)}{VR_1 + 100} \quad (3.6)$$

$$V_3 = V_2 \quad (3.7)$$

3.2 การทำงานของโปรแกรมที่ใช้ในวงจร

ในส่วนของโปรแกรมที่ใช้ในวงจรมันสามารถแบ่งเป็นส่วนๆ ได้ดังนี้

3.2.1 โปรแกรมเลือกแกนแนลของมัลติเพล็กซ์เซอร์

3.2.2 โปรแกรมนับความถี่

3.2.3 โปรแกรมหาร

3.2.4 โปรแกรมคำนวณหามุม

3.2.5 โปรแกรมแสดงผลบน 7 เซกเมนต์

อธิบายส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

3.2.1 โปรแกรมเลือกแกนแนลของตัวมัลติเพล็กซ์เซอร์ ขาที่ 9 และ 10 (B และ A ตามลำดับ) ซึ่งจะต่อขา 9 ที่พอร์ท A บิทที่ 1 และขาที่ 10 ที่พอร์ท A บิทที่ 0 ตามลำดับ นั่นคือเราสามารถเลือกแกนแนล 0 และแกนแนล 1 โดยส่งข้อมูลออกไปที่พอร์ท A ดังนี้

ตารางที่ 3.1 แสดงรหัสที่ใช้ในการเลือกแกนแนล

บิทที่	7	6	5	4	3	2	1	0
CH0	x	x	x	x	x	x	0	0
CH1	x	x	x	x	x	x	0	1

x: don't care

เราสามารถส่งออกพอร์ท A (FC00H) โดยต้องส่ง control word ออกไปยัง control port (FC03H)

ซึ่ง control word ที่ส่งไปก็คือ 82H ซึ่งจะมีพอร์ท A เป็นเอาต์พุตและพอร์ท B เป็นอินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

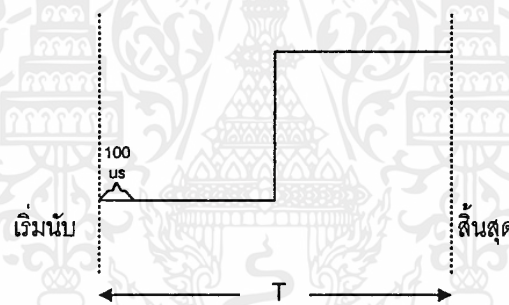
ตารางที่ 3.2 แสดง control word ที่ให้พอร์ท A เป็นเอาต์พุตและพอร์ท B เป็นอินพุต

control word	PORT A	PORT B
82H	เอาต์พุต	อินพุต

ในการเลือกแขนแนลครั้งแรกจะเลือกอินพุตจากแขนแนล 0 โดยจะผ่านโปรแกรมนับความถี่และโปรแกรมหารแล้วจึงมาเลือกแขนแนลถัดไปแทน

3.2.2 โปรแกรมนับความถี่

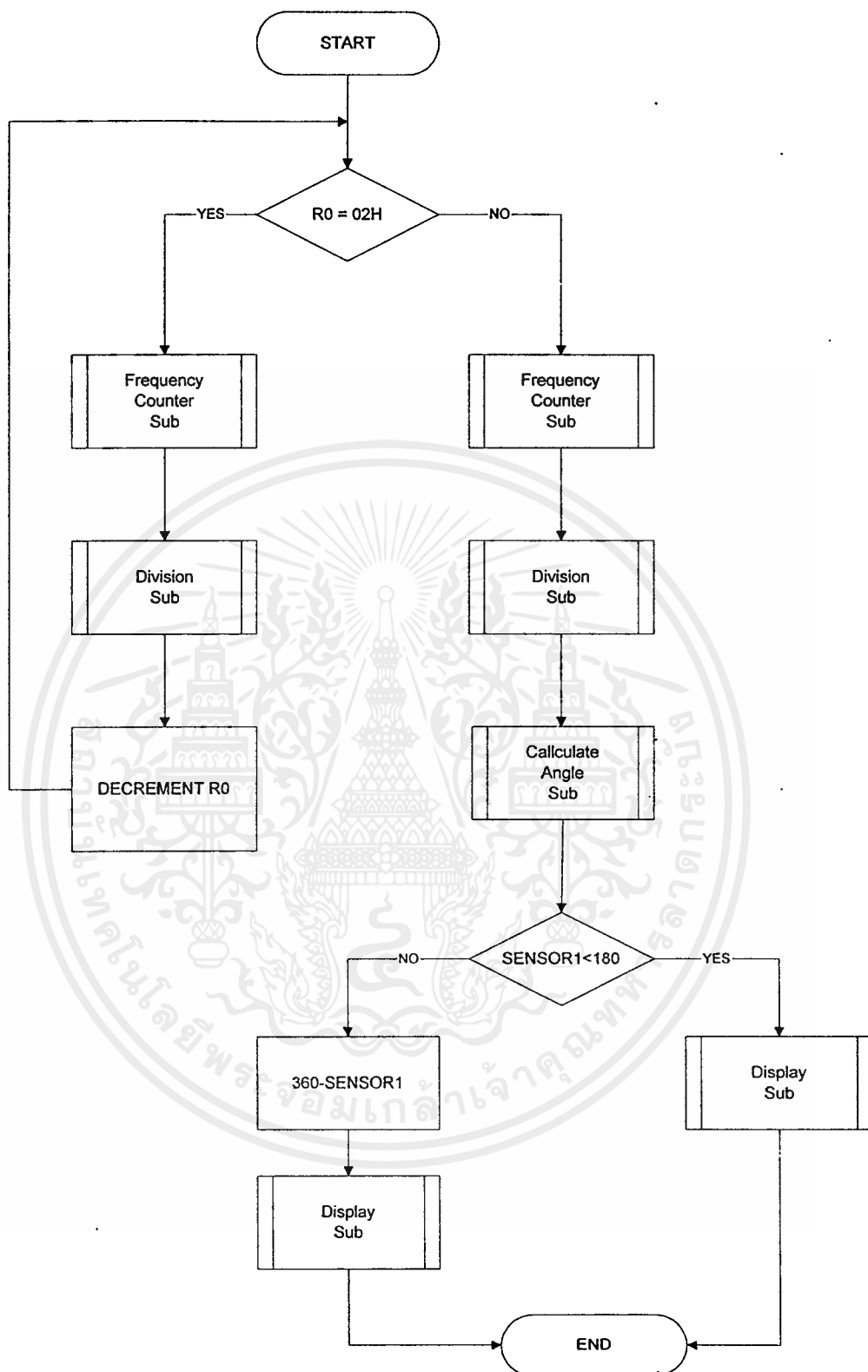
สำหรับโปรแกรมนี้นับความถี่ได้สูงสุด 10,000 เฮิรตซ์ ซึ่งจะมีคาบเวลาเท่ากับ 100 ไมโครเซค มีหลักการการทำงานโดยขบวนพัลส์ที่ส่งเข้ามาจะถูกนับทุกๆ 100 ไมโครเซค โดยเริ่มนับจาก โลจิก 0 ก่อนแล้วจึงเริ่มนับโลจิก 1 สิ้นสุดการนับเมื่อกลับเป็นโลจิก 0 สำหรับอินพุตที่เข้ามาจะเข้ามาที่พอร์ท B บิตที่ 0 อีกครั้ง



รูปที่ 3.2 แสดงจุดเริ่มต้น-สิ้นสุดของพัลส์ที่ทำการนับ

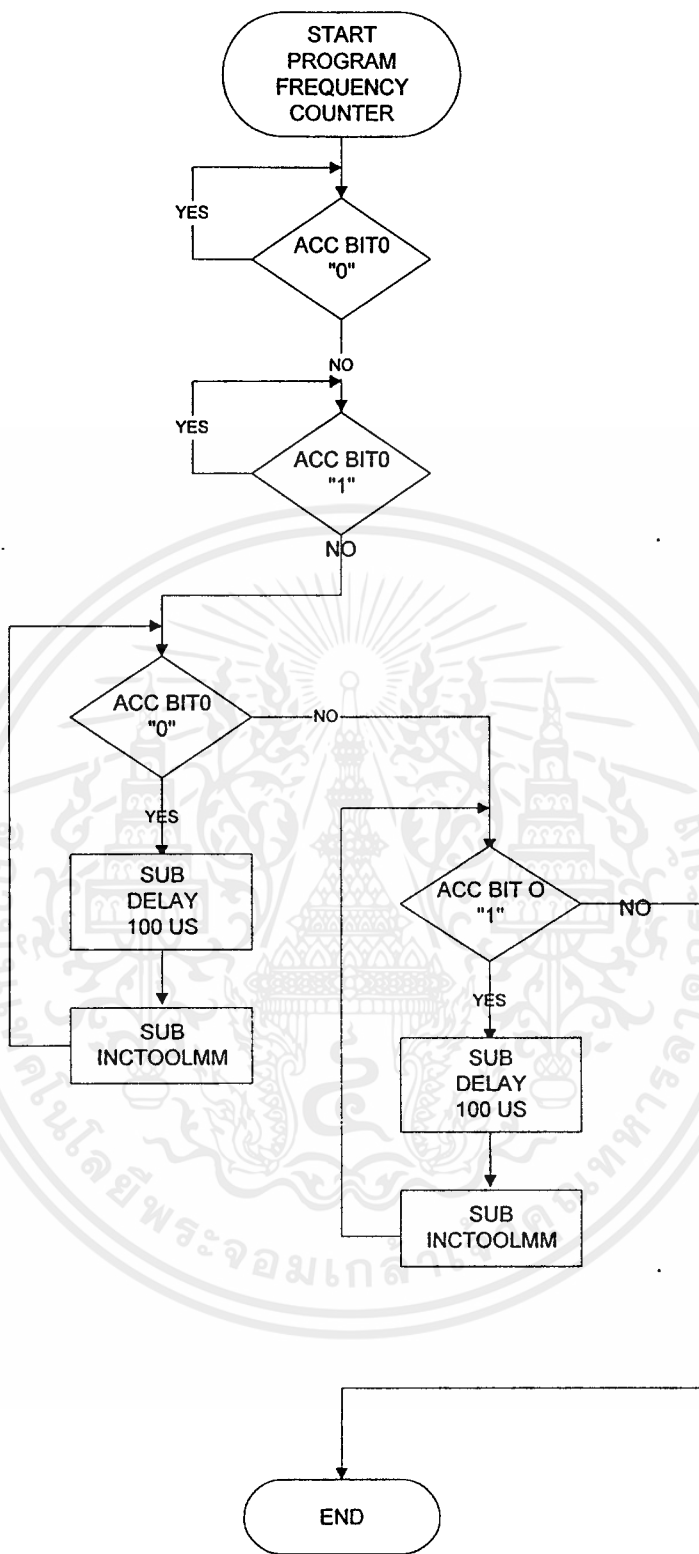
สำหรับพล็อตของโปรแกรมหลักทั้งหมดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.3

ถ้าหากนับได้จำนวนเท่ากับ N เราก็สามารถหาความถี่ได้โดยเท่ากับ $10,000/N$ โปรแกรมนับความถี่นี้สามารถแสดงพล็อตได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 แสดงโฟลชาร์ตของโปรแกรมทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงโฟลชาร์ตของโปรแกรมนับความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับโปรแกรมที่ใช้เพื่อการติเลย์ 100 ไมโครเซคนั้นมีรูปแบบดังนี้

7B11	FDL100U: MOV R3,#11H
7400	FDL100U1: MOV A,#00H
33	RLC A
DBFB	DJNZ R3,FDL100U1
22	RET

โปรแกรมนี้ใช้เวลาทั้งหมด $2+17(2+1+2)+1 = 2+85+1 = 88T$

โดย 1T-stage ใช้เวลา 1.085 ไมโครเซค ดังนั้นใช้เวลา $1.085 \times 88 = 95.48$ ไมโครเซค

3.2.3 โปรแกรมหาร จะทำหน้าที่คำนวณความถี่ที่ได้ออกมาในรูปของฐานสิบหกมีตัวตั้งคือ 10,000 (2710H) ตัวหารคือ ค่าที่นับได้จากโปรแกรมนับความถี่ (TOOLMM) โดยหลักการหารก็คือการนำตัวหารไปลบกับตัวตั้งจนกว่าการลบจะติดลบ จำนวนครั้งที่ลบได้ก็คือผลหารนั่นเอง เช่นถ้าตัวตั้งคือ 100 (64H) ตัวหารคือ 40(28H) ทำการหารได้ดังนี้

02H	
28H	64H
28H	
3CH	หารได้ 1 ครั้งไม่เกิดบิตตัวทอดหารต่อได้
28H	
14H	หารได้ 1 ครั้งไม่เกิดบิตตัวทอดหารต่อได้
28H	
ECH	เกิดบิตตัวทอดหารไม่ได้หยุดการหาร

3.2.4 โปรแกรมคำนวณหาผลออกมา

ค่าความถี่ที่ได้จากโปรแกรมหารของเซนเซอร์ทั้งสองนั้นจะนำมาหาผลคูณที่ถูกต้องโดย จะนำค่าความถี่ของเซนเซอร์ตัวแรกมาตรวจสอบกับค่าที่เก็บไว้ซึ่งเป็นค่าความถี่ในแต่ละมุมตั้งแต่ 0 - 180 องศา ทีละ 10 องศา

ค่าที่เก็บไว้มีดังนี้

SENS1: DB 2AH,29H,28H,27H,25H,23H,21H
DB 1EH,1BH,18H,16H,15H,14H,12H
DB 10H,0DH,0BH,09H,08H

สำหรับผลจากการเปรียบเทียบแบ่งได้เป็น 2 กรณีคือ

3.2.4.1 ผลลบเป็นเท่ากับ 0 เช่นหากความถี่ที่ได้เป็น 28H ซึ่งสามารถคำนวณหาหมุมโดยการเริ่มจากการนำค่าความถี่ที่หมุม 0 องศา (2AH) นำมาเปรียบเทียบ

$$2AH - 28H = 02H$$

นั่นคือผลจากการลบไม่เกิดบิตตัวทดก็จะทำการเปรียบเทียบกับหมุมถัดไปคือหมุม 10 องศา (29H)

$$29H - 28H = 01H$$

ไม่เกิดบิตตัวทวนำค่าความถี่ที่หมุม 20 องศา (28H)

$$28H - 28H = 00H$$

ผลลบที่ได้ที่ค่า 00H ดังนั้นหมุมที่ได้คือหมุม 20 องศาเลย

3.2.4.2 สมมติว่าความถี่ที่ได้คือ 1AH ดังนั้นหมุมที่ได้หาได้โดยการลบกับความถี่หมุมต่างๆ คือครั้งแรกนำค่า 2AH ซึ่งเป็นค่าความถี่ที่หมุม 0 องศาเป็นตัวตั้งและ 1AH เป็นตัวลบได้ดังนี้

$$2AH - 1AH = 10H$$

ถ้ายังไม่เกิด carry flag ให้ทำการเพิ่ม 10 องศา พร้อมกับนำค่า 29H มาตั้ง

$$29H - 1AH = 0FH$$

ซึ่งยังไม่เกิด carry flag ก็เพิ่มเป็น 20 องศา แล้วนำค่าความถี่ที่หมุม 20 องศาออกมา คือ 28H ทำการลบและตรวจสอบ carry flag ไม่เกิดก็จะเพิ่มอีก 10 องศา พร้อมกับนำค่าความถี่ค่าถัดไปมาคิดที่หมุม 80 องศา ความถี่ 1BH นั้นได้

$$1BH - 1AH = 01H$$

ค่าถัดไปที่หมุม 90 องศา ความถี่ 18H ได้

$$18H - 1AH = FEH$$

ปรากฏว่าเกิด carry flag นำค่าผลลัพธ์มาทำการลบด้วย 00H เพื่อเปลี่ยนผลลบที่ได้เป็นค่าบวกได้

$$00H - FEH = 02H$$

นำค่าทั้งสองมาเปรียบเทียบกันปรากฏว่าค่า 01H มีค่าน้อยกว่าค่า 02H นั่นคือค่าหมุมจะใกล้เคียง 80 องศา มากกว่า 90 องศา ดังนั้นหมุมที่ถูกต้องคือ 80 องศา นั่นเอง

ในส่วนของหมุมจากเซนเซอร์ตัวที่ 2 จะเป็นตัวตัดสินว่าขณะนี้มีหมุมดังกล่าวอยู่ที่ศตวรรษออกหรือที่ศตวรรษตก โดยพิจารณาจากค่าความถี่ของหมุม 180 องศา (เทียบกับเซนเซอร์ 1) นั่นคือค่า 18H (24Hz)

หากว่าความถี่ที่ได้มีน้อยกว่า 18H จะได้ว่าหมุมที่คำนวณได้จากเซนเซอร์ 1 นั้นจะเป็นหมุมที่ถูกต้อง แต่ถ้าค่าความถี่ที่ได้มากกว่า 18H แล้วค่าที่ได้จากเซนเซอร์ 1 จะถูกลบด้วย 360 องศา ก็จะได้หมุมที่ถูกต้องออกมา

3.2.5 โปรแกรมแสดงผล

สำหรับค่าหมุมที่จะแสดงจะแสดงบน 7 เซกเมนต์ 3 หลักคือ 000-360 โดยจะแสดงข้อมูลออกทางพอร์ตของ 7 เซกเมนต์ (F800H) ทางพอร์ต A แล้วส่งบิตข้อมูลควบคุมไปควบคุมจะให้แสดงผลที่หลักใดบ้างเช่น ถ้าต้องการแสดงผล 160 ออกมาก็จะแสดงผลเลข 6 ก่อนแล้วจึงแสดงผล เลข และเลข 1 ววนรูปตลอด

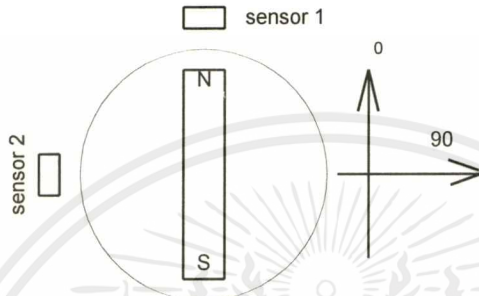
เวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

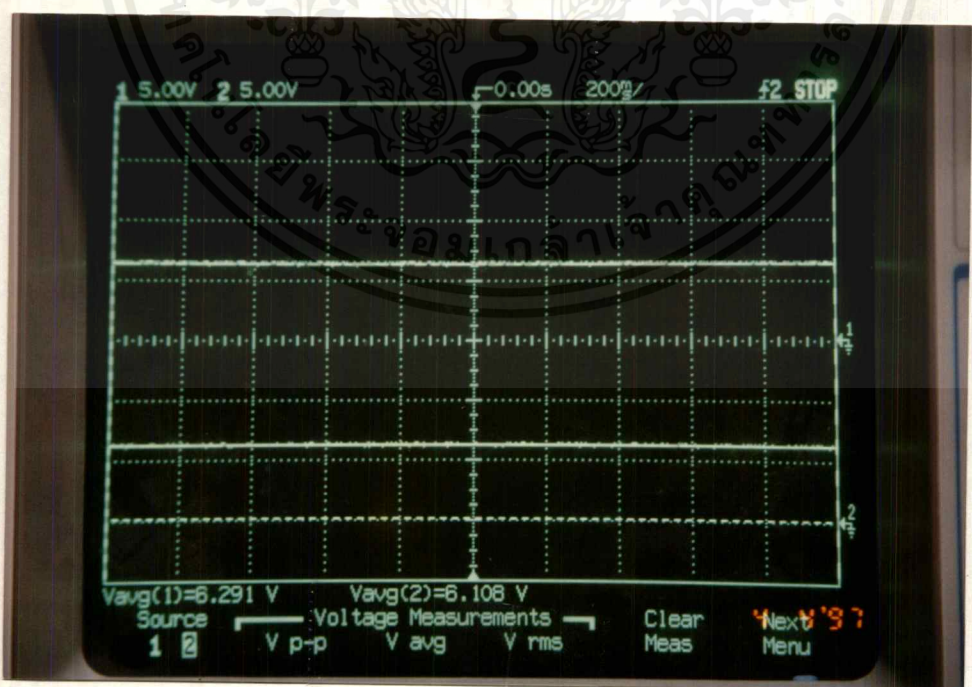
การทดลองและผลการทดลอง

4.1 ทำการทดลองเพื่อดูลักษณะเอาต์พุตของอุปกรณ์เซนเซอร์ฮอลล์เอฟเฟกต์และความสัมพันธ์ของ เซนเซอร์ฮอลล์เอฟเฟกต์ที่วางตั้งฉากซึ่งกันและกันโดยจะมีเซนเซอร์ 1 ที่เป็นตัวกำหนดทิศทางโดยใช้แม่เหล็กที่มีขั้วมาเป็นแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก และจะมีเซนเซอร์ 2 เป็นตัวตัดสินว่าจะเป็นมุมของฝั่งตะวันออก หรือ ตะวันตก แล้วทำการหมุนแท่งแม่เหล็กดังกล่าวตามองศาต่างๆ โดยกำหนดให้ที่มุม 0 องศาคือมุมที่แท่งแม่เหล็กที่มีทิศเหนือหันเข้าหาตัวเซนเซอร์ 1



รูปที่ 4.1 แสดงการจัดอุปกรณ์เพื่อทำการดูลักษณะเอาต์พุตและความสัมพันธ์ของเซนเซอร์ทั้งสอง

ทำการหมุนแท่งแม่เหล็กไปที่ละ 10 องศาทำการวัดค่าแรงดันเอาต์พุตของตัวเซนเซอร์ ทำการบันทึกค่าที่ได้ลงในตาราง และนำข้อมูลดังกล่าวไปเขียนกราฟ

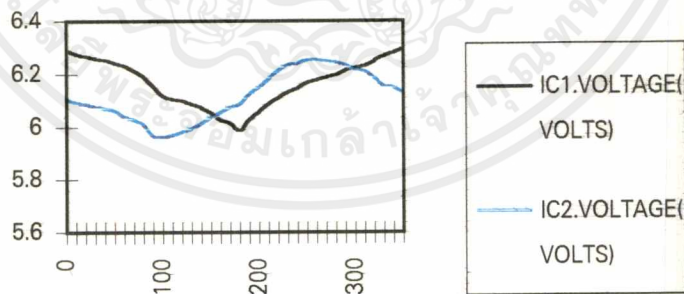


รูปที่ 4.1 แสดงค่าแรงดันเอาต์พุตของเซนเซอร์ทั้งสองที่มุม 180 องศา
เซนเซอร์ 1 (CH1) เซนเซอร์ 2 (CH2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าที่ได้จากการทดลองที่องค์ต่างๆ

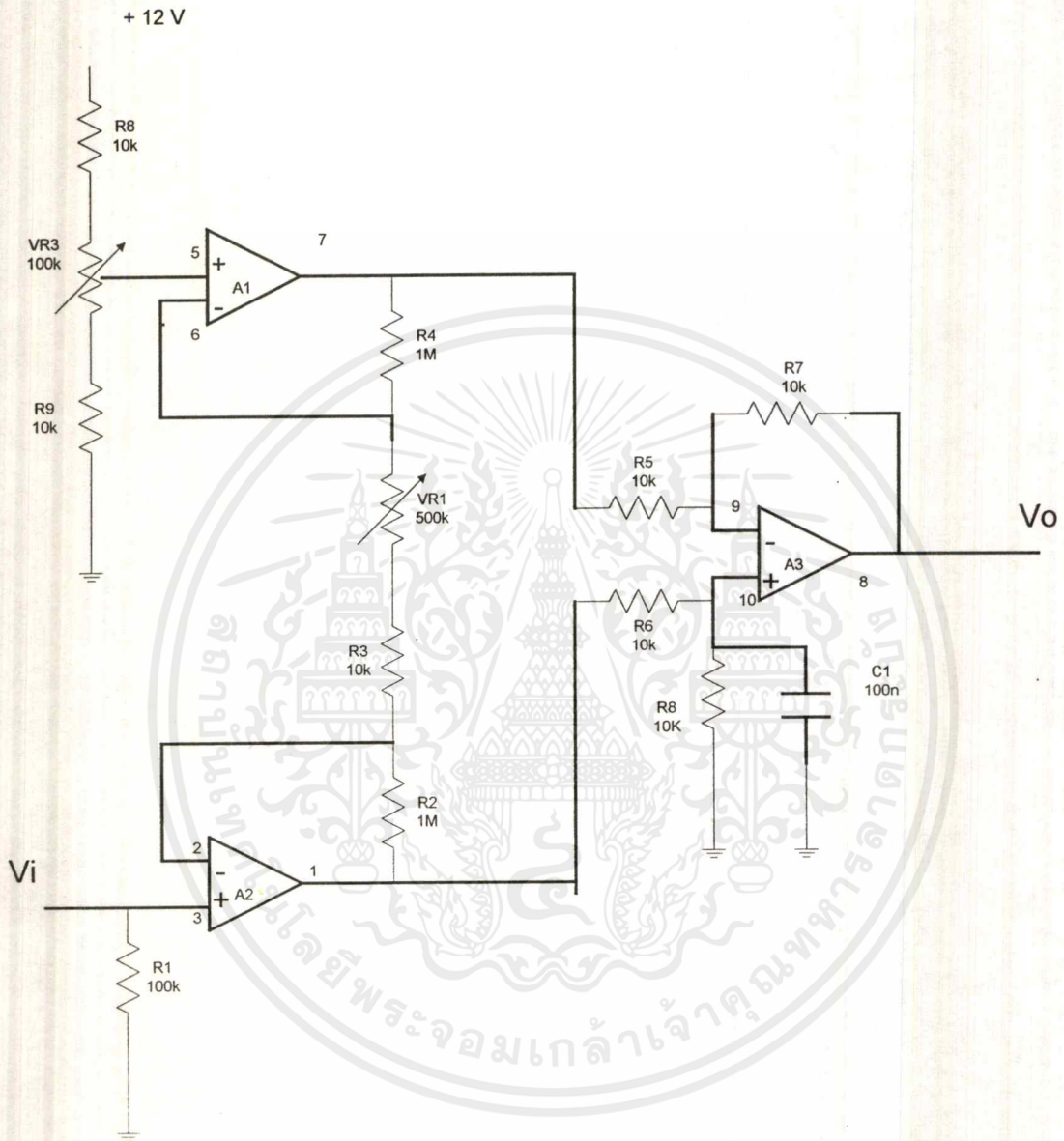
องค์	เซนเซอร์	เซนเซอร์	องค์	เซนเซอร์	เซนเซอร์	องค์	เซนเซอร์	เซนเซอร์
	1	2		1	2		1	2
0	6.291	6.104	120	6.1	5.978	240	6.146	6.239
10	6.275	6.091	130	6.084	5.991	250	6.167	6.25
20	6.269	6.085	140	6.071	6.011	260	6.177	6.252
30	6.258	6.074	150	6.055	6.033	270	6.188	6.249
40	6.253	6.067	160	6.027	6.052	280	6.197	6.243
50	6.24	6.059	170	6.015	6.071	290	6.217	6.234
60	6.23	6.038	180	5.988	6.084	300	6.227	6.216
70	6.212	6.025	190	6.031	6.022	310	6.233	6.209
80	6.189	6.009	200	6.058	6.148	320	6.25	6.184
90	6.152	5.965	210	6.087	6.18	330	6.267	6.153
100	6.116	5.959	220	6.109	6.212	340	6.281	6.148
110	6.104	5.967	230	6.13	6.233	350	6.296	6.128



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟระหว่างแรงดันเอาต์พุตที่องค์ต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ทำการทดลองออกแบบส่วนขยายสัญญาณอินสตรูเมนต์ชัน-โดย เราต้องทำการปรับค่า VR3 เพื่อให้ได้แรงดันที่ขา 5 มีค่าประมาณ 3 V



รูปที่ 4.3 แสดงวงจรรขยายอินสตรูเมนต์ชัน

ในการทดลองเราจะปรับค่าแรงดันที่ขา 5 ให้ได้ ประมาณ 3 V จากนั้นเราจะป้อนอินพุตที่ค่าต่างๆกัน จากนั้นเราจะทำการวัดค่าเอาต์พุตและวัดค่า VR1 เพื่อนำมาคำนวณหาค่าอัตราขยาย และวัดค่าแรงดันที่ขา 7 และ ขา 1 เพื่อหาค่าเอาต์พุตเนื่องจากค่าเอาต์พุตก็คือค่าผลต่างของแรงดันที่ขา 7 และขา 1 เมื่อมีอินพุตเข้ามาที่ขา 3 ซึ่งมีค่าเท่ากับแรงดันที่ ขา 5 ก็คือ 3 โวลต์ทำให้แรงดันที่ขา 7 และที่ขา 1 มีค่าเท่ากัน เมื่อผ่านมายังออปแอมป์ A3 ซึ่งเป็นดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์ที่มีอัตราขยายเท่ากับ 1 ดังนั้นเอาต์พุตที่ได้จะมีค่าเป็นศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่ถ้ามีอินพุทที่มีค่าผลต่างของแรงดันจะทำให้มีค่าเอาต์พุทซึ่งจะถูกขยาย ซึ่งอัตราขยายสามารถปรับค่าได้โดยปรับค่า VR1, ให้แรงดันไบแอสที่ขา 5 มีค่า 3 V, ให้แรงดันไฟเลี้ยงที่แอมป์มีค่า +12V และ -12V และนำค่าที่ได้จากการทดลองนำมาเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการคำนวณโดยคำนวณได้จาก

$$V_7 = 3 - \frac{(V_i - 3)}{109.2} \times 1000 \quad \text{และ} \quad V_i = V_7 + \frac{(V_i - 3)}{109.2} \times 1000$$

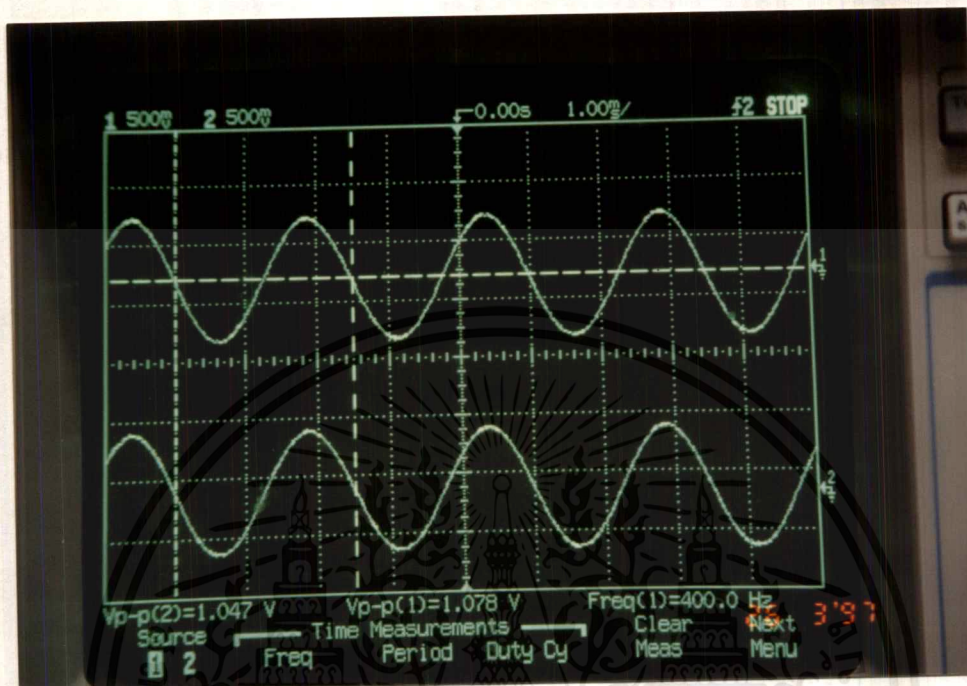
ค่าที่ได้จะถูกบันทึกดังตาราง

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าแรงดันในส่วนของแอมป์ที่ได้จากการทดลอง

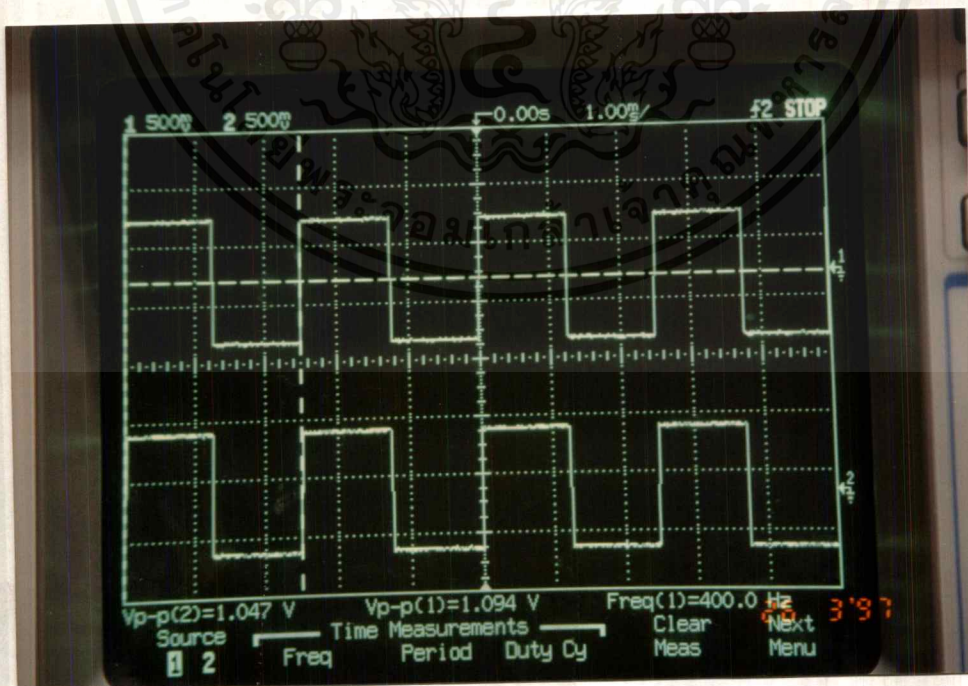
อินพุท	แรงดันที่ขา 1 (โวลต์) จากการ ทดลอง	แรงดันที่ขา 7 (โวลต์) จากการ ทดลอง	เอาต์พุท (ชา8) จากการ ทดลอง	แรงดันที่ขา 1 (โวลต์) จากการ คำนวณ	แรงดันที่ขา 7 (โวลต์) จากการ คำนวณ	เอาต์พุท (ชา8) จากการ คำนวณ
2.5	-1.531	7.051	-8.008	-2.078	7.578	-9.656
2.6	-271.5m	5.914	-5.779	-1.063	6.663	-7.726
2.7	577.9m	5.182	-4.387	-0.047	5.747	-5.794
2.8	1.746	4.167	-2.443	0.9684	4.831	-3.862
2.9	2.633	3.350	-818.9m	1.984	3.815	-1.83
3.0	3.132	2.94	104.8m	3.00	3.00	0
3.1	4.019	2.37	1.813	4.0157	2.0842	1.9315
3.2	5.208	1.073	4.061	5.0315	1.1684	3.863
3.3	6.523	-123.6m	6.533	6.0472	-0.2527	5.7944
3.4	7.447	-920.8m	8.269	7.063	-0.663	7.726
3.5	8.426	-1.759	10.07	8.078	-1.578	9.656
3.6	9.326	-2.524	11.11	9.094	-2.2494	11.588
3.7	10.55	-3.619	11.10	10.11	-3.4102	13.52
3.8	11.20	-4.176	11.09	11.126	-4.326	15.452
3.9	11.19	-4.176	11.09	12.141	-5.241	17.382
4.0	11.20	-4.176	11.09	13.157	-6.157	19.315

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ทำการทดลองในส่วนของ มัลติเพล็กซ์ โดยป้อนแรงดันอินพุตรูปซายน์ซึ่งมีค่าแรงดัน 1 โวลต์ ความถี่ 400 เฮิรตซ์ที่ขา 1 (CH0) และป้อนสัญญาณรูปพัลซซึ่งมีค่าแรงดัน 1 โวลต์ ความถี่ 400 เฮิรตซ์ ที่ขา 5 (CH1)จากนั้นทำการเลือกเซนแนล และทำการวัดสัญญาณเอาต์พุตที่ขา



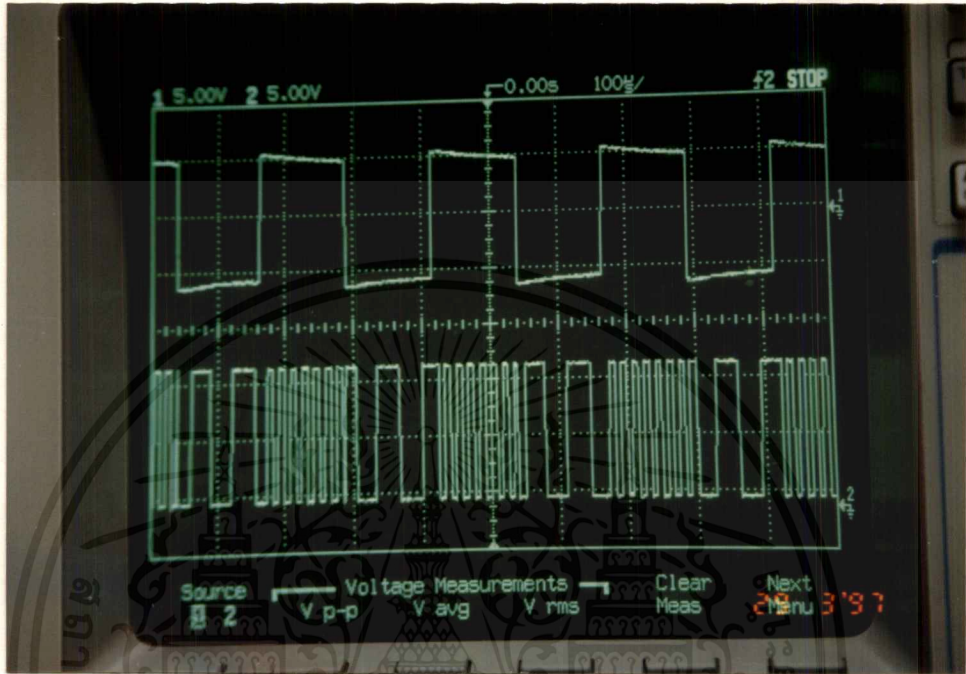
รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะสัญญาณอินพุต (CH1) และสัญญาณเอาต์พุต (CH2) เมื่อทำการเลือกเซนแนล 0



รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะสัญญาณอินพุต (CH1) และสัญญาณเอาต์พุต (CH2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สเมื่อทำการเลือกเซนแนล 2 การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 ทำการทดลองในส่วนของ VCO โดยทำการป้อนอินพุตรูปพัลส์และทำการจับสัญญาณเอาท์พุท ปรากฏว่าเมื่อสัญญาณอินพุตมีค่าเป็น -5 V จะได้อาณาความถี่ค่าหนึ่ง เมื่อสัญญาณอินพุต +5 V จะได้อาณาเอาท์พุทที่ความถี่ค่าหนึ่งซึ่งมีค่าความถี่มากกว่าที่อินพุต -5 V ซึ่งจะเป็นลักษณะของสัญญาณ FM

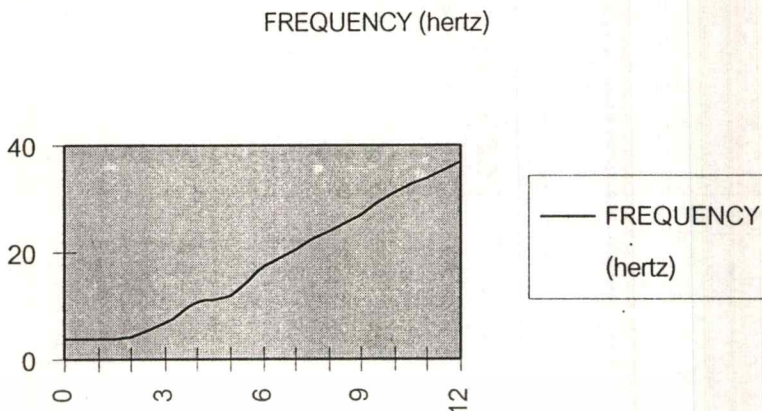


รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะสัญญาณเอาท์พุทเมื่อป้อนสัญญาณอินพุตรูปพัลส์ หลังจากนั้นทำการป้อนแรงดันอินพุตค่าต่างๆตั้งแต่ 0 V - 12 V แล้วทำการบันทึกค่าความถี่ จากนั้นนำค่าที่ได้มาพลอตกราฟ เพื่อดูลักษณะความถี่ที่แรงดันค่าต่างๆดังแสดงที่ตาราง 4.3 และรูปกราฟที่ 4.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความถี่ที่แรงดันอินพุตค่าต่างๆ

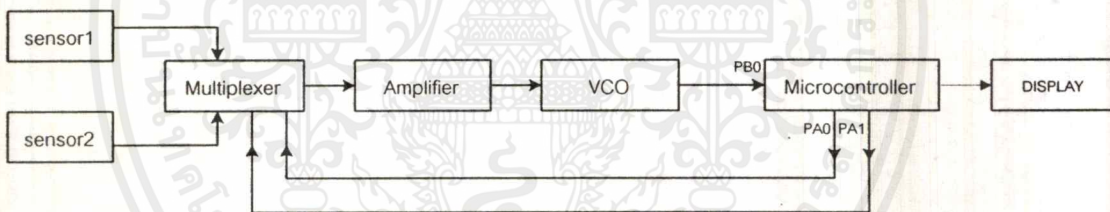
VOLTAGE	FREQUENCY (herzt)	VOLTAGE	FREQUENCY (herzt)
0	3.846	7	20.41
1	3.846	8	23.81
2	4.167	9	27.03
3	6.897	10	31.25
4	10.64	11	33.9
5	11.89	12	37.04
6	17.24		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 แสดงกราฟระหว่างแรงดันอินพุตและค่าความถี่เอาต์พุตที่ได้

4.5 เราจะทำการทดลองวงจรรวมทั้งหมด โดยทำการต่อส่วนเซนเซอร์ , ส่วนมัลติเพลกซ์ , ส่วนแอมพลิไฟเออร์ และส่วน VCO เข้าด้วยกัน ดังแสดงได้ดังบล็อกไดอะแกรม โดยจะมี ไมโครโปรเซสเซอร์ทำการเลือกเซนแนล ที่จะใช้เอาต์พุตของเซนเซอร์ตัวใด

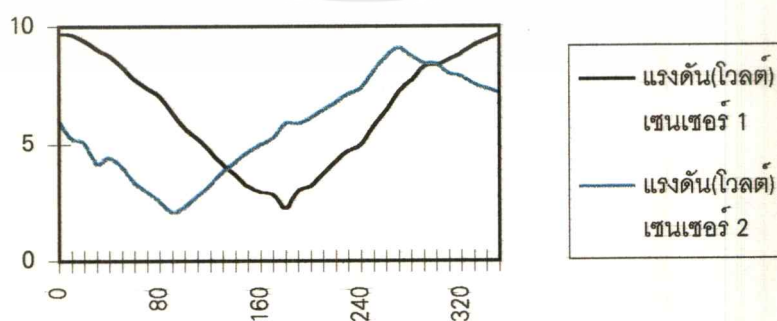


รูปที่ 4.8 บล็อกไดอะแกรมแสดงขั้นตอนการทดลองของหัวข้อ 4.5

เมื่อนำแท่งแม่เหล็กมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดสนามแม่เหล็ก โดยทำการหมุนแท่งแม่เหล็กไปมุมต่างๆ แล้วทำการบันทึกค่า แรงดันเอาต์พุตจากส่วนขยาย และความถี่ที่ได้จาก VCO ของเซนเซอร์ทั้งสอง แล้วนำมาบันทึกไว้ในตาราง และพลอตกราฟ

ตารางที่ 4.4 แสดงค่าแรงดันที่ถูกขยายจากเซนเซอร์ทั้งสองที่องศาต่างๆ

องศา	แรงดัน(โวลต์) เซนเซอร์ 1	แรงดัน(โวลต์) เซนเซอร์ 2	องศา	แรงดัน(โวลต์) เซนเซอร์ 1	แรงดัน(โวลต์) เซนเซอร์ 2
0	9.691	5.992	180	2.23	5.872
10	9.638	5.258	190	2.984	5.877
20	9.392	5.06	200	3.216	6.108
30	9.049	4.176	210	3.73	6.44
40	8.754	4.424	220	4.26	6.749
50	8.3	4.028	230	4.706	7.115
60	7.742	3.388	240	4.96	7.349
70	7.371	2.959	250	5.78	8.106
80	7.031	2.541	260	6.412	8.706
90	6.314	2.065	270	7.226	9.094
100	5.687	2.278	280	7.698	8.773
110	5.212	2.737	290	8.311	8.475
120	4.703	3.275	300	8.378	8.426
130	4.187	3.812	310	8.631	8.021
140	3.71	4.219	320	8.861	7.886
150	3.203	4.639	330	9.191	7.554
160	2.928	4.981	340	9.432	7.354
170	2.843	5.24	350	9.645	7.177

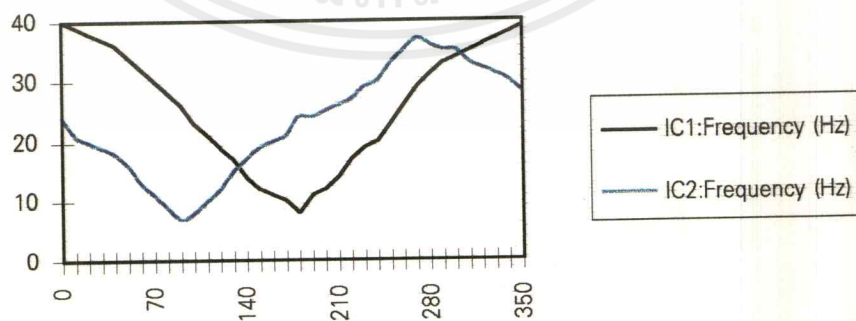


รูปที่ 4.9 แสดงรูปภาพของแรงดันเซนเซอร์ทั้งสองที่องศาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

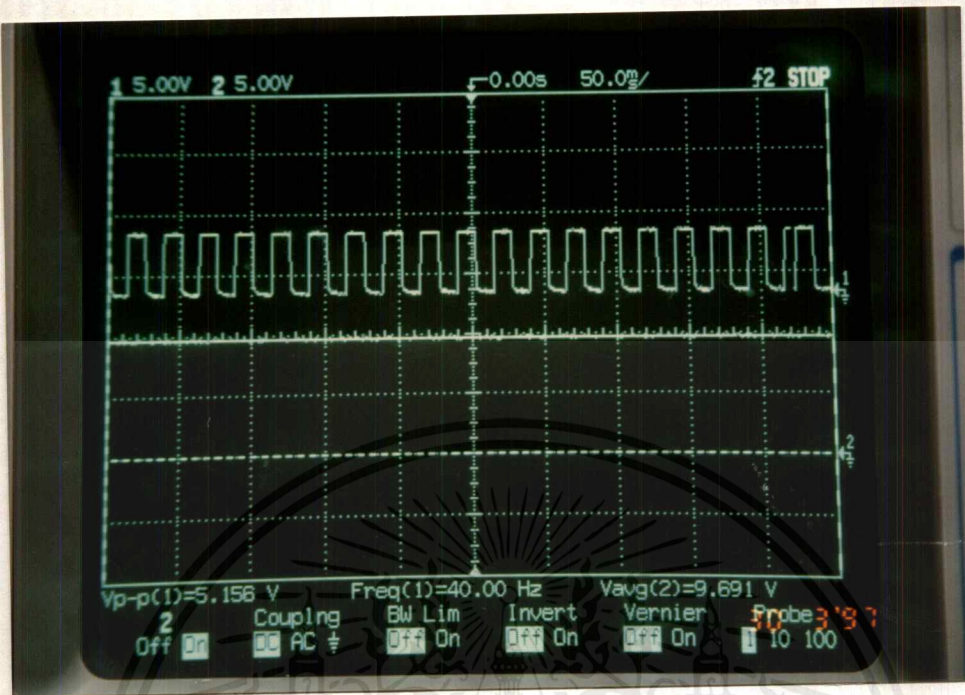
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความถี่ที่ได้จาก VCO ของเซนเซอร์ทั้งสองที่องศาต่างๆ

องศา	ความถี่(เฮิรตซ์) เซนเซอร์ 1	ความถี่(เฮิรตซ์) เซนเซอร์ 2	องศา	ความถี่(เฮิรตซ์) เซนเซอร์ 1	ความถี่(เฮิรตซ์) เซนเซอร์ 2
0	40	24	180	8	24
10	39	21	190	11	24
20	38	20	200	12	25
30	37	19	210	14	26
40	36	18	220	17	27
50	34	16	230	19	29
60	32	13	240	20	30
70	30	11	250	23	33
80	28	9	260	26	35
90	26	7	270	29	37
100	23	8	280	31	36
110	21	10	290	33	35
120	19	12	300	34	35
130	17	15	310	35	33
140	14	17	320	36	32
150	12	19	330	37	31
160	11	20	340	38	30
170	10	21	350	39	28

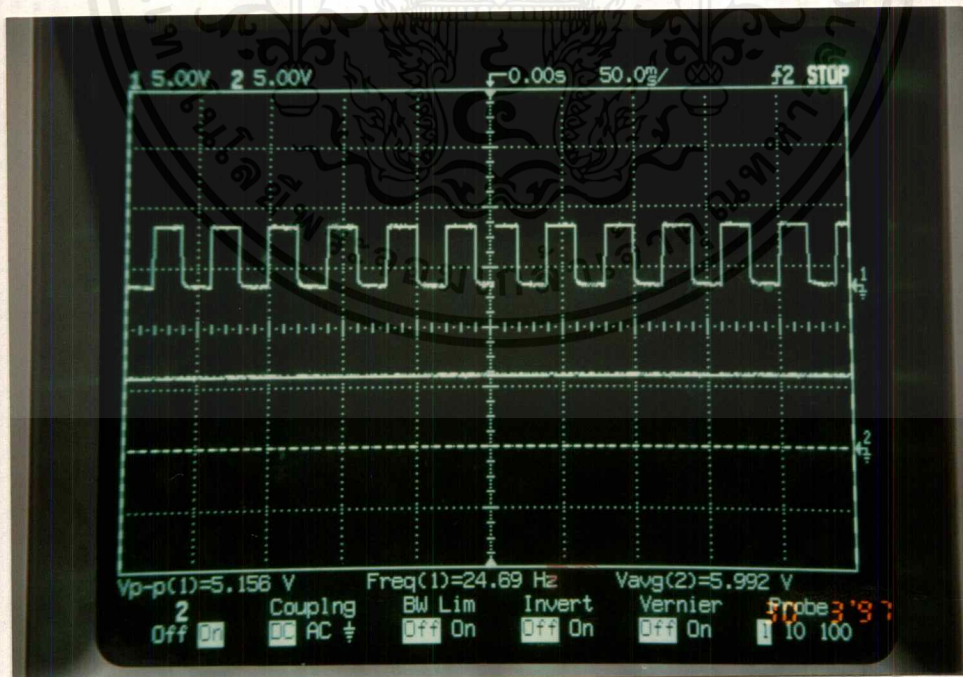


รูปที่ 4.10 แสดงรูปภาพความถี่ของเซนเซอร์ทั้งสองที่องศาต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.11 แสดงค่าแรงดันที่ถูกขยาย (CH2) และค่าความถี่ที่ได้จาก VCO (CH1) ของเซนเซอร์ตัวที่ 1 ที่มุม 0 องศา

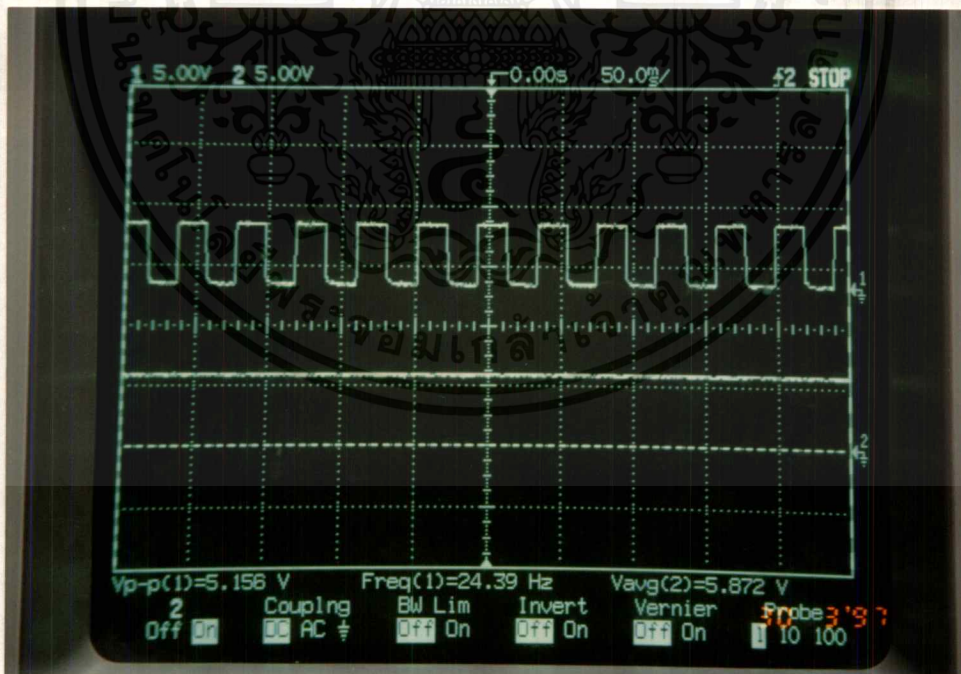


รูปที่ 4.12 แสดงค่าแรงดันที่ถูกขยาย (CH2) และค่าความถี่ที่ได้จาก VCO (CH1) ของเซนเซอร์ตัวที่ 2 ที่มุม 0 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



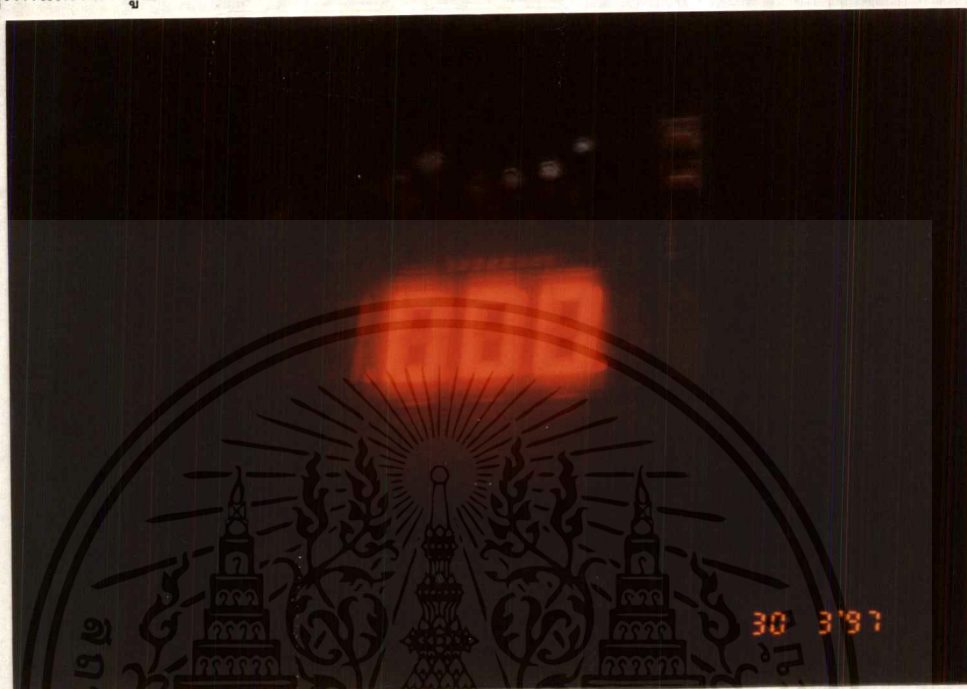
รูปที่ 4.13 แสดงค่าแรงดันที่ถูกขยาย (CH2) และค่าความถี่ที่ได้จาก VCO (CH1) ของเซนเซอร์ตัวที่ 1 ที่มุม 180 องศา



รูปที่ 4.14 แสดงค่าแรงดันที่ถูกขยาย (CH2) และค่าความถี่ที่ได้จาก VCO (CH1) ของเซนเซอร์ตัวที่ 2 ที่มุม 180 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ทำการต่อวงจรรวมทั้งหมดกับไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการทดสอบโปรแกรมกับฮาร์ดแวร์ได้
 ค่ามุมที่แสดงดังรูป



รูปที่ 4.15 แสดงทิศทางที่ 0 องศา



รูปที่ 4.16 แสดงทิศทางที่ 180 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่วากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 วิจารณ์และสรุป

- 5.1 จากการทดลองนี้จำเป็นต้องให้เซนเซอร์รับสนามแม่เหล็กไฟฟ้าได้ชัดเจนแต่เนื่องจากเซนเซอร์ดังกล่าวมีความไวน้อย ดังนั้นในการทดลองเราจะใช้แท่งแม่เหล็กเพื่อช่วยเซนเซอร์ในการรับสนามแม่เหล็กได้มากขึ้น
- 5.2 ค่าเอาต์พุตจากเซนเซอร์มีค่าน้อยมากจึงต้องมีวงจรขยายที่สามารถขยายอินพุตขนาดเล็กได้ ค่าเอาต์พุตที่ได้จะนำไปสร้างเป็นพัลส์โดย VCO
- 5.3 ความถี่ที่ได้จาก VCO จะถูกนำไปนับดังนั้นความถี่ที่ได้จาก VCO ต้องมีค่าที่ต่างกันได้อย่างชัดเจนเพื่อที่จะแยกค่าองศาได้ชัดเจนเหมือนกัน
- 5.4 ในการทดลองมีตัวแปรหลายอย่างซึ่งควบคุมได้ลำบากเช่นแสง อุณหภูมิ ความไม่แน่นอนของการวัดทำให้อาจมีการผิดพลาดจากการทดลอง
- 5.5 ผลการทดลองซึ่งทดลองได้จะแสดงค่าของมุมได้ไม่ละเอียดจะแสดงเป็นมุม 0,10,20,.....,360 องศาเท่านั้นทั้งนี้เนื่องจากค่าความถี่ที่ได้ที่มุมค่าต่างๆใกล้เคียงกันมากเกินไป
- 5.6 ค่าของความถี่ของมุมที่จะใช้เป็นตัวเปรียบเทียบจะต้องเก็บค่าให้ได้ตรงที่สุดไม่เช่นนั้นมุมที่แสดงออกมาจะผิดพลาด

ภาคผนวก ก.
โปรแกรมที่ใช้คำนวณและแสดงค่ามุม
ของ เข็มทิศดิจิตอล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

1          ;PROJECT 4A DIGITAL COMPASS
2          ;PROGRAM FOR 8051
3
4          ORG 8000H
5          PORTA EQU 0FC00H
6          PORTB EQU 0FC01H
7          CPORT EQU 0FC03H
8          SELCH1 EQU 8257H
9          SELCH0 EQU 8258H
10         TOOLMM EQU 8259H
11         TOOLMM+1 EQU 825AH
12
13         S1LBYTE EQU 825DH
14         S1HBYTE EQU 825EH
15         S1RESULT EQU 825FH
16         S2LBYTE EQU 8260H
17         S2HBYTE EQU 8261H
18         S2RESULT EQU 8262H
19
20         RESULTL EQU 8267H
21         RESULTH EQU 8268H
22
23         ;**** MAIN ****
24         MOV DPTR,#SELCH0 ;CH0 = 00H
25         MOV A,#00H
26         MOVX @DPTR,A
27         DEC DPL
28         MOV A,#01H ;CH1 = 01H
29         MOVX @DPTR,A
30         MOV R0,#02H
31
32         ;**** START PROGRAM SELECT PORT ****
33         START0: MOV R7,#0AH ;LOOP FCOUNT
34         START1: MOV DPTR,#CPORT ;FCOUNT 10 LOOP
35                 MOV A,#82H ;82H IS CONTROL WORD
36                 MOVX @DPTR,A ;PORTA = INPUT
37                 MOV A,#02H ;PORTB = OUTPUT
38                 ANL A,R0
39                 JNZ CH0
40                 MOV DPTR,#SELCH1
41                 MOVX A,@DPTR
42                 AJMP SELECT
43
44         ;**** SENT TO PORT A OF MCS-51 ****
45         CH0: MOV DPTR,#SELCH0
46              MOVX A,@DPTR
47         SELECT: MOV DPTR,#PORTA
48              MOVX @DPTR,A
49
50         ;**** START PROGRAM FREQ. COUNTER ****
51         FCOUNT: MOV DPTR,#TOOLMM ;TOOLMM = 00H
52              MOV A,#00H
53              MOVX @DPTR,A
54              INC DPL ;TOOLMM+1 = 00H
55              MOVX @DPTR,A
56              MOV DPTR,#PORTB
57              MOVX A,@DPTR
58              JB ACC.0,FC12

```

```

59
8038 E0 60 FC11: MOVX A,@DPTR
8039 30E0FC 61 JNB ACC.0,FC11
62
803C E0 63 FC12: MOVX A,@DPTR
803D 20E0FC 64 JB ACC.0,FC12
65
66 ;**** COUNT LOGIC 0 ****
8040 90FC01 67 FC13: MOV DPTR,#PORTB
8043 E0 68 MOVX A,@DPTR
8044 20E008 69 JB ACC.0,FC14
8047 128149 70 LCALL FDL100U
804A 128151 71 LCALL INCTOOLMM
804D 0140 72 AJMP FC13
73
74 ;**** COUNT LOGIC 1 ****
804F 90FC01 75 FC14: MOV DPTR,#PORTB
8052 E0 76 MOVX A,@DPTR
8053 30E008 77 JNB ACC.0,CALFREQ
8056 128149 78 LCALL FDL100U
8059 128151 79 LCALL INCTOOLMM
805C 014F 80 AJMP FC14
81
82 ;**** CALCULATE FREQUENCY ****
83 ;**** FREQ = 10000/TOOLMM ****
805E 908259 84 CALFREQ: MOV DPTR,#TOOLMM
8061 E0 85 MOVX A,@DPTR
8062 FA 86 MOV R2,A
8063 0582 87 INC DPL
8065 E0 88 MOVX A,@DPTR
8066 FB 89 MOV R3,A
8067 DFA6 90 DJNZ R7,START1
8069 128162 91 LCALL DPDIV
806C 18 92 DEC R0
806D E8 93 MOV A,R0
806E 6003 94 JZ FINALCALL
8070 02800D 95 LJMP START0
96
97 ;**** FINAL CALLCULATE ****
8073 7E00 98 FINALCALL: MOV R6,#00H ;L-NO_
8075 7F00 99 MOV R7,#00H ;H-NO_
8077 90825F 100 MOV DPTR,#S1RESULT
807A E0 101 MOVX A,@DPTR
807B FD 102 MOV R5,A
807C C3 103 CLR C
807D 9081B2 104 MOV DPTR,#SENS1
105
8080 E0 106 FINCALL1: MOVX A,@DPTR
8081 9D 107 SUBB A,R5
8082 602A 108 JZ R6RES
8084 4012 109 JC FIN1
8086 FC 110 MOV R4,A
8087 EE 111 MOV A,R6
8088 3410 112 ADDC A,#10H
808A D4 113 DA A
808B FE 114 MOV R6,A
808C 5004 115 JNC NEXTDPL
808E EF 116 MOV A,R7
808F 2401 117 ADD A,#01H

```

8091	FF	118		MOV	R7,A
		119			
8092	C3	120	NEXTDPL:	CLR	C
8093	0582	121		INC	DPL
8095	028080	122		LJMP	FINCALL1
		123			
8098	FB	124	FIN1:	MOV	R3,A
8099	7400	125		MOV	A,#00H
809B	C3	126		CLR	C
809C	9B	127		SUBB	A,R3
809D	FB	128		MOV	R3,A
809E	EC	129		MOV	A,R4
809F	9B	130		SUBB	A,R3
80A0	400C	131		JC	R6RES
80A2	C3	132		CLR	C
80A3	EE	133		MOV	A,R6
80A4	3410	134		ADDC	A,#10H
80A6	D4	135		DA	A
80A7	FE	136		MOV	R6,A
80A8	5004	137		JNC	R6RES
80AA	EF	138		MOV	A,R7
80AB	2401	139		ADD	A,#01H
80AD	FF	140		MOV	R7,A
		141			
80AE	908265	142	R6RES:	MOV	DPTR,#8265H
80B1	EE	143		MOV	A,R6
80B2	F0	144		MOVX	@DPTR,A
80B3	0582	145		INC	DPL
80B5	EF	146		MOV	A,R7
80B6	F0	147		MOVX	@DPTR,A
		148			
80B7	7D00	149	FINCALL2:	MOV	R5,#00H
80B9	908262	150		MOV	DPTR,#S2RESULT
80BC	E0	151		MOVX	A,@DPTR
80BD	FD	152		MOV	R5,A
80BE	9081C5	153		MOV	DPTR,#SENS2
80C1	E0	154		MOVX	A,@DPTR
80C2	C3	155		CLR	C
80C3	9D	156		SUBB	A,R5
80C4	5020	157		JNC	FINRES
80C6	908265	158		MOV	DPTR,#8265H
80C9	E0	159		MOVX	A,@DPTR
80CA	FC	160		MOV	R4,A
80CB	7460	161		MOV	A,#60H
80CD	C3	162		CLR	C
80CE	9C	163		SUBB	A,R4
80CF	D4	164		DA	A
80D0	FC	165		MOV	R4,A
80D1	0582	166		INC	DPL
80D3	E0	167		MOVX	A,@DPTR
80D4	FB	168		MOV	R3,A
80D5	7403	169		MOV	A,#03H
80D7	9B	170		SUBB	A,R3
80D8	D4	171		DA	A
80D9	FB	172		MOV	R3,A
80DA	908267	173		MOV	DPTR,#RESULTL
80DD	EC	174		MOV	A,R4
80DE	F0	175		MOVX	@DPTR,A
80DF	0582	176		INC	DPL

```
80E1 EB          177          MOV  A,R3
80E2 F0          178          MOVX @DPTR,A
80E3 0280F8      179          LJMP DISPLAY
                        180
80E6 908265      181          FINRES: MOV  DPTR,#8265H
80E9 E0          182          MOVX A,@DPTR
80EA FC          183          MOV  R4,A
80EB 0582        184          INC  DPL
80ED E0          185          MOVX A,@DPTR
80EE FB          186          MOV  R3,A
80EF 908267      187          MOV  DPTR,#RESULTL
80F2 EC          188          MOV  A,R4
80F3 F0          189          MOVX @DPTR,A
80F4 0582        190          INC  DPL
80F6 EB          191          MOV  A,R3
80F7 F0          192          MOVX @DPTR,A
                        193
                        194          ;**** DISPLAY SUB ****
80F8 908267      195          DISPLAY: MOV  DPTR,#RESULTL
80FB E0          196          MOVX A,@DPTR
80FC F9          197          MOV  R1,A
80FD 908268      198          MOV  DPTR,#RESULTH
8100 E0          199          MOVX A,@DPTR
8101 FA          200          MOV  R2,A
8102 74F0        201          MOV  A,#0F0H
8104 59          202          ANL  A,R1
                        203
8105 7B14        204          MOV  R3,#14H ;MIDDLE DIGIT
8107 C4          205          SWAP A
8108 311B        206          ACALL FLOOP
                        207
810A 7B15        208          MOV  R3,#15H ;RIGHT DIGIT
810C 740F        209          MOV  A,#0FH
810E 59          210          ANL  A,R1
810F 311B        211          ACALL FLOOP
                        212
8111 7B13        213          MOV  R3,#13H ;LEFT DIGIT
8113 740F        214          MOV  A,#0FH
8115 5A          215          ANL  A,R2
8116 311B        216          ACALL FLOOP
8118 0280F8      217          LJMP DISPLAY
                        218
                        219          FLOOP: MOV  R0,#00H
811B 7800        220          MOV  R5,A
811D FD          221          FLOOP1: XRL  A,R0
811E 68          222          JZ   SUBB
811F 6004        223          INC  R0
8121 08          224          MOV  A,R5
8122 ED          225          JMP  FLOOP1
                        226
                        227          SUBB: MOV  DPTR,#TBL
8125 9081A8      228          MOV  A,R0
8128 E8          229          MOVC A,@A+DPTR
812A 90F800      230          MOV  DPTR,#0F800H
812D F0          231          MOVX @DPTR,A
812E 90F801      232          MOV  DPTR,#0F801H
8131 EB          233          MOV  A,R3
8132 F0          234          MOVX @DPTR,A
8133 3140        235          ACALL DELAY
```

```

8135 3138      236          ACALL FIST
8137 22        237          RET
                        238
8138 1582      239          FIST: DEC   DPL
813A 7400      240          MOV    A,#00H
813C F0        241          MOVX  @DPTR,A
813D 3140      242          ACALL DELAY
813F 22        243          RET
                        244
8140 7808      245          DELAY: MOV  R0,#08H
8142 7E00      246          DELAY2: MOV R6,#00H
8144 DEFE      247          DELAY1: DJNZ R6,DELAY1
8146 D8FA      248          DJNZ R0,DELAY2
8148 22        249          RET
                        250
                        251          ;**** FD100U SUB ****
8149 7B11      252          FDL100U: MOV R3,#11H.
814B 7400      253          FDL100U1: MOV A,#00H
814D 33        254          RLC  A
814E DBFB      255          DJNZ R3,FDL100U1
8150 22        256          RET
                        257
                        258          ;**** INCTOOLMM SUB ****
8151 90825A    259          INCTOOLMM: MOV DPTR,#TOOLMM+1
8154 E0        260          MOVX  A,@DPTR
8155 2401      261          ADD  A,#01
8157 F0        262          MOVX  @DPTR,A
8158 7007      263          JNZ  RETURN1
815A 908259    264          MOV  DPTR,#TOOLMM
815D E0        265          MOVX  A,@DPTR
815E 2401      266          ADD  A,#01
8160 F0        267          MOVX  @DPTR,A
8161 22        268          RETURN1: RET
                        269
                        270          ;**** DPDIV SUB ****
8162 902710    271          DPDIV: MOV  DPTR,#2710H
8165 7C00      272          MOV  R4,#00H
8167 7D00      273          MOV  R5,#00H
8169 7E00      274          MOV  R6,#00H
816B 7400      275          MOV  A,#00H
                        276
816D C3        277          LOOP1: CLR  C
816E E582      278          MOV  A,DPL
8170 9B        279          SUBB A,R3
8171 FD        280          MOV  R5,A
8172 E583      281          MOV  A,DPH
8174 9A        282          SUBB A,R2
8175 FC        283          MOV  R4,A
8176 402F      284          JC   RETURN2
8178 7402      285          MOV  A,#02H
817A 58        286          ANL  A,R0
817B 6015      287          JZ   SENSOR2
                        288
817D 90825D    289          SENSOR1: MOV  DPTR,#S1LBYTE ;SENSOR1
8180 ED        290          MOV  A,R5 ;R5-LBYTE
8181 F0        291          MOVX  @DPTR,A ;R4-HBYTE
8182 0582      292          INC  DPL ;R6-RESULT
8184 EC        293          MOV  A,R4
8185 F0        294          MOVX  @DPTR,A

```

```

8186 0E          295          INC  R6
8187 0582        296          INC  DPL
8189 EE          297          MOV  A,R6
818A F0          298          MOVX @DPTR,A
818B 8D82        299          MOV  DPL,R5
818D 8C83        300          MOV  DPH,R4
818F 02816D      301          LJMP LOOP1
                302
8192 908260      303          SENSOR2: MOV  DPTR,#S2LBYTE ;SENSOR2
8195 ED          304          MOV  A,R5 ;R5-LBYTE
8196 F0          305          MOVX @DPTR,A ;R4-HBYTE
8197 0582        306          INC  DPL ;R6-RESULT
8199 EC          307          MOV  A,R4
819A F0          308          MOVX @DPTR,A
819B 0E          309          INC  R6
819C 0582        310          INC  DPL
819E EE          311          MOV  A,R6
819F F0          312          MOVX @DPTR,A
81A0 8D82        313          MOV  DPL,R5
81A2 8C83        314          MOV  DPH,R4
81A4 02816D      315          LJMP LOOP1
81A7 22          316          RETURN2: RET
                317
81A8 3F065B4F    318          TBL:  DB  3FH,06H,5BH,4FH,66H
81AC 66
81AD 6D7D077F    319          DB  6DH,7DH,07H,7FH,6FH
81B1 6F
                320
81B2 28272625    321          SENS1: DB  28H,27H,26H,25H,24H,22H
81B6 2422
81B8 201E1C1A    322          DB  20H,1EH,1CH,1AH,17H,15H
81BC 1715
81BE 13110E0C    323          DB  13H,11H,0EH,0CH,0BH,0AH
81C2 0B0A
81C4 08          324          DB  08H
                325
81C5 18          326          SENS2: DB  18H
                327
0000=           328          END
  
```

calfreq = 805E	84	77			
ch0 = 8020	45	39			
cport = FC03	7	34			
delay = 8140	245	235	242		
delay1 = 8144	247				
delay2 = 8142	246	248			
display = 80F8	195	179	217		
dpdiv = 8162	271	91			
fc11 = 8038	60	61			
fc12 = 803C	63	58	64		
fc13 = 8040	67	72			
fc14 = 804F	75	69	80		
fcount = 8028	51				
fdl100u = 8149	252	70	78		
fdl100u1 = 814B	253	255			
fin1 = 8098	124	109			
finalcall = 8073	98	94			
fincall1 = 8080	106	122			
fincall2 = 80B7	149				
finres = 80E6	181	157			
fist = 8138	239	236			
floop = 811B	219	206	211	216	
floop1 = 811E	221	225			
inctoolmm = 8151	259	71	79		
loop1 = 816D	277	301	315		
nextdpl = 8092	120	115			
porta = FC00	5	47			
portb = FC01	6	56	67	75	
r6res = 80AE	142	108	131	137	
resulth = 8268	21	198			
resultl = 8267	20	173	187	195	
return1 = 8161	268	263			
return2 = 81A7	316	284			
s1hbyte = 825E	14				
s1lbyte = 825D	13	289			
s1result = 825F	15	100			
s2hbyte = 8261	17				
s2lbyte = 8260	16	303			
s2result = 8262	18	150			
selch0 = 8258	9	24	45		
selch1 = 8257	8	40			
select = 8024	47	42			
sens1 = 81B2	321	104			
sens2 = 81C5	326	153			
sensor1 = 817D	289				
sensor2 = 8192	303	287			
start0 = 800D	33	95			
start1 = 800F	34	90			
subb = 8125	227	222			
tbl = 81A8	318	227			
toolmm = 8259	10	51	84	259	264
toolmm+1 = 825A	11				

ภาคผนวก ข.
DATA SHEET ของไอซีทีใช้ในวงจร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TL071, TL071A, TL071B, TL072
TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B**
LOW-NOISE JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS
SLOS080C – SEPTEMBER 1978 – REVISED AUGUST 1994

**15 DEVICES COVER COMMERCIAL, INDUSTRIAL,
AND MILITARY TEMPERATURE RANGES**

- Low Power Consumption
- Wide Common-Mode and Differential Voltage Ranges
- Low Input Bias and Offset Currents
- Output Short-Circuit Protection
- Low Total Harmonic Distortion
0.003% Typ
- Low Noise
 $V_n = 18 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ Typ at $f = 1 \text{ kHz}$
- High Input Impedance . . . JFET Input Stage
- Internal Frequency Compensation
- Latch-Up-Free Operation
- High Slew Rate . . . $13 \text{ V}/\mu\text{s}$ Typ
- Common-Mode Input Voltage Range
Includes V_{CC+}

description

The JFET-input operational amplifiers in the TL07_ series are designed as low-noise versions of the TL08_ series amplifiers with low input bias and offset currents and fast slew rate. The low harmonic distortion and low noise make the TL07_ series ideally suited for high-fidelity and audio preamplifier applications. Each amplifier features JFET inputs (for high input impedance) coupled with bipolar output stages integrated on a single monolithic chip.

The C-suffix devices are characterized for operation from 0°C to 70°C. The I-suffix devices are characterized for operation from -40°C to 85°C. The M-suffix devices are characterized for operation over the full military temperature range of -55°C to 125°C.

AVAILABLE OPTIONS

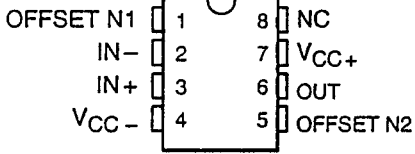
T _A	V _{IO} max AT 25°C	PACKAGE							
		SMALL OUTLINE (D)†	CHIP CARRIER (FK)	CERAMIC DIP (J)	CERAMIC DIP (JG)	PLASTIC DIP (N)	PLASTIC DIP (P)	TSSOP PACKAGE (PW)	FLAT PACKAGE (W)
0°C to 70°C	10 mV 6 mV 3 mV	TL071CD TL071ACD TL071BCD	—	—	—	—	TL071CP TL071ACP TL071BCP	TL071CPWLE — —	—
	10 mV 6 mV 3 mV	TL072CD TL072ACD TL072BCD	—	—	—	—	TL072CP TL072ACP TL072BCP	TL072CPWLE — —	—
	10 mV 6 mV 3 mV	TL074CD TL074ACD TL074BCD	—	—	—	TL074CN TL074ACN TL074BCN	— — —	TL074CPWLE — —	—
-40°C to 85°C	6 mV	TL071ID TL072ID TL074ID	—	—	—	— — TL074IN	TL071IP TL072P —	— — —	—
-55°C to 125°C	6 mV 6 mV 9 mV	—	TL071MFK TL072MFK TL074MFK	— — TL074MJ	TL071MJG TL072MJG —	—	—	—	— — TL074MW

† The D package is available taped and reeled. Add the suffix R to the device type (e.g., TL071CDR). The PW package is only available left-ended taped and reeled (e.g., TL072CPWLE).

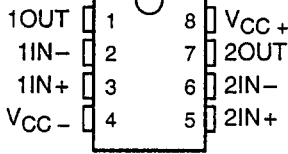
TL071, TL071A, TL071B, TL072 TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B LOW-NOISE JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS080C - SEPTEMBER 1978 - REVISED AUGUST 1994

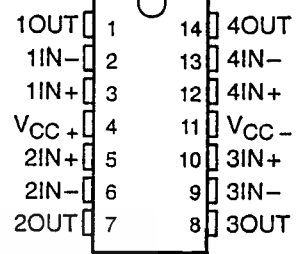
TL071, TL071A, TL071B
D, JG, P, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)



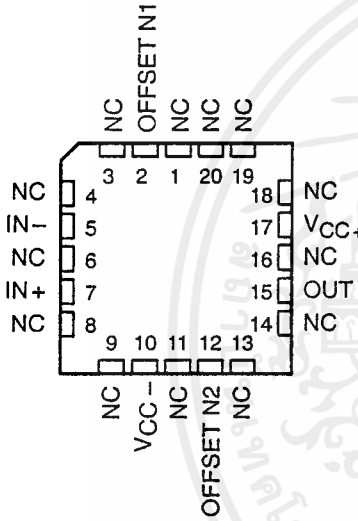
TL072, TL072A, TL072B
D, JG, P, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)



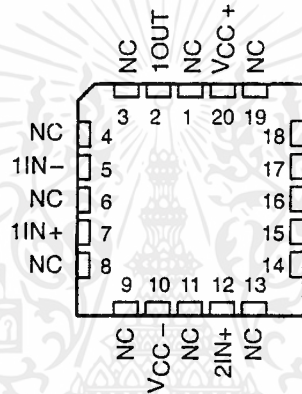
TL074, TL074A, TL074B
D, J, N, OR PW PACKAGE
TL074...W PACKAGE
(TOP VIEW)



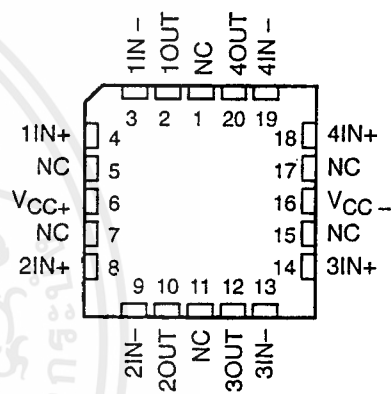
TL071
FK PACKAGE
(TOP VIEW)



TL072
FK PACKAGE
(TOP VIEW)



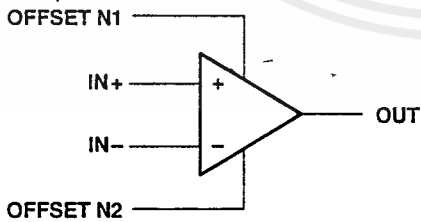
TL074
FK PACKAGE
(TOP VIEW)



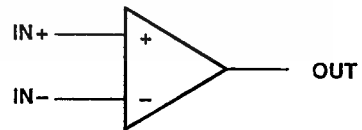
NC - No internal connection

symbols

TL071



TL072 (each amplifier)
TL074 (each amplifier)



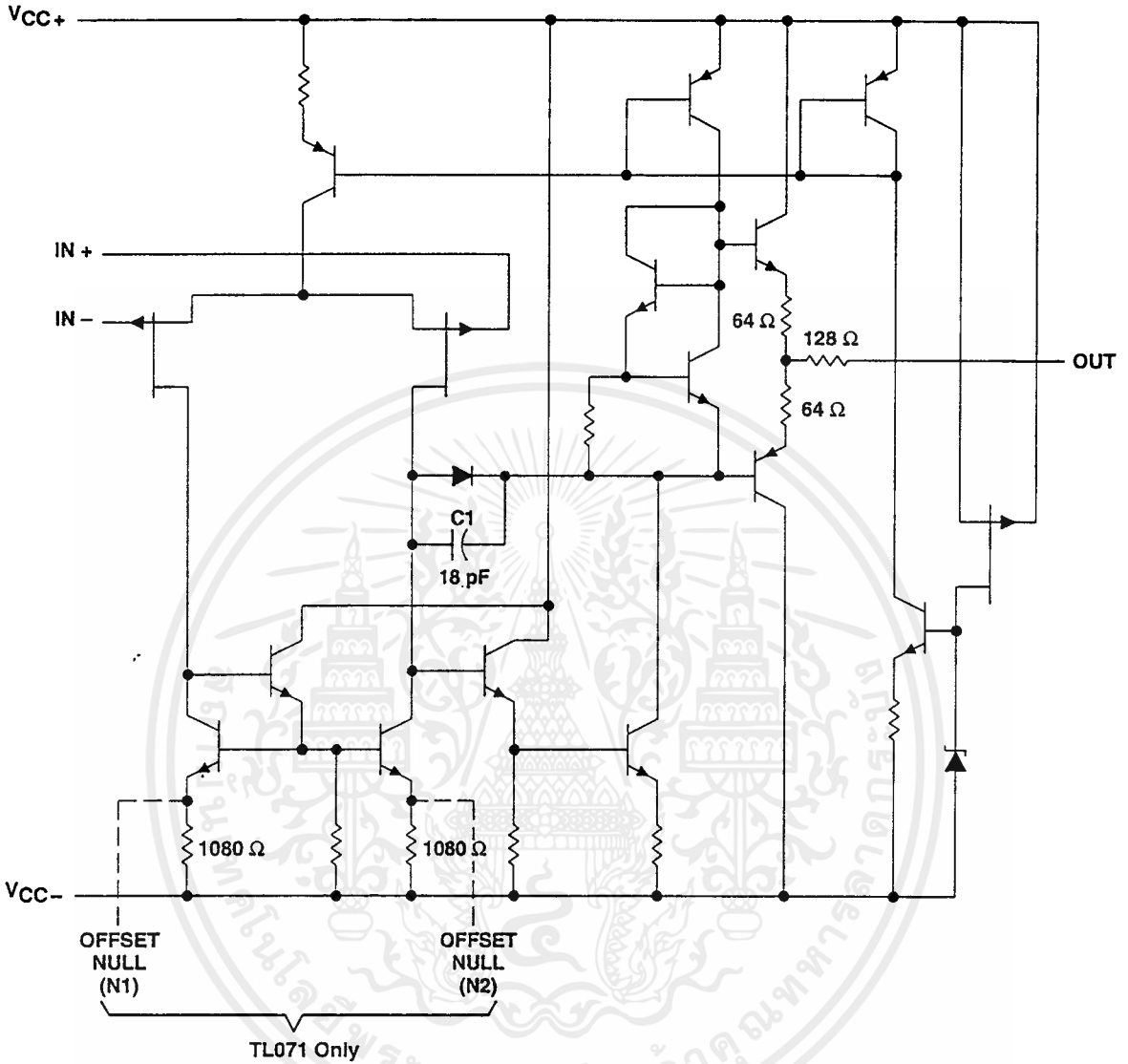
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ปลอดภัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า



**TL071, TL071A, TL071B, TL072
TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B
LOW-NOISE JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS**

SLOS080C - SEPTEMBER 1978 - REVISED AUGUST 1994

schematic (each amplifier)



All component values shown are nominal.

COMPONENT COUNT†			
COMPONENT TYPE	TL071	TL072	TL074
Resistors	11	22	44
Transistors	14	28	56
JFET	2	4	6
Diodes	1	2	4
Capacitors	1	2	4
epi-FET	1	2	4

† Includes bias and trim circuitry



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ **TEXAS INSTRUMENTS** ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจาก Texas Instruments

POST OFFICE BOX 655303 • DALLAS, TEXAS 75265
POST OFFICE BOX 1443 • HOUSTON, TEXAS 77251-1443

เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**TL071, TL071A, TL071B, TL072
TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B**
LOW-NOISE JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS080C - SEPTEMBER 1978 - REVISED AUGUST 1994

electrical characteristics, $V_{CC\pm} = \pm 15\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	T _A ‡	TL071C TL072C TL074C			TL071AC TL072AC TL074AC			TL071BC TL072BC TL074BC			TL071I TL072I TL074I			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V _{IO}	V _O = 0, R _S = 50 Ω	25°C	3	10	6	3	6	3	6	3	6	3	6	mV	
αV _{IO}	V _O = 0, R _S = 50 Ω	Full range		13		7.5		5		8		8			
I _{IO}	V _O = 0	Full range	18		18			18		18		18		μV/°C	
I _Q	V _O = 0	25°C	5	100	5	100	5	100	5	100	5	100	pA		
I _B	V _O = 0	Full range		10		2		2		2		2	nA		
I _B	V _O = 0	25°C	65	200	65	200	65	200	65	200	65	200	pA		
I _B	V _O = 0	Full range		7		7		7		7		20	nA		
V _{ICR}	Common-mode input voltage range	25°C	±11	to 15	±12	to 15	±11	to 15	±12	to 15	±11	to 15	±12	V	
V _{OM}	Maximum peak output voltage swing	25°C	±12	±13.5	±12	±13.5	±12	±13.5	±12	±13.5	±12	±13.5		V	
V _{OM}	Maximum peak output voltage swing	Full range	±12		±12		±12		±12		±12			V	
V _{OM}	Maximum peak output voltage swing	Full range	±10		±10		±10		±10		±10			V	
AVD	Large-signal differential voltage amplification	25°C	25	200	50	200	50	200	50	200	50	200		V/mV	
AVD	Large-signal differential voltage amplification	Full range	15		25		25		25		25			V/mV	
B ₁	Unity-gain bandwidth	25°C		3		3		3		3		3		MHZ	
η	Input resistance	25°C		10 ¹²		10 ¹²		10 ¹²		10 ¹²		10 ¹²		Ω	
CMRR	Common-mode rejection ratio	25°C	70	100	75	100	75	100	75	100	75	100		dB	
kSVR	Supply-voltage rejection ratio (ΔV _{CC±} /ΔV _{IO})	25°C	70	100	80	100	80	100	80	100	80	100		dB	
I _{CC}	Supply current (each amplifier)	25°C	1.4	2.5	1.4	2.5	1.4	2.5	1.4	2.5	1.4	2.5		mA	
V _{O1} /V _{O2}	Crosstalk attenuation	25°C	120		120		120		120		120			dB	

† All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode voltage unless otherwise specified.

‡ Full range is T_A = 0°C to 70°C for TL07_C, TL07_AC, TL07_BC and is T_A = -40°C to 85°C for TL07_I.

§ Input bias currents of a FET-input operational amplifier are normal junction reverse currents, which are temperature sensitive as shown in Figure 4. Pulse techniques must be used that will maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible.



**TL071, TL071A, TL071B, TL072
TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B**
LOW-NOISE JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS
SLOS080C – SEPTEMBER 1978 – REVISED AUGUST 1994

operating characteristics, $V_{CC\pm} = \pm 15\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$

PARAMETER	TEST CONDITIONS	TL07xM			ALL OTHERS			UNIT
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
SR	Slew rate at unity gain $V_I = 10\text{ V}$, $C_L = 100\text{ pF}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$, See Figure 1	5	13		8	13		$\text{V}/\mu\text{s}$
t_r	Rise time overshoot factor $V_I = 20\text{ mV}$, $C_L = 100\text{ pF}$, $R_L = 2\text{ k}\Omega$, See Figure 1		0.1			0.1		μs
			20%			20%		
V_n	Equivalent input noise voltage $R_S = 20\ \Omega$	$f = 1\text{ kHz}$		18		18		$\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$
		$f = 10\text{ Hz to } 10\text{ kHz}$		4		4		μV
I_n	Equivalent input noise current $R_S = 20\ \Omega$, $f = 1\text{ kHz}$		0.01			0.01		$\text{pA}/\sqrt{\text{Hz}}$
THD	Total harmonic distortion $V_{O(\text{RMS})} = 10\text{ V}$, $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$, $R_S \leq 1\text{ k}\Omega$, $f = 1\text{ kHz}$		0.003%			0.003%		

PARAMETER MEASUREMENT INFORMATION

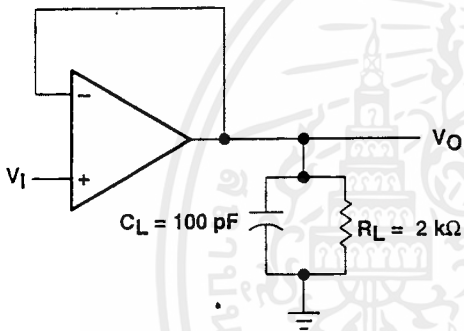


Figure 1. Unity-Gain Amplifier

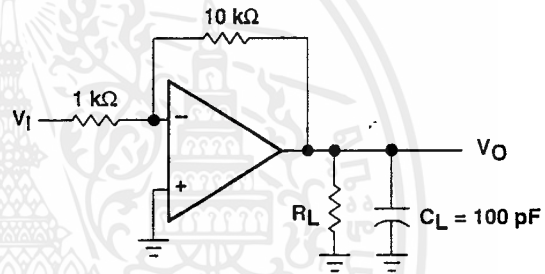


Figure 2. Gain-of-10 Inverting Amplifier

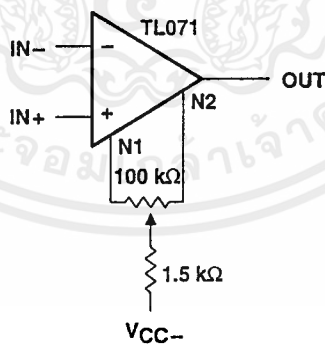


Figure 3. Input Offset Voltage Null Circuit

TL071, TL071A, TL071B, TL072
TL072A, TL072B, TL074, TL074A, TL074B
LOW-NOISE JFET-INPUT OPERATIONAL AMPLIFIERS

SLOS080C – SEPTEMBER 1978 – REVISED AUGUST 1994

electrical characteristics, $V_{CC\pm} = \pm 15\text{ V}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	T_A ‡	TL071M TL072M			TL074M			UNIT
			MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_{IO} Input offset voltage	$V_O = 0, R_S = 50\ \Omega$	25°C	3	6		3	9	mV	
		Full range			9		15		
α_{VIO} Temperature coefficient of input offset voltage	$V_O = 0, R_S = 50\ \Omega$	Full range	18			18			$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
I_{IO} Input offset current	$V_O = 0$	25°C	5	100		5	100	pA	
		Full range		20		20		nA	
I_{IB} Input bias current‡	$V_O = 0$	25°C	65	200		65	200	pA	
		Full range		50		50		nA	
V_{ICR} Common-mode input voltage range		25°C	± 11	-12 to 15		± 11	-12 to 15	V	
V_{OM} Maximum peak output voltage swing	$R_L = 10\ \text{k}\Omega$	25°C	± 12	± 13.5		± 12	± 13.5	V	
	$R_L \geq 10\ \text{k}\Omega$	Full range	± 12			± 12			
	$R_L \geq 2\ \text{k}\Omega$		± 10			± 10			
A_{VD} Large-signal differential voltage amplification	$V_O = \pm 10\ \text{V}, R_L \geq 2\ \text{k}\Omega$	25°C	35	200		35	200	V/mV	
		Full range	15			15			
B_1 Unity-gain bandwidth	$T_A = 25^\circ\text{C}$		3			3			MHz
r_i Input resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}$		10^{12}			10^{12}			Ω
CMRR Common-mode rejection ratio	$V_{IC} = V_{ICRmin}, V_O = 0, R_S = 50\ \Omega$	25°C	80	86		80	86	dB	
k_{SVR} Supply-voltage rejection ratio ($\Delta V_{CC\pm}/\Delta V_{IO}$)	$V_{CC} = \pm 9\ \text{V to } \pm 15\ \text{V}, V_O = 0, R_S = 50\ \Omega$	25°C	80	86		80	86	dB	
I_{CC} Supply current (each amplifier)	$V_O = 0, \text{ No load}$	25°C	1.4 2.5			1.4 2.5			mA
V_{O1}/V_{O2} Crosstalk attenuation	$A_{VD} = 100$	25°C	120			120			dB

† Input bias currents of a FET-input operational amplifier are normal junction reverse currents, which are temperature sensitive as shown in Figure 4. Pulse techniques must be used that will maintain the junction temperature as close to the ambient temperature as possible.

‡ All characteristics are measured under open-loop conditions with zero common-mode voltage unless otherwise specified. Full range is $T_A = -55^\circ\text{C to } 125^\circ\text{C}$.

74VHC4046 CMOS Phase Lock Loop

General Description

The 74VHC4046 is a low power phase lock loop utilizing advanced silicon-gate CMOS technology to obtain high frequency operation both in the phase comparator and VCO sections. This device contains a low power linear voltage controlled oscillator (VCO), a source follower, and three phase comparators. The three phase comparators have a common signal input and a common comparator input. The signal input has a self biasing amplifier allowing signals to be either capacitively coupled to the phase comparators with a small signal or directly coupled with standard input logic levels. This device is similar to the CD4046 except that the Zener diode of the metal gate CMOS device has been replaced with a third phase comparator.

Phase Comparator I is an exclusive OR (XOR) gate. It provides a digital error signal that maintains a 90 phase shift between the VCO's center frequency and the input signal (50% duty cycle input waveforms). This phase detector is more susceptible to locking onto harmonics of the input frequency than phase comparator I, but provides better noise rejection.

Phase comparator III is an SR flip-flop gate. It can be used to provide the phase comparator functions and is similar to the first comparator in performance.

Phase comparator II is an edge sensitive digital sequential network. Two signal outputs are provided, a comparator output and a phase pulse output. The comparator output is a TRI-STATE® output that provides a signal that locks the VCO output signal to the input signal with 0 phase shift between them. This comparator is more susceptible to noise throwing the loop out of lock, but is less likely to lock onto harmonics than the other two comparators.

In a typical application any one of the three comparators feed an external filter network which in turn feeds the VCO input. This input is a very high impedance CMOS input which also drives the source follower. The VCO's operating frequency is set by three external components connected to the C1A, C1B, R1 and R2 pins. An inhibit pin is provided to disable the VCO and the source follower, providing a method of putting the IC in a low power state.

The source follower is a MOS transistor whose gate is connected to the VCO input and whose drain connects the Demodulator output. This output normally is used by tying a resistor from pin 10 to ground, and provides a means of looking at the VCO input without loading down modifying the characteristics of the PLL filter.

Features

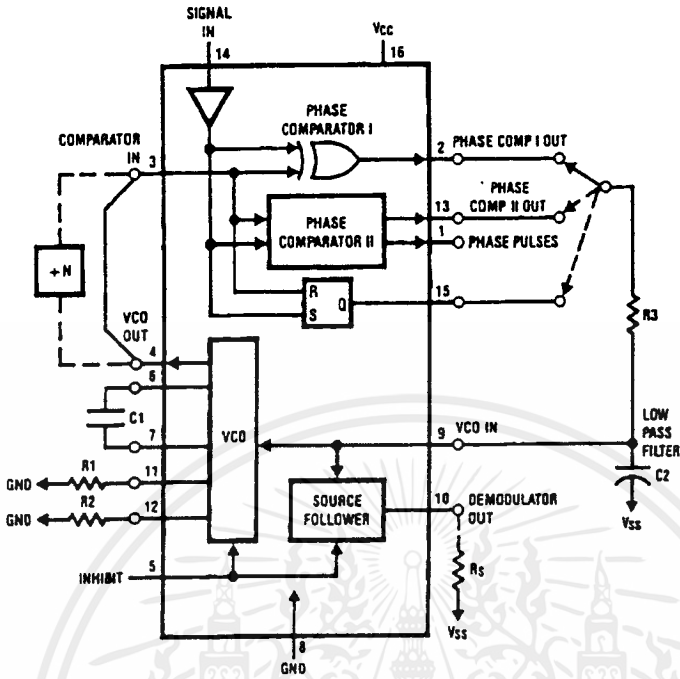
- Low dynamic power consumption (V_{CC} = 4.5V)
- Maximum VCO operating frequency: 12 MHz (V_{CC} = 4.5V)
- Fast comparator response time (V_{CC} = 4.5V)
 - Comparator I: 25 ns
 - Comparator II: 30 ns
 - Comparator III: 25 ns
- VCO has high linearity and high temperature stability
- Pin and function compatible with the 74HC4046

Commercial	Package Number	Package Description
74VHC4046M	M16A	16-Lead Molded JEDEC SOIC
74VHC4046N	N16E	16-Lead Molded DIP

Note: Surface mount packages are also available on Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter "X" to the ordering code.

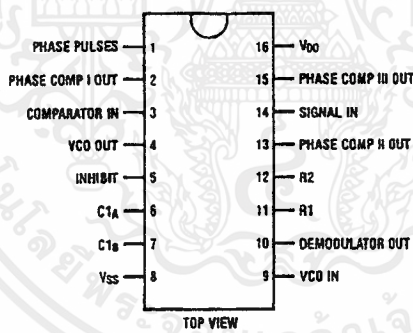
TRI-STATE® is a registered trademark of National Semiconductor Corporation.

Block and Connection Diagrams



TL/F/11675-1

Pin Assignment for SOIC and PDIP



TL/F/11675-2

Absolute Maximum Ratings (Notes 1 & 2)

Supply Voltage (V_{CC})	-0.5 to + 7.0V
DC Input Voltage (V_{IN})	-1.5 to V_{CC} + 1.5V
DC Output Voltage (V_{OUT})	-0.5 to V_{CC} + 0.5V
Clamp Diode Current (I_{IK}, I_{OK})	± 20 mA
DC Output Current per pin (I_{OUT})	± 25 mA
DC V_{CC} or GND Current, per pin (I_{CC})	± 50 mA
Storage Temperature Range (T_{STG})	-65°C + 150°C
Power Dissipation (P_D) (Note 3)	600 mW
S.O. Package only	500 mW
Lead Temperature (T_L) (Soldering 10 seconds)	260°C

Operating Conditions

	Min	Max	Units
Supply Voltage (V_{CC})	2	6	V
DC Input or Output Voltage (V_{IN}, V_{OUT})	0	V_{CC}	V
Operating Temp. Range (T_A) 74VHC	-40	+85	°C
Input Rise or Fall Times (t_r, t_f)			
$V_{CC} = 2.0V$		1000	ns
$V_{CC} = 4.5V$		500	ns
$V_{CC} = 6.0V$		400	ns

DC Electrical Characteristics (Note 4)

Symbol	Parameter	Conditions	V_{CC}	$T_A = 25^\circ C$		74VHC $T_A = -40$ to $85^\circ C$		Units
				Typ	Guaranteed Limits			
V_{IH}	Minimum High Level Input Voltage		2.0V	1.5	1.5	V		
			4.5V	3.15	3.15	V		
			6.0V	4.2	4.2	V		
V_{IL}	Maximum Low Level Input Voltage		2.0V	0.5	0.5	V		
			4.5V	1.35	1.35	V		
			6.0V	1.8	1.8	V		
V_{OH}	Minimum High Level Output Voltage	$V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} $ I_{OUT} \leq 20 \mu A$	2.0V	2.0	1.9	V		
			4.5V	4.5	4.4	V		
			6.0V	6.0	5.9	V		
		4.5V	$V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} $ I_{OUT} \leq 4.0$ mA $ I_{OUT} \leq 5.2$ mA	4.2	3.98	3.84	V	
				6.0V	5.7	5.48	5.34	V
V_{OL}	Maximum Low Level Output Voltage	$V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} $ I_{OUT} \leq 20 \mu A$	2.0V	0	0.1	V		
			4.5V	0	0.1	V		
			6.0V	0	0.1	V		
		4.5V	$V_{IN} = V_{IH}$ or V_{IL} $ I_{OUT} \leq 4.0$ mA $ I_{OUT} \leq 5.2$ mA	0.2	0.26	0.33	V	
				6.0V	0.2	0.26	0.33	V
I_{IN}	Maximum Input Current (Pins 3,5,9)	$V_{IN} = V_{CC}$ or GND	6.0V	±0.1	±1.0	μA		
I_{IN}	Maximum Input Current (Pin 14)	$V_{IN} = V_{CC}$ or GND	6.0V	20	50	80	μA	
I_{OZ}	Maximum TRI-STATE Output Leakage Current (Pin 13)	$V_{OUT} = V_{CC}$ or GND	6.0V	±0.25	±2.5	μA		
I_{CC}	Maximum Quiescent Supply Current	$V_{IN} = V_{CC}$ or GND $I_{OUT} = 0 \mu A$	6.0V	30	40	65	μA	
		$V_{IN} = V_{CC}$ or GND Pin 14 Open	6.0V	600	750	1200	μA	

Note 1: Maximum Ratings are those values beyond which damage to the device may occur.

Note 2: Unless otherwise specified all voltages are referenced to ground.

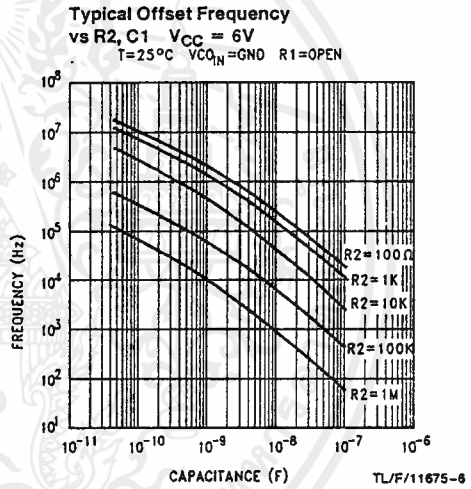
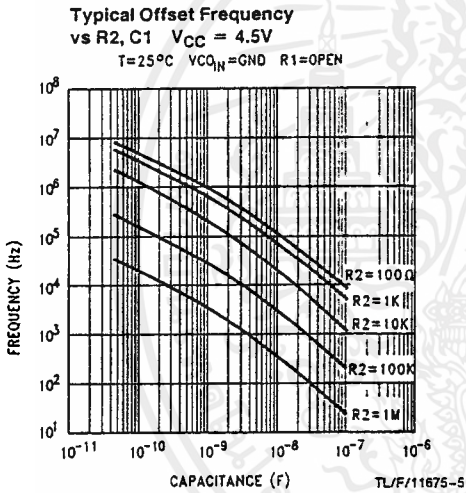
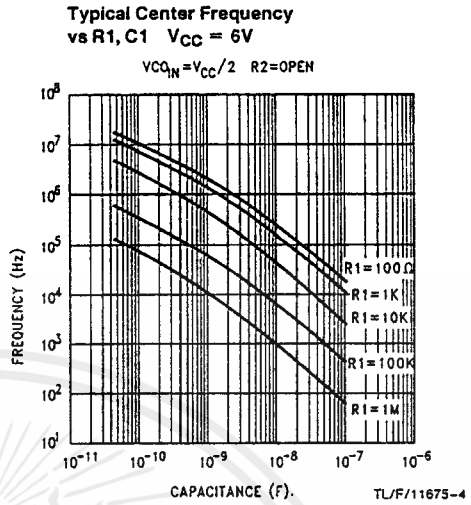
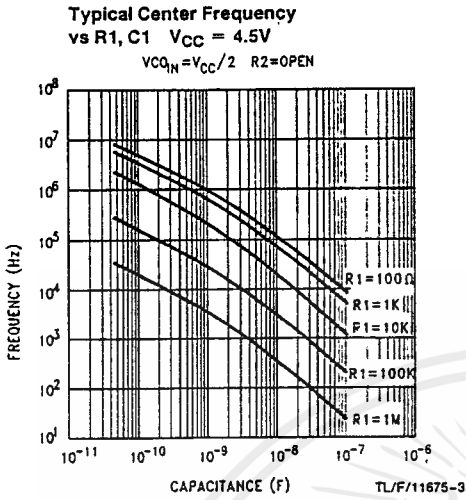
Note 3: Power Dissipation temperature derating — plastic "N" package: -12 mW/°C from 65°C to 85°C.

Note 4: For a power supply of 5V ± 10% the worst case output voltages (V_{OH} and V_{OL}) occur for VHC at 4.5V. Thus the 4.5V values should be used when designing with this supply. Worst case V_{IH} and V_{IL} occur at $V_{CC} = 5.5V$ and 4.5V respectively. (The V_{IH} value at 5.5V is 3.85V.) The worst case leakage current (I_{IN} , I_{CC} , and I_{OZ}) occur for CMOS at the higher voltage and so the 6.0V values should be used.

AC Electrical Characteristics $V_{CC} = 2.0$ to $6.0V$, $CL = 50$ pF, $t_r = t_f = 6$ ns (unless otherwise specified.)

Symbol	Parameters	Conditions	V_{CC}	T = 25°C		74VHC	Units
				Typ	Guaranteed Limits		
	AC Coupled Input Sensitivity, Signal In	C (series) = 100 pF $f_{IN} = 500$ kHz	2.0V 4.5V 6.0V	25 50 135	100 150 250	150 200 300	mV mV mV
t_r, t_f	Maximum Output Rise and Fall Time		2.0V 4.5V 6.0V	30 9 8	75 15 12	95 19 15	ns ns ns
C_{IN}	Maximum Input Capacitance		7				pF
Phase Comparator I							
t_{PHL}, t_{PLH}	Maximum Propagation Delay		3.3V 4.5V 6.0V	65 25 20	117 40 34	146 50 43	ns ns ns
Phase Comparator II							
t_{PZL}	Maximum TRI-STATE Enable Time		3.3V 4.5V 6.0V	75 25 22	130 45 38	160 56 48	ns ns ns
t_{PZH}, t_{PHZ}	Maximum TRI-STATE Enable Time		3.3V 4.5V 6.0V	88 30 25	140 48 41	175 60 51	ns ns ns
t_{PLZ}	Maximum TRI-STATE Disable Time		3.3V 4.5V 6.0V	90 32 28	140 48 41	175 60 51	ns ns ns
t_{PHL}, t_{PLH}	Maximum Propagation Delay High to Low to Phase Pulses		3.3V 4.5V 6.0V	100 34 27	146 50 43	180 63 53	ns ns ns
Phase Comparator III							
t_{PHL}, t_{PLH}	Maximum Propagation Delay		3.3V 4.5V 6.0V	75 25 22	117 40 34	146 50 43	ns ns ns
C_{PD}	Maximum Power Dissipation Capacitance	All Comparators $V_{IN} = V_{CC}$ and GND		130			pF
Voltage Controlled Oscillator (Specified to operate from $V_{CC} = 3.0V$ to $6.0V$)							
f_{MAX}	Maximum Operating Frequency	C1 = 50 pF R1 = 100Ω R2 = ∞ $V_{COin} = V_{CC}$ C1 = 0 pF R1 = 100Ω $V_{COin} = V_{CC}$	4.5V 6.0V 4.5V 6.0V	7 11 12 14	4.5 7		MHz MHz MHz MHz
	Duty Cycle			50			%
Demodulator Output							
	Offset Voltage $V_{COin} - V_{dem}$	$R_S = 20$ kΩ	4.5V	0.75	1.3	1.5	V
	Offset Variation	$R_S = 20$ kΩ $V_{COin} = 1.75V$ 2.25V 2.75V	4.5V	0.65 0.1 0.75			V

Typical Performance Characteristics



CD4051BM/CD4051BC Single 8-Channel Analog Multiplexer/Demultiplexer
CD4052BM/CD4052BC Dual 4-Channel Analog Multiplexer/Demultiplexer
CD4053BM/CD4053BC Triple 2-Channel Analog Multiplexer/Demultiplexer

General Description

These analog multiplexers/demultiplexers are digitally controlled analog switches having low "ON" impedance and very low "OFF" leakage currents. Control of analog signals up to 15V_{p-p} can be achieved by digital signal amplitudes of 3-15V. For example, if V_{DD} = 5V, V_{SS} = 0V and V_{EE} = -5V, analog signals from -5V to +5V can be controlled by digital inputs of 0-5V. The multiplexer circuits dissipate extremely low quiescent power over the full V_{DD}-V_{SS} and V_{DD}-V_{EE} supply voltage ranges, independent of the logic state of the control signals. When a logical "1" is present at the inhibit input terminal all channels are "OFF".

CD4051BM/CD4051BC is a single 8-channel multiplexer having three binary control inputs, A, B, and C, and an inhibit input. The three binary signals select 1 of 8 channels to be turned "ON" and connect the input to the output.

CD4052BM/CD4052BC is a differential 4-channel multiplexer having two binary control inputs, A and B, and an inhibit input. The two binary input signals select 1 or 4 pairs of channels to be turned on and connect the differential analog inputs to the differential outputs.

CD4053BM/CD4053BC is a triple 2-channel multiplexer having three separate digital control inputs, A, B, and C, and

an inhibit input. Each control input selects one of a pair of channels which are connected in a single-pole double-throw configuration.

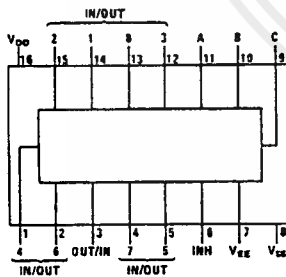
Features

- Wide range of digital and analog signal levels: digital 3-15V, analog to 15V_{p-p}
- Low "ON" resistance: 80Ω (typ.) over entire 15V_{p-p} signal-input range for V_{DD}-V_{EE} = 15V
- High "OFF" resistance: channel leakage of ±10 pA (typ.) at V_{DD}-V_{EE} = 10V
- Logic level conversion for digital addressing signals of 3-15V (V_{DD}-V_{SS} = 3-15V) to switch analog signals to 15 V_{p-p} (V_{DD}-V_{EE} = 15V)
- Matched switch characteristics: ΔR_{ON} = 5Ω (typ.) for V_{DD}-V_{EE} = 15V
- Very low quiescent power dissipation under all digital-control input and supply conditions: 1 μW (typ.) at V_{DD}-V_{SS} = V_{DD}-V_{EE} = 10V
- Binary address decoding on chip

Connection Diagrams

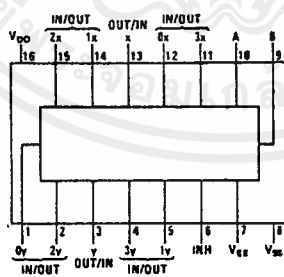
Dual-In-Line Packages

CD4051BM/CD4051BC



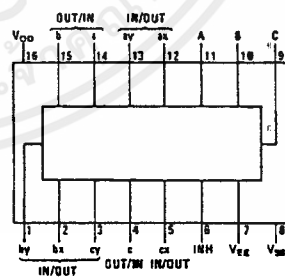
TOP VIEW

CD4052BM/CD4052BC



TOP VIEW

CD4053BM/CD4053BC



TOP VIEW

TL/F/5662-1

Order Number CD4051B, CD4052B, or CD4053B

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.

DC Supply Voltage (V_{DD})	-0.5 V_{DC} to +18 V_{DC}
Input Voltage (V_{IN})	-0.5 V_{DC} to V_{DD} + 0.5 V_{DC}
Storage Temperature Range (T_S)	-65°C to +150°C
Power Dissipation (P_D)	
Dual-In-Line	700 mW
Small Outline	500 mW
Lead Temp. (T_L) (soldering, 10 sec.)	260°C

Recommended Operating Conditions

DC Supply Voltage (V_{DD})	+5 V_{DC} to +15 V_{DC}
Input Voltage (V_{IN})	0V to V_{DD} V_{DC}
Operating Temperature Range (T_A)	
4051BM/4052BM/4053BM	-55°C to +125°C
4051BC/4052BC/4053BC	-40°C to +85°C

DC Electrical Characteristics (Note 2)

Symbol	Parameter	Conditions	-55°C		+25°		+125°C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	
I_{DD}	Quiescent Device Current	$V_{DD} = 5V$		5			5	150	μA
		$V_{DD} = 10V$		10		10	300	μA	
		$V_{DD} = 15V$		20		20	600	μA	

Signal Inputs (V_{IS}) and Outputs (V_{OS})

R_{ON}	"ON" Resistance (Peak for $V_{EE} \leq V_{IS} \leq V_{DD}$)	$R_L = 10 \text{ k}\Omega$ (any channel selected)	$V_{DD} = 2.5V$, $V_{EE} = -2.5V$ or $V_{DD} = 5V$, $V_{EE} = 0V$	800		270	1050	1300	Ω
			$V_{DD} = 5V$, $V_{EE} = -5V$ or $V_{DD} = 10V$, $V_{EE} = 0V$	310		120	400	550	Ω
			$V_{DD} = 7.5V$, $V_{EE} = -7.5V$ or $V_{DD} = 15V$, $V_{EE} = 0V$	200		80	240	320	Ω
ΔR_{ON}	Δ "ON" Resistance Between Any Two Channels	$R_L = 10 \text{ k}\Omega$ (any channel selected)	$V_{DD} = 2.5V$, $V_{EE} = -2.5V$ or $V_{DD} = 5V$, $V_{EE} = 0V$			10			Ω
			$V_{DD} = 5V$, $V_{EE} = -5V$ or $V_{DD} = 10V$, $V_{EE} = 0V$			10			Ω
			$V_{DD} = 7.5V$, $V_{EE} = -7.5V$ or $V_{DD} = 15V$, $V_{EE} = 0V$			5			Ω
	"OFF" Channel Leakage Current, any channel "OFF"	$V_{DD} = 7.5V$, $V_{EE} = -7.5V$ $O/I = \pm 7.5V$, $I/O = 0V$		± 50		± 0.01	± 50	± 500	nA
	"OFF" Channel Leakage Current, all channels "OFF" (Common OUT/IN)	Inhibit = 7.5V	CD4051	± 200		± 0.08	± 200	± 2000	nA
$V_{DD} = 7.5V$, $V_{EE} = -7.5V$, $O/I = 0V$,		CD4052	± 200		± 0.04	± 200	± 2000	nA	
$I/O = \pm 7.5V$		CD4053	± 200		± 0.02	± 200	± 2000	nA	

Control Inputs A, B, C and Inhibit

V_{IL}	Low Level Input Voltage	$V_{EE} = V_{SS}$ $R_L = 1 \text{ k}\Omega$ to V_{SS} $I_{IS} < 2 \mu A$ on all OFF channels $V_{IS} = V_{DD}$ thru $1 \text{ k}\Omega$ $V_{DD} = 5V$ $V_{DD} = 10V$ $V_{DD} = 15V$							
				1.5		1.5	1.5	V	
				3.0		3.0	3.0	V	
				4.0		4.0	4.0	V	
V_{IH}	High Level Input Voltage	$V_{DD} = 5$ $V_{DD} = 10$ $V_{DD} = 15$	3.5		3.5		3.5	V	
			7		7		7	V	
			11		11		11	V	

Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. Except for "Operating Temperature Range" they are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.

Note 2: All voltages measured with respect to V_{SS} unless otherwise specified.

DC Electrical Characteristics (Note 2) (Continued)

Symbol	Parameter	Conditions	-40°C		+25°C			+85°C		Units		
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	Max			
I _{IN}	Input Current	V _{DD} = 15V, V _{IN} = 0V, V _{EE} = 0V		-0.1		-10 ⁻⁵	-0.1		-1.0	μA		
		V _{DD} = 15V, V _{IN} = 15V, V _{EE} = 0V		0.1		10 ⁻⁵	0.1		1.0	μA		
I _{DD}	Quiescent Device Current	V _{DD} = 5V		20			20		150	μA		
		V _{DD} = 10V		40			40		300	μA		
		V _{DD} = 15V		80			80		600	μA		
Signal Inputs (V_{IS}) and Outputs (V_{OS})												
R _{ON}	"ON" Resistance (Peak for V _{EE} ≤ V _{IS} ≤ V _{DD})	R _L = 10 kΩ (any channel selected)	V _{DD} = 2.5V, V _{EE} = -2.5V or V _{DD} = 5V, V _{EE} = 0V		850		270	1050		1200	Ω	
			V _{DD} = 5V, V _{EE} = -5V or V _{DD} = 10V, V _{EE} = 0V		330		120	400		520	Ω	
			V _{DD} = 7.5V, V _{EE} = -7.5V or V _{DD} = 15V, V _{EE} = 0V		210		80	240		300	Ω	
ΔR _{ON}	Δ"ON" Resistance Between Any Two Channels	R _L = 10 kΩ (any channel selected)	V _{DD} = 2.5V, V _{EE} = -2.5V or V _{DD} = 5V, V _{EE} = 0V				10				Ω	
			V _{DD} = 5V, V _{EE} = -5V or V _{DD} = 10V, V _{EE} = 0V				10					Ω
			V _{DD} = 7.5V, V _{EE} = -7.5V or V _{DD} = 15V, V _{EE} = 0V				5					Ω
	"OFF" Channel Leakage Current, any channel "OFF"	V _{DD} = 7.5V, V _{EE} = -7.5V, O/I = ±7.5V, I/O = 0V		±50		±0.01	±50		±500	nA		
	"OFF" Channel Leakage Current, all channels "OFF" (Common OUT/IN)	Inhibit = 7.5V, V _{DD} = 7.5V, V _{EE} = -7.5V, O/I = 0V	CD4051	±200		±0.08	±200		±2000	nA		
		CD4052	±200		±0.04	±200		±2000	nA			
		CD4053	±200		±0.02	±200		±2000	nA			
Control Inputs A, B, C and Inhibit												
V _{IL}	Low Level Input Voltage	V _{EE} = V _{SS} , R _L = 1 kΩ to V _{SS} , I _{IS} < 2 μA on all OFF Channels, V _{IS} = V _{DD} thru 1 kΩ										
		V _{DD} = 5V		1.5			1.5		1.5	V		
		V _{DD} = 10V		3.0			3.0		3.0	V		
		V _{DD} = 15V		4.0			4.0		4.0	V		
V _{IH}	High Level Input Voltage	V _{DD} = 5	3.5		3.5			3.5		V		
		V _{DD} = 10	7		7			7		V		
		V _{DD} = 15	11		11			11		V		
I _{IN}	Input Current	V _{DD} = 15V, V _{IN} = 0V, V _{EE} = 0V		-0.1		-10 ⁻⁵	-0.1		-1.0	μA		
		V _{DD} = 15V, V _{IN} = 15V, V _{EE} = 0V		0.1		10 ⁻⁵	0.1		1.0	μA		
<p>Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed. Except for "Operating Temperature Range" they are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.</p> <p>Note 2: All voltages measured with respect to V_{SS} unless otherwise specified.</p>												

AC Electrical Characteristics* $T_A = 25^\circ\text{C}$, $t_r = t_f = 20$ ns, unless otherwise specified.

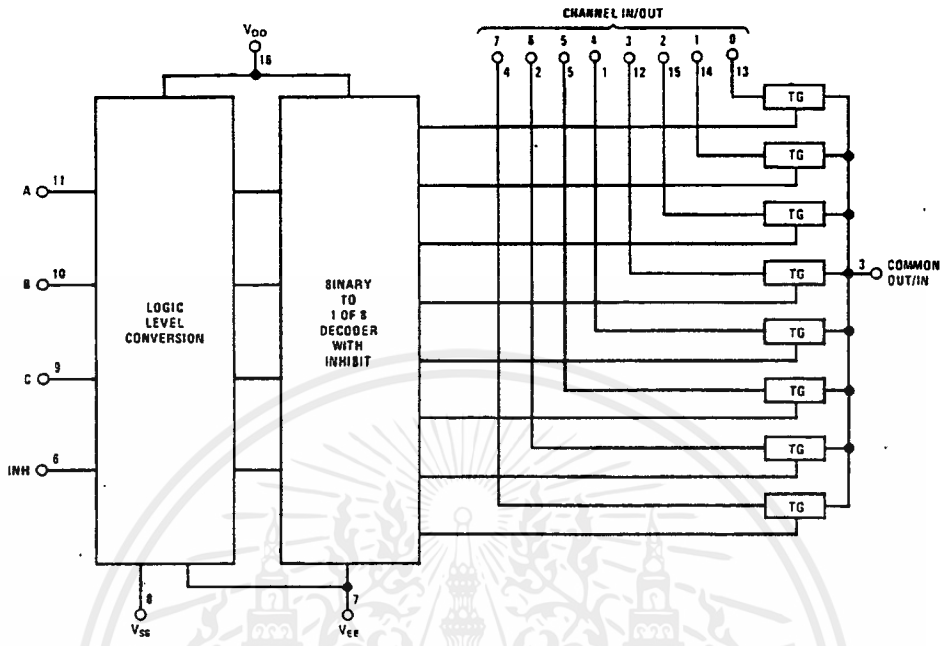
Symbol	Parameter	Conditions	V_{DD}	Min	Typ	Max	Units
t_{pZH} , t_{pZL}	Propagation Delay Time from Inhibit to Signal Output (channel turning on)	$V_{EE} = V_{SS} = 0V$ $R_L = 1\text{ k}\Omega$ $C_L = 50\text{ pF}$	5V 10V 15V		600 225 160	1200 450 320	ns ns ns
t_{pHZ} , t_{pLZ}	Propagation Delay Time from Inhibit to Signal Output (channel turning off)	$V_{EE} = V_{SS} = 0V$ $R_L = 1\text{ k}\Omega$ $C_L = 50\text{ pF}$	5V 10V 15V		210 100 75	420 200 150	ns ns ns
C_{IN}	Input Capacitance Control input Signal Input (IN/OUT)				5 10	7.5 15	μF μF
C_{OUT}	Output Capacitance (common OUT/IN)						
	CD4051 CD4052 CD4053	$V_{EE} = V_{SS} = 0V$	10V 10V 10V		30 15 8		μF μF μF
C_{IOS}	Feedthrough Capacitance				0.2		μF
C_{PD}	Power Dissipation Capacitance						
	CD4051 CD4052 CD4053				110 140 70		μF μF μF
Signal Inputs (V_{IS}) and Outputs (V_{OS})							
	Sine Wave Response (Distortion)	$R_L = 10\text{ k}\Omega$ $f_{IS} = 1\text{ kHz}$ $V_{IS} = 5\text{ V}_{p-p}$ $V_{EE} = V_{SI} = 0V$	10V		0.04		%
	Frequency Response, Channel "ON" (Sine Wave Input)	$R_L = 1\text{ k}\Omega$, $V_{EE} = 0V$, $V_{IS} = 5\text{ V}_{p-p}$, $20 \log_{10} V_{OS}/V_{IS} = -3\text{ dB}$	10V		40		MHz
	Feedthrough, Channel "OFF"	$R_L = 1\text{ k}\Omega$, $V_{EE} = V_{SS} = 0V$, $V_{IS} = 5\text{ V}_{p-p}$, $20 \log_{10} V_{OS}/V_{IS} = -40\text{ dB}$	10V		10		MHz
	Crosstalk Between Any Two Channels (frequency at 40 dB)	$R_L = 1\text{ k}\Omega$, $V_{EE} = V_{SS} = 0V$, $V_{IS}(A) = 5\text{ V}_{p-p}$, $20 \log_{10} V_{OS}(B)/V_{IS}(A) = -40\text{ dB}$ (Note 3)	10V		3		MHz
t_{pHL} , t_{pLH}	Propagation Delay Signal Input to Signal Output	$V_{EE} = V_{SS} = 0V$ $C_L = 50\text{ pF}$	5V 10V 15V		25 15 10	55 35 25	ns ns ns
Control Inputs, A, B, C and Inhibit							
	Control Input to Signal Crosstalk	$V_{EE} = V_{SS} = 0V$, $R_L = 10\text{ k}\Omega$ at both ends of channel. Input Square Wave Amplitude = 10V	10V		65		mV (peak)
t_{pHL} , t_{pLH}	Propagation Delay Time from Address to Signal Output (channels "ON" or "OFF")	$V_{EE} = V_{SS} = 0V$ $C_L = 50\text{ pF}$	5V 10V 15V		500 180 120	1000 360 240	ns ns ns

*AC Parameters are guaranteed by DC correlated testing.

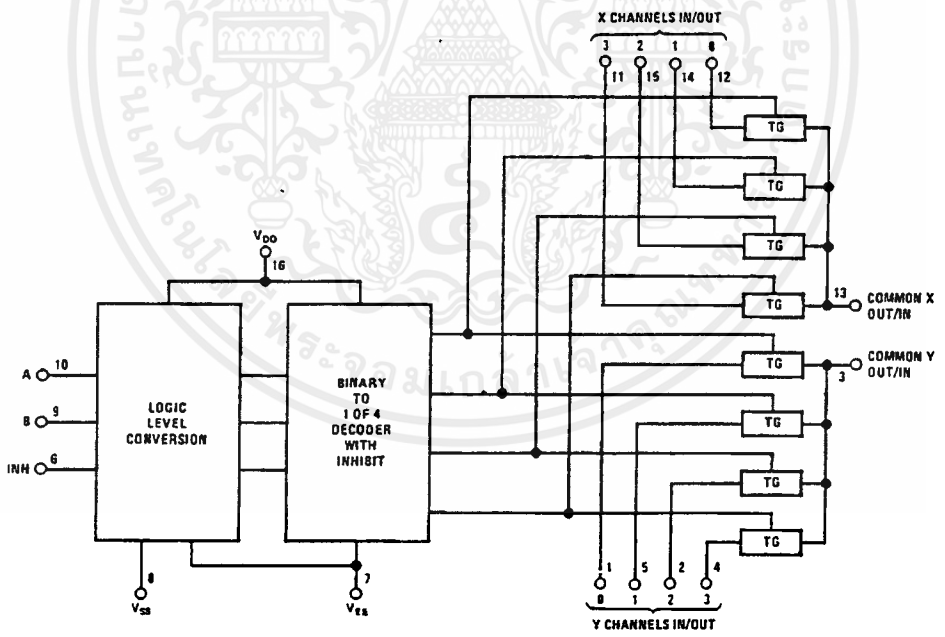
Note 3: A, B are two arbitrary channels with A turned "ON" and B "OFF".

Block Diagrams

CD4051BM/CD4051BC



CD4052BM/CD4052BC

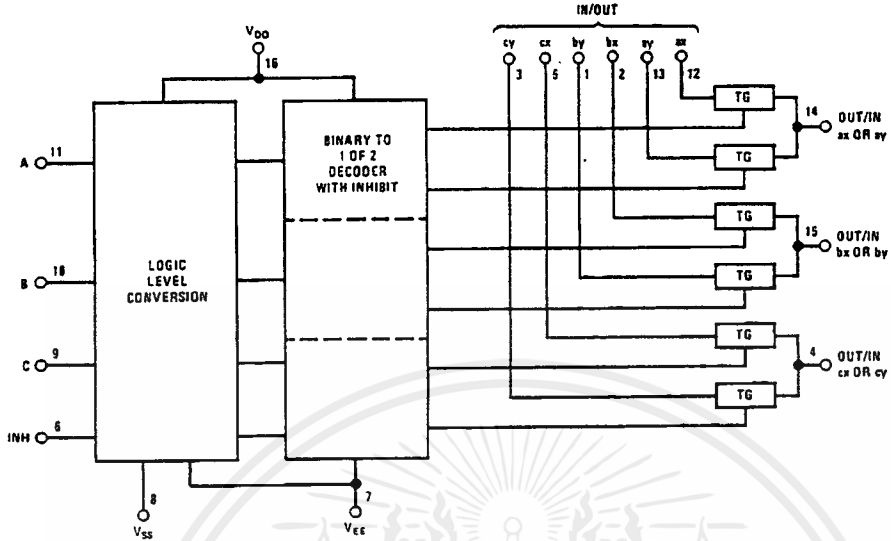


TL/F/5662-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagrams (Continued)

CD4053BM/CD4053BC



TL/F/5662-3

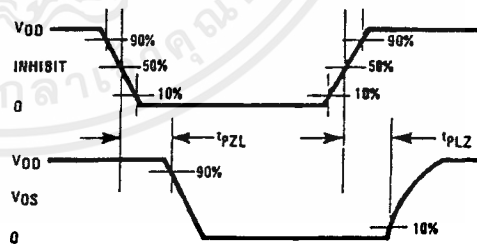
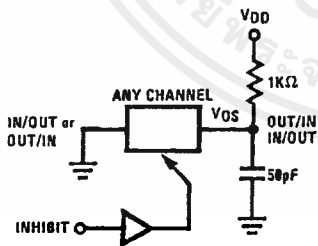
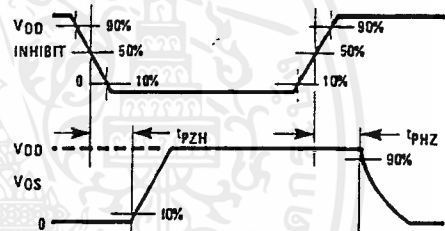
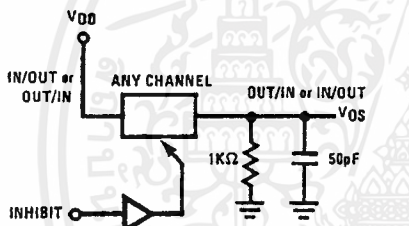
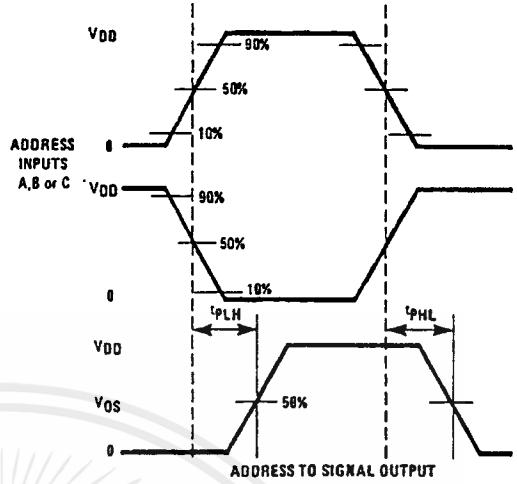
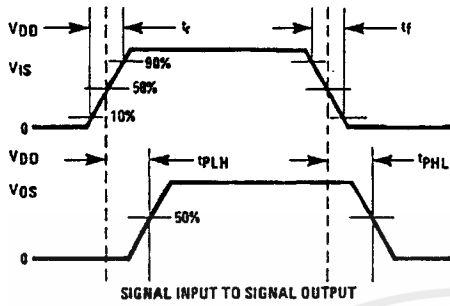
Truth Table

INPUT STATES				"ON" CHANNELS		
INHIBIT	C	B	A	CD4051B	CD4052B	CD4053B
0	0	0	0	0	0X, 0Y	cx, bx, ax
0	0	0	1	1	1X, 1Y	cx, bx, ay
0	0	1	0	2	2X, 2Y	cx, by, ax
0	0	1	1	3	3X, 3Y	cx, by, ay
0	1	0	0	4		cy, bx, ax
0	1	0	1	5		cy, bx, ay
0	1	1	0	6		cy, by, ax
0	1	1	1	7		cy, by, ay
1	*	*	*	NONE	NONE	NONE

*Don't Care condition.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Switching Time Waveforms



TL/F/5662-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

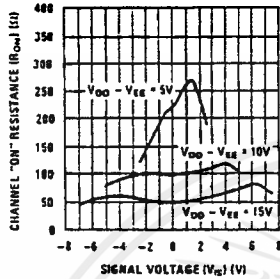
Special Considerations

In certain applications the external load-resistor current may include both V_{DD} and signal-line components. To avoid drawing V_{DD} current when switch current flows into IN/OUT pin, the voltage drop across the bidirectional switch must

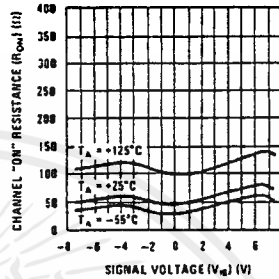
not exceed 0.6V at $T_A \leq 25^\circ\text{C}$, or 0.4V at $T_A > 25^\circ\text{C}$ (calculated from R_{ON} values shown). No V_{DD} current will flow through R_L if the switch current flows into OUT/IN pin.

Typical Performance Characteristics

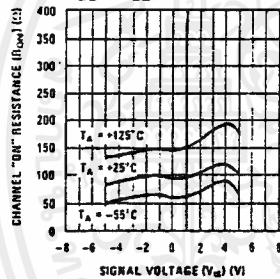
"ON" Resistance vs Signal Voltage for $T_A = 25^\circ\text{C}$



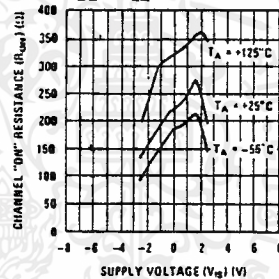
"ON" Resistance as a Function of Temperature for $V_{DD} - V_{EE} = 15\text{V}$



"ON" Resistance as a Function of Temperature for $V_{DD} - V_{EE} = 10\text{V}$



"ON" Resistance as a Function of Temperature for $V_{DD} - V_{EE} = 5\text{V}$



TL/F/5662-5

TYPES TL173I, TL173C LINEAR HALL-EFFECT SENSORS

recommended operating conditions

	TL173I			TL173C			UNIT
	MIN	NOM	MAX	MIN	NOM	MAX	
Supply voltage, V_{CC}	10.8	12	13.2	10.8	12	13.2	V
Magnetic flux density, B	±50			±50			mT
Output current, I_O	Sink		0.5	Source		0.5	mV
	Source		-2	Sink		-2	
Operating free-air temperature, T_A	-20		85	0		70	°C

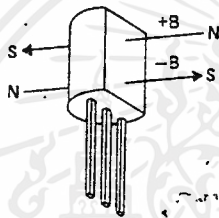
electrical characteristics over full range of recommended operating conditions (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS ¹	MIN	TYP ²	MAX	UNIT
V_O Output voltage	$I_O = -2 \text{ mA to } 0.5 \text{ mA}$	5.8	6	6.2	V
k_{SVS} Supply voltage sensitivity ($\Delta V_O / \Delta V_{CC}$)	$B = 0 \text{ mT}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	18			mV/V
S Magnetic sensitivity ($\Delta V_O / \Delta B$)	$B = -50 \text{ to } 50 \text{ mT}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$	13.5	15	18	V/T§
ΔS Magnetic sensitivity change with temperature	$\Delta T_A = 25^\circ\text{C to MIN or MAX}$	±5			%
I_{CC} Supply current	$B = 0 \text{ mT}$, $I_O = 0$	8	12		mA
f_{max} Maximum operating frequency		100			kHz

¹For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions.

²Typical values are at $V_{CC} = 12 \text{ V}$ and $T_A = 25^\circ\text{C}$.

§The unit of magnetic flux density in the International System of Units (SI) is the tesla (T). The tesla is equal to one weber per square meter. Values expressed in milliteslas may be converted to gauss by multiplying by ten, e.g., 50 millitesla = 500 gauss.



The north pole of a magnet is the pole that is attracted by the geographical north pole. The north pole of a magnet repels the north-seeking pole of a compass. By accepted magnetic convention, lines of flux emanate from the north pole of a magnet and enter the south pole.

FIGURE 1—DEFINITION OF MAGNETIC FLUX POLARITY

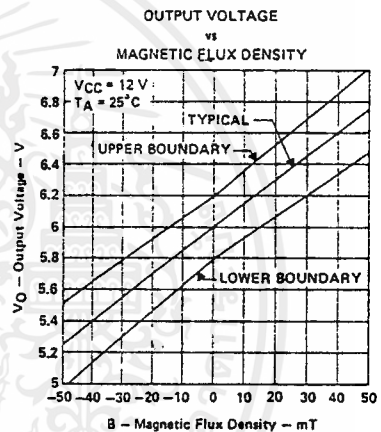


FIGURE 2

TYPICAL APPLICATION DATA

The circuit in Figure 3 may be used to set the output voltage at zero field strength to exactly 6 V (using R1), and to set the sensitivity to exactly -15 V/T (using R2), as depicted in Figure 4.

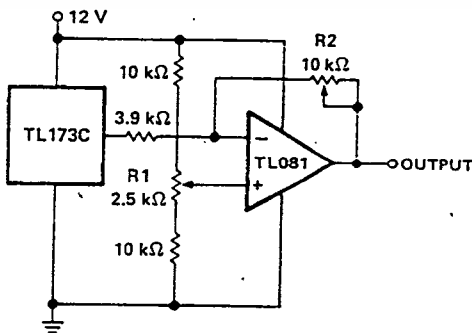


FIGURE 3—COMPENSATION CIRCUIT

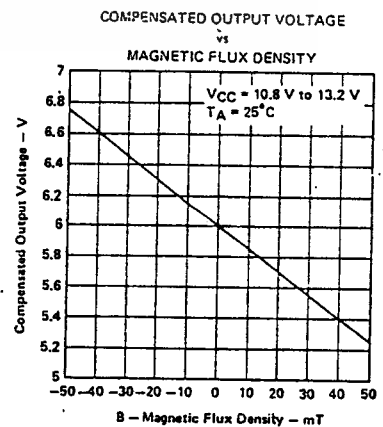


FIGURE 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] John Becker จากหนังสือ PRACTICAL ELECTRONICS ฉบับ เดือนกุมภาพันธ์ ปี ค.ศ.1991 หน้า 11-19
- [2] เกรียงศักดิ์ แซ่ก้ง จากหนังสือ เซมิคอนดักเตอร์ ฉบับ เดือนมีนาคม ปี พ.ศ.2530 หน้า 172-181
- [3] สมชาย บรรยงพาณิชย์ จากหนังสือ เซมิคอนดักเตอร์ ฉบับ เดือนสิงหาคม พ.ศ.2534 หน้า 111-117
- [4] วิโรจน์ อัครรังสี, ชัชวาลย์ เต็มฤทธิวงศ์, กรรฐดี ใช้สถิตย์ จากหนังสือ การใช้งานออปแอมป์ และลิเนียร์ไอซี หน้า 231-240
- [5] สุนทร วิทูรพจน์ จากหนังสือ การโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล 8051 หน้า 46-65



กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ผศ.สมยศ จุณณะปิยะ นายปิติกันต์ รักราชการ และพี่ ๆ ทุกคนใน
ห้อง รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ ที่ให้คำปรึกษาที่ดีกับพวกกระผม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้