

ชุดทดลองการควบคุมการเคลื่อนที่ในแกน เอ็กซ์ วาย แซต(x y z)
Simulation of Object Motion Controlling in Three Dimension



โดย
นายจรณเมธ มิ่งเมือง
นายณัฐพล สุพลเศรษฐ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เลขหมึ.....
เลขทะเบียน..... 45714
วัน, เดือน, ปี 13 ก.พ. 2546

b.....
i.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีคนนำไปใช้

611 075398

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2544

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ชุดทดลองการควบคุมการเคลื่อนที่ในแกน X-Y-Z

Simulation of Object Motion Controlling in Three-Dimension

ผู้จัดทำ

1. นาย จรณเมธ มิ่งเมือง

รหัส 41014062

2. นาย ฌัฐพล สุพละเศรษฐ์

รหัส 41014136



อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ.สุเชียร เกียรติสุนทร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดทดลองการควบคุมการเคลื่อนที่ในแกน X-Y-Z

นาย จรณเมธ มิ่งเมือง

นาย ณัฐพล สุพลเสรษฐ

อ.สุเชียร เกียรติสุนทร (อาจารย์ที่ปรึกษา)

ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

ชุดทดลองการควบคุมการเคลื่อนที่ของวัตถุตามแกน X-Y-Z เป็นการจำลองการเคลื่อนที่ของกล้องโทรทัศน์ โดยจะศึกษาการเคลื่อนที่ของกล้องติดตามตัวผู้เล่นในสนามอเมริกันฟุตบอล โดยในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการออกแบบและสร้างชุดควบคุมการเคลื่อนที่, วงจรขับเคลื่อนของมอเตอร์, วงจรอินเตอร์เฟส และ โปรแกรมควบคุม เพื่อควบคุมตำแหน่งของกล้องโทรทัศน์ในสนามอเมริกันฟุตบอล

Abstract

This project was simulation modeling of video camera motion by studying about video camera motion following with American football player in the field. This thesis indicated the details of designing and constructing the motion controlling device, motor drive circuit, interface circuit and programmable control for controlling the position of video camera in the American football field.

สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	1
1.4 วิธีการดำเนินงาน	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 ความรู้เบื้องต้นของพอร์ตขนาน	3
2.2 ลักษณะทางกายภาพของพอร์ตขนาน	4
2.3 การติดต่อของพอร์ตขนานกับระบบบัสแบบ I ² C	9
บทที่ 3 การสร้างและการคำนวณ	27
3.1 สนาม	27
3.2 วงจรที่ใช้งาน	28
3.3 ก่อวงจร	29
3.4 การคำนวณ	31
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	39
4.1 การทดลองหาความสัมพันธ์การเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์ พร้อมตัวต้านทานปรับค่าได้ต่อรอบ	39
4.2 โปรแกรมการติดต่อกับอุปกรณ์	40
4.3 แผนผังลำดับงาน	48
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป	49
5.1 สรุปผลการปฏิบัติงาน	49
5.2 ปัญหาในการทำงานและการแก้ไข	49
5.3 ผลที่ได้รับจากการทำโครงการ	50
ภาคผนวก	
กิตติกรรมประกาศ	
หนังสืออ้างอิง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2-1 พอร์ตคาต้า	6
รูปที่ 2-2 การต่อใช้งานอุปกรณ์ผ่านตัวต้านทานพูลอัพบนบัส I ² C	9
รูปที่ 2-3 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกที่ใช้ไฟเลี้ยงต่างกัน	10
รูปที่ 2-4 แสดงการต่อตัวต้านทาน	10
รูปที่ 2-5 ไดอะแกรมแสดงสถานะต่างๆบนระบบบัส I ² C	12
รูปที่ 2-6 รูปแบบของข้อมูลกำหนดแอดเดรสของอุปกรณ์บนระบบบัส I ² C	13
รูปที่ 2-7 รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการอ้างถึงแบบ 7 บิตของระบบบัส I ² C	14
รูปที่ 2-8 รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการอ้างถึงแบบ 10 บิตของระบบบัส I ² C	14
รูปที่ 2-9 วงจรเชื่อมต่อกับระบบบัส I ² C ของการ์ดอินเตอร์เฟสเชื่อมต่อพอร์ตขนาน	16
รูปที่ 2-10 การจัดการของพีซีเอฟ 8574	19
รูปที่ 2-11 การจัดการและตารางแสดงชื่อสัญญาณขาพีซีเอฟ 8591	23
รูปที่ 2-12 รายละเอียดข้อมูลควบคุมการทำงานของพีซีเอฟ 8591	25
รูปที่ 3-1 สนามจำลอง	27
รูปที่ 3-2 รูปด้านหน้ากล่อง	29
รูปที่ 3-3 รูปด้านหลังกล่อง	29
รูปที่ 3-4 การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับฮาร์ดแวร์	33
รูป การ์ดอินเตอร์เฟส 1,2	34
รูป การ์ดอินเตอร์เฟส 3	35
รูป การ์ดจับมอเตอร์	36
รูป เลย์เอาท์วงจรอินเตอร์เฟส	37
รูป เลย์เอาท์วงจรแหล่งจ่ายไฟและวงจรจับมอเตอร์	38
รูป หน้าต่างโปรแกรมทดลองการส่งค่า	47
รูป หน้าต่างโปรแกรมทดลองการรับค่า	47

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2-1 แสดงสถานะของขาคอนเนคเตอร์	7
ตารางที่ 2-2 แสดงหน้าที่ของขาต่อใช้งาน ไอซีเบอร์พีซีเอฟ 8574	20
ตารางที่ 3-1 แสดงสูตรที่ใช้ในการคำนวณความยาวเชือก	31
ตารางที่ 4-1 ผลการทดลอง	39



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีต่างๆ ได้พัฒนาขึ้นเพื่ออำนวยความสะดวกให้กับมนุษย์ ทั้งในด้านการสื่อสาร การคมนาคมและขนส่ง ในแวดวงการเมือง การศึกษา หรือแม้กระทั่งในวงการกีฬา จึงได้มีการคิดค้นโปรเจกต์ที่ศึกษาการควบคุมวัตถุตามแกน 3 มิติ และเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของวัตถุ โดยใช้จำลองสนามอเมริกันฟุตบอลขึ้น โดยมีวัตถุแทนกล้องวิดีโอ ซึ่งมีวงจรในการจับมอเตอร์ และมีภาคตรวจจับแสดงตำแหน่งของวัตถุโดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ และส่งไปประมวลผลในคอมพิวเตอร์

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 ศึกษาการเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรงของวัตถุในแนวแกน 3 มิติ
- 1.2.2 เพื่อสร้างแบบจำลองการเคลื่อนที่ของวัตถุตามแกน 3 มิติ
- 1.2.3 เพื่อศึกษาการเขียน โปรแกรมเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของวัตถุในแนวแกน 3 มิติ

1.3 ขอบเขตของโครงการ

สร้างแบบจำลองและวงจรการควบคุมการทำงาน รวมถึงการเขียน โปรแกรมเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของวัตถุในแกน 3 มิติ

1.4 วิธีการดำเนินงาน

1.4.1 ฮาร์ดแวร์

ในส่วนของฮาร์ดแวร์นั้นประกอบด้วยสนามที่ประกอบด้วยเสา 4 ต้น และชุดของมอเตอร์ และความต้านทานปรับค่าได้ซึ่งทั้ง 2 ส่วนนี้ต่อเชื่อมด้วยสายพาน

ในส่วนของวงจรมันประกอบด้วยวงจรซีโร่สเปปน วงจรขยายกระแส ในวงจรจับมอเตอร์ การ์ดคอนโทรลเฟส และวงจรภาคจ่ายไฟ ซึ่งจัดรวมกันไว้ในกล่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือมีเงื่อนไขการใช้งานอื่น ๆ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4.2 ซอฟต์แวร์

ในส่วนของซอฟต์แวร์นั้นใช้โปรแกรมวิซวลเบสิค โดยอาจแบ่งได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของการแสดงผลและส่วนของการควบคุม ในส่วนของการแสดงผลจะแสดงค่าคู่อันดับที่รับเข้ามา ตำแหน่งของเชือกแต่ละเส้น และความเร็วของมอเตอร์แต่ละตัว ในส่วนของการควบคุมใช้ชุดอินเทอร์เฟซการ์ดเพื่อเชื่อมต่อจากคอมพิวเตอร์ไปยังฮาร์ดแวร์และจากฮาร์ดแวร์ไปยังคอมพิวเตอร์



บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพอร์ตขนาน

การประมวลผลข้อมูลเพื่องานควบคุมนั้น สิ่งแรกจะต้องมีส่วนของสัญญาณอินพุต ซึ่งอาจจะมาจากวงจรตรวจจับต่างๆ ผ่านวงจรภาคหน้าเพื่อเปลี่ยนรูปแบบสัญญาณอินพุตให้เหมาะสมกับการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ เมื่อข้อมูลอินพุตถูกส่งเข้าสู่คอมพิวเตอร์แล้ว คอมพิวเตอร์จะทำการประมวลผลข้อมูลที่ได้มาเหล่านั้นให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมก่อนที่จะส่งออกไปยังภายนอกผ่านอุปกรณ์เอาต์พุต ซึ่งอาจจะเป็นการส่งออกไปยังจอภาพ หรือส่งออกไปยังจุดเชื่อมต่ออื่นๆ เพื่อควบคุมอุปกรณ์เอาต์พุตต่อไป

การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกทั้งส่วน ของภาคอินพุตและภาคเอาต์พุต สามารถทำได้หลายวิธี

- เชื่อมต่อผ่านทางคาร์ดิอินเตอร์เฟส ซึ่งวิธีการเสียบหรือติดตั้งการ์ดลงในสล็อตภายในเครื่องคอมพิวเตอร์
- เชื่อมต่อผ่านทางพอร์ตอนุกรม
- เชื่อมต่อผ่านทางพอร์ตขนาน
- เชื่อมต่อผ่านระบบมาตรฐานอื่น เช่นพอร์ต USB

ทำไมถึงเลือกใช้พอร์ตขนาน

เมื่อเทียบการใช้การ์ดอินพุตเอาต์พุตที่ต้องติดตั้งอยู่ภายในเครื่องคอมพิวเตอร์แล้วพอร์ตขนานมีข้อได้เปรียบอยู่หลายประการดังนี้

- ในด้านความปลอดภัย การที่ต้องถอดฝาเครื่องคอมพิวเตอร์ออกมาเพื่อเสียบการ์ดเชื่อมต่อลงในสล็อตของคอมพิวเตอร์อาจจะทำให้เกิดความเสียหายกับส่วนอื่นๆ ของคอมพิวเตอร์ได้ ถ้าผู้ที่ใช้งานไม่มีความชำนาญหรือเกิดการต่อวงจรที่ผิดพลาด
- ในด้านการเข้ากันได้กับคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่ การเชื่อมต่อโดยใช้การ์ดที่เสียบลงในสล็อตไม่สามารถใช้กับคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันได้ทุกรุ่น
- ข้อจำกัดพื้นที่ คอมพิวเตอร์บางเครื่องมีการเสียบการ์ดเชื่อมต่อตัวอื่นๆ อยู่แล้ว อาทิ การ์ดเสียง

การด์โมเด็ม เป็นต้น จนไม่มีสล็อตเหลือพอสำหรับการเสียบการ์ดต่อเพิ่มเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการสงวนสิทธิ์ในเนื้อหาบางส่วน เมื่อผู้ใดเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความสะดวกในการใช้งาน การเชื่อมต่อทางพอร์ตขนานสามารถทำได้ง่าย ๆ เพียงต่อสายสำหรับเชื่อมต่อเข้ากับคอนเน็กเตอร์ DB-25 ของพอร์ตขนาน
- ความเร็วในการสื่อสารข้อมูลกับพอร์ตขนาน มีความเร็วเท่ากับการติดต่อกับระบบบัสโดยตรง และมีความเร็วมากกว่าการติดต่อผ่านทางพอร์ตอนุกรม

ความรู้เบื้องต้นของพอร์ตขนาน

พอร์ตขนาน สาเหตุที่มีชื่อนี้ เนื่องจากการถ่ายถอดข้อมูลของพอร์ตนี้เป็นแบบขนาน การประมวลผลส่วนใหญ่จะมีขนาด 8 บิต

ลักษณะทางกายภาพของพอร์ตขนาน

เพื่อให้เข้าถึงการนำเอาพอร์ตขนานไปใช้งาน ก่อนอื่นต้องทำความเข้าใจก่อนว่า ปกตินั้น การส่งพิมพ์รายงานจากคอมพิวเตอร์ไปยังพอร์ตขนาน กับเครื่องพิมพ์ เริ่มจากสัญญาณพอร์ต data ถูกส่งออกไปยังเครื่องพิมพ์ พร้อมทั้งส่งสัญญาณ strobe ออกไปด้วยเพื่อให้เครื่องรับรู้ว่ามีการส่งข้อมูลใหม่มาที่ขา data แล้วจากนั้นคอมพิวเตอร์จะต้องรอการตอบกลับจากเครื่องพิมพ์นั่นคือเครื่องพิมพ์จะสร้างสัญญาณ busy หรือเพื่อบอกว่าเครื่องพิมพ์ยังไม่พร้อมที่จะรับข้อมูลใหม่ จนกระทั่งเมื่อเครื่องพิมพ์พร้อม เครื่องพิมพ์จะสร้างสัญญาณ ack ส่งไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อแจ้งว่า พร้อมที่จะรับข้อมูล

นอกจากสัญญาณทั้งสามแล้วส่วนใหญ่การติดต่อกับเครื่องพิมพ์ยังต้องมีสัญญาณอื่นๆ ร่วมด้วย เนื่องจากเครื่องพิมพ์ต้องทำหน้าที่ ถึง 3 อย่างด้วยกันคือ รับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์, พิมพ์ข้อมูลที่ได้รับเข้ามา และตอบสนองต่อการใช้งานของผู้ใช้

พอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์ยังแยกย่อยออกเป็นอีก 3 พอร์ตได้แก่ พอร์ตเอาต์พุตที่ทำหน้าที่ส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังเครื่องพิมพ์ พอร์ตเอาต์พุตสำหรับสัญญาณ Strobe และ Reset พอร์ตอินพุตสำหรับการอ่านค่าสัญญาณ Acknowledge, busy และสัญญาณ Error จากเครื่องพิมพ์

โดยปกติพอร์ตขนานออกแบบมาให้มีสายสัญญาณอยู่ทั้งหมด 17 เส้น สายสัญญาณเหล่านี้จะมีรีจิสเตอร์ 3 ตัวควบคุมการทำงานดังนี้

1. พอร์ตเอาต์พุตสำหรับสัญญาณข้อมูล 8 เส้นมีรีจิสเตอร์ data ควบคุม
2. พอร์ตอินพุตสำหรับการอ่านค่าสถานะต่าง ๆ จากภายนอกที่อยู่ด้วยกัน 5 เส้น ใช้รีจิสเตอร์ STATUS ในการควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. พอร์ตเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณควบคุมไปยังอุปกรณ์ภายนอก มีอยู่ด้วยกัน 4 เส้นใช้รีจิสเตอร์ control ในการควบคุม

การติดต่อกับพอร์ตขนานจะต้องมีการอ้างแอดเดรส ตำแหน่งแอดเดรสที่ใช้อ้างถึงจะเป็นตำแหน่ง A0-A9 และใช้ขา IOR และ IOW สำหรับเป็นตัวเลือกว่าต้องการอ่านหรือเขียน รีจิสเตอร์ตัวใด จากการตีโค้ดแอดเดรส A0-A9 นี้เองทำให้ได้สัญญาณออกมาเพื่อไปควบคุมหรืออินาเบิลวงจรรีฟเฟอร์ต่างๆดังนี้

Datawrite สัญญาณอินาเบิลสำหรับนำข้อมูลที่อยู่ในบัส Data ไปออกที่ขา Data ของพอร์ตขนาน

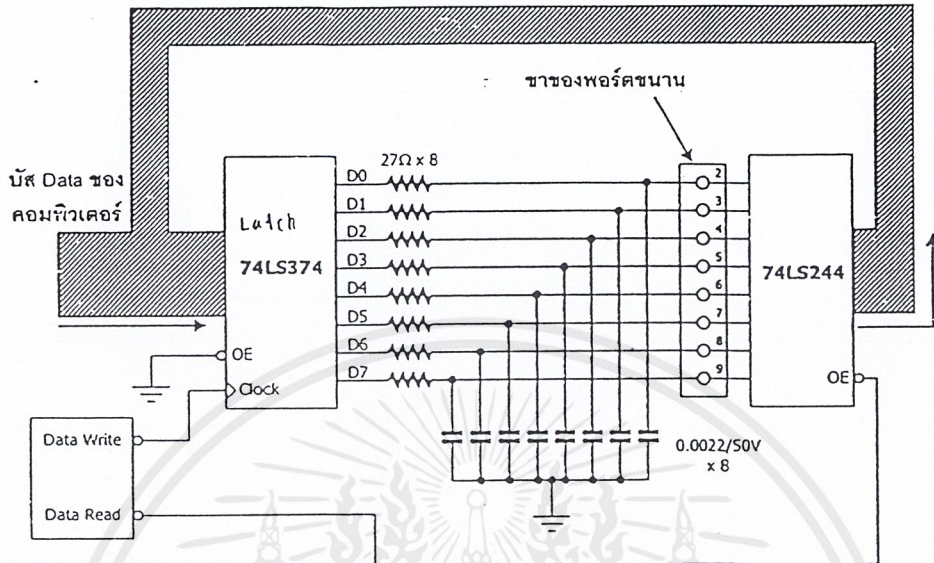
Dataread สัญญาณอินาเบิลสำหรับอ่านข้อมูลจากขา Data ของพอร์ตขนานมาเก็บไว้ในบัส Data

Controlwrite สัญญาณอินาเบิลสำหรับนำข้อมูลที่อยู่ในบัส Data ไปออกที่ขา Control ของพอร์ตขนาน สำหรับพอร์ตนี้นอกจากจะส่งข้อมูลออกไปยังพอร์ตขนานแล้วยังทำหน้าที่อินาเบิลการอินเตอร์รัปต์ของการเปลี่ยนแปลงสัญญาณที่พอร์ต Status อีกด้วย

Controlread สัญญาณอินาเบิลสำหรับอ่านค่าข้อมูลจากขา Control มาเก็บไว้ในบัส Data

Statusread สัญญาณอินาเบิลสำหรับอ่านค่าข้อมูลจากขาพอร์ต status มาเก็บไว้ในบัส Data

พอร์ตดาต้า



รูปที่ 2-1 พอร์ต ดาต้า

จากรูป แสดงให้เห็นว่าพอร์ตดาต้า (Data Port) ประกอบไปด้วยบัฟเฟอร์ 1 ตัว และไอซีแลตช์อีก 1 ตัว เมื่อคอมพิวเตอร์อ้างการส่งข้อมูล คอมพิวเตอร์จะเขียนข้อมูลไปยังไอซีแลตช์ 1 ตัว ทั้ง 8 บิต เอาต์พุตของไอซีแลตช์ 1 คือ D0-D7 ซึ่งเอาต์พุตนี้จะไปปรากฏอยู่ที่พอร์ตขนานในตำแหน่งขา 2 ถึง 9

สำหรับบัฟเฟอร์สำหรับการอ่านข้อมูลกลับได้แก่เบอร์ 74LS244 ซึ่งเมื่อต้องการอ่านค่าคอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณ DataRead ออกมาเพื่ออินเวิตไอซี 74LS244 สำหรับพอร์ตขนานแบบมาตรฐาน พอร์ต DATA จะต้องใช้เพื่อการส่งค่าออกเอาต์พุตเท่านั้น แต่สำหรับพอร์ตขนานที่มีการสื่อสารสองทิศทาง สามารถอ่านค่าจากพอร์ต Data ได้ด้วย แต่ก่อนที่จะอ่านค่าต้องจำไว้เสมอว่าจะต้องป้อนค่าเอาต์พุตให้มีค่าลอจิก "1" ทั้งหมดก่อน

พอร์ตคอนโทรล

DB-25	รีจิสเตอร์	ทิศทาง	ตำแหน่งบิต	ชื่อขาสัญญาณ	หน้าที่การทำงาน
1	Control	Out	CO	STROBE	แอกทีฟ"0"ส่งค่าออกไปเพื่อบอกว่าที่ขา ดาต้ามีข้อมูลแล้ว
2-9	Data	Out	D1-D8	DATA1-DATA8	สำหรับพอร์ตขนานมาตรฐานเดิมขานี้ ทำหน้าที่ส่งข้อมูลเท่านั้นสำหรับ ปัจจุบันขานี้รับข้อมูลอินพุตได้ด้วย
10	Status	In	S6	nACK	เป็นพัลส์ลอจิก"0"ที่ส่งมาจากเครื่อง พิมพ์เพื่อบอกว่าได้รับข้อมูลที่ส่งไปแล้ว
11	Status	In	S7	BUSY	เป็นสัญญาณแจ้งมาจากเครื่องพิมพ์ว่า ยังไม่พร้อมรับข้อมูล
12	Status	In	S5	PE	แจ้งกระดาษหมด
13	Status	In	S4	SELECT	แจ้งว่าเครื่องพิมพ์ต่ออยู่
14	Control	Out	C1	AUTO FEET	สั่งให้เครื่องพิมพ์เลื่อนบันทึด
15	Status	In	S3	ERROR	สัญญาณจากเครื่องพิมพ์มายัง คอมพิวเตอร์เพื่อแสดงข้อผิดพลาดจาก การพิมพ์
16	Control	Out	C2	INIT	รีเซ็ตเครื่องพิมพ์โดยให้ลอจิก"0"
17	Control	In	C3	SELECT-IN	ส่งสัญญาณไปยังเครื่องพิมพ์เพื่อแจ้ง ว่าต้องการเลือกเครื่องพิมพ์เครื่องนี้
18-25				GND	กราวด์

ตารางที่ 2-1 แสดงสถานะของขาคอนเนกเตอร์

พอร์ต Control ใช้สำหรับคอมพิวเตอร์ควบคุมเครื่องพิมพ์ จากตารางที่ 2-1 จะเห็นว่าพอร์ตควบคุม ประกอบไปด้วยบิตเอาต์พุต 4 บิตที่ต่อออกไปยังเครื่องพิมพ์ ส่วนบิตอินพุตอินเทอร์รัปต์ ไม่ได้ถูกต่อออกไป เอาต์พุตของพอร์ตควบคุมมีอินเวอร์เตอร์แบบคอลเลกเตอร์เปิดต่อร่วมอยู่ด้วย โดยเอาต์พุตเหล่านี้จะถูกพูลอัพไว้ด้วยตัวต้านทานค่า 4.7 กิโลโห์ม สำหรับบิต C2 จะผ่านอินเวอร์เตอร์ถึงสองตัวทำให้เอาต์พุตของบิต C2 ไม่มีการกลับสถานะลอจิก

สถานะของพอร์ตควบคุมสามารถอ่านค่ากลับได้โดยการใช้บัฟเฟอร์เบอร์ 74LS240 ซึ่งเอาต์พุตของ 74LS240 มีอินเวอร์เตอร์อยู่ภายใน ทำให้ค่าที่อ่านได้ตรงกับค่าที่ส่งออกไป การควบคุมการอ่านและเขียนข้อมูลกับพอร์ต ควบคุม คอมพิวเตอร์จะส่งข้อมูลที่ขา Control write และ Control Read

เนื่องจากเอาต์พุตของพอร์ต Control เป็นแบบคอลเล็กเตอร์เปิด ดังนั้นผู้ใช้งานสามารถใช้พอร์ตนี้ในการอ่านค่าสัญญาณอินพุตจากภายนอกได้ โดยก่อนที่จะอ่านค่าจะต้องทำให้ขาพอร์ตที่ต้องการอ่านค่ามีลอจิก “1” เสียก่อน

พอร์ตแสดงสถานะหรือพอร์ตสเตตัส (Status)

พอร์ตสเตตัส (Status) เป็นพอร์ตที่คอมพิวเตอร์ใช้สำหรับการอ่านค่าสถานะจากเครื่องพิมพ์ จะสังเกตได้ว่ามีขาสัญญาณอยู่ทั้งหมด 5 สัญญาณ ด้วยกันและจะเรียกชื่อเป็น S3,S4,S5,S6 และ S7 ซึ่งตัวเลขนั้นหมายถึงตำแหน่งบิตของขาเหล่านี้ภายในรีจิสเตอร์ Status นั้นเอง สำหรับบิต S 7 จะมีชื่อแตกต่างจากบิตอื่นๆ ที่เมื่อสัญญาณจากภายนอกส่งเข้ามาแล้วจะไม่ผ่านอินเวอร์เตอร์ ในขณะที่ขาอื่นๆ ผ่านอินเวอร์เตอร์ทั้งหมด ดังนั้นเมื่อข้อมูลผ่านจากขาอินพุตไปยัง 74LS240 ซึ่งเอาต์พุตมีการกลับสถานะทำให้บิต S7 เป็นบิตเดียวที่การกลับสถานะนอกจากนี้ในการใช้งานถ้าต้องการให้มีการสร้างสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากขอบขาขึ้นของขา S6 สามารถกำหนดค่าได้จากพอร์ตControl บิต4

การนำพอร์ตขนานไปใช้งาน

สำหรับพอร์ตขนานแบบมาตรฐาน ผู้ใช้งานสามารถนำพอร์ตอินพุต 5 บิตพอร์ตเอาต์พุต 4 บิต และพอร์ตเอาต์พุตอีก 8 บิต ไปใช้งานได้โดยตรง โดยที่ 4 บิตของพอร์ตเอาต์พุตหรือพอร์ต Control นั้นสามารถดัดแปลงให้ใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตขนาด 4 บิตได้ด้วยดังนั้นผู้ใช้งานจึงสามารถนำสัญญาณจากพอร์ตขนานที่มีมากถึง 17 เส้นไปใช้งานในการควบคุมโดยใช้ระดับสัญญาณ TTL

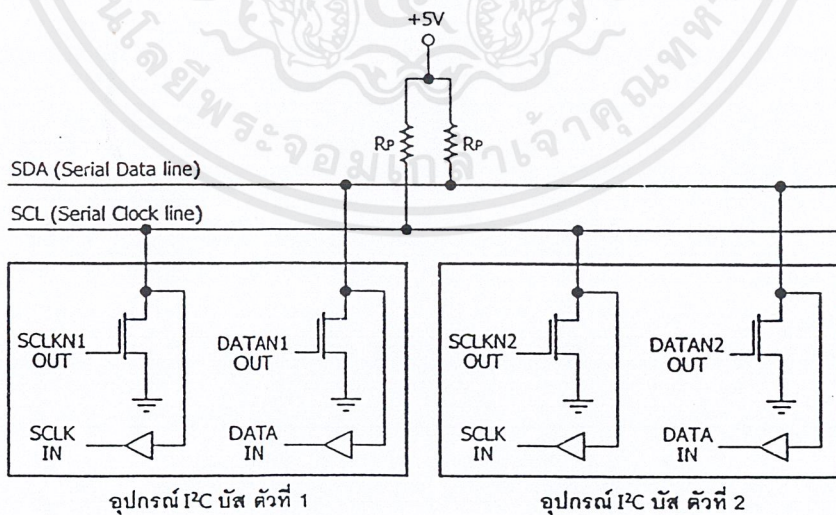
การติดต่อพอร์ตขนาน กับระบบบัสแบบ I²C

I²C ย่อมาจาก Inter-IC Communication หมายถึง การติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี โดยบัส I²C ด้วยจุดมุ่งหมายหลักคือ ต้องการให้ไอซีโมดูลสามารถติดต่อสั่งงานและควบคุมภายใต้สายสัญญาณเพียง 2 เส้น เส้นหนึ่งคือสายข้อมูล อีกเส้นหนึ่งคือสายสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการกำหนดจังหวะการทำงาน การต่อร่วมกันของอุปกรณ์บนบัส I²C ทำได้ง่ายมาก เพียงต่อสายข้อมูลและสายสัญญาณนาฬิกาของอุปกรณ์แต่ละตัวขนานหรือพ่วงกันไปส่วนการกำหนดแอดเดรสหรือตำแหน่งสำหรับติดต่ออุปกรณ์แต่ละตัว จะใช้รหัสข้อมูลและการกำหนดสภาวะลอจิกที่ขาแอดเดรสของอุปกรณ์แต่ละตัว

สายข้อมูลบน บัส I²C มีชื่อเรียกอย่างเป็นทางการว่า สายข้อมูลอนุกรม หรือ SDA ส่วนสายสัญญาณนาฬิกามีชื่อเรียกว่า สายสัญญาณนาฬิกามีชื่อเรียกว่า สายสัญญาณนาฬิกาอนุกรม หรือ SCL ในการอธิบายต่อไปนี้จะเรียกสายสัญญาณทั้งสองว่า สาย SDA และ SCL

คุณสมบัติโดยทั่วไปของบัส I²C

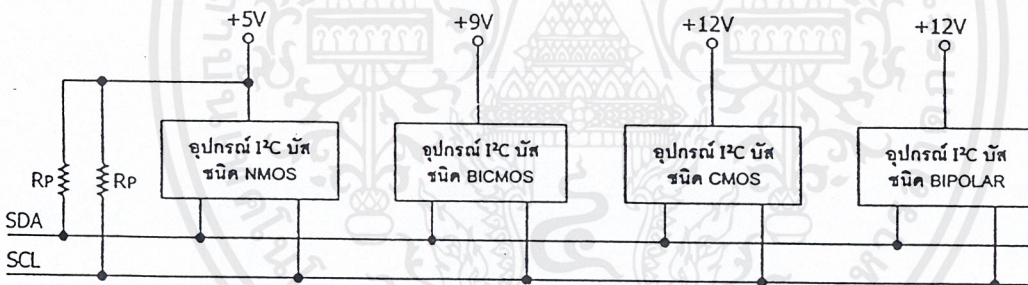
สาย SDA และ SCL เป็นสายสัญญาณ 2 ทิศทาง ต้องมีการต่อตัวต้านทานพูลอัพกับแรงดัน +5V ไว้ตลอดเวลา เพื่อให้สายมีสถานะลอจิกสูงในขณะที่ไม่มีการติดต่อใช้งาน ทั้งยังช่วยในการป้องกันสัญญาณรบกวนที่อาจมีเข้ามาในสายสัญญาณทั้งสอง วงจรเอาต์พุตของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่บนบัส I²C ต้องมีลักษณะเป็นวงจรทรานซิสเตอร์เปิด หรือคอลเลกเตอร์เปิด ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 2 - 2



รูปที่ 2 - 2 การต่อใช้งานอุปกรณ์ผ่าน ตัวต้านทานพูลอัพบนบัส I²C

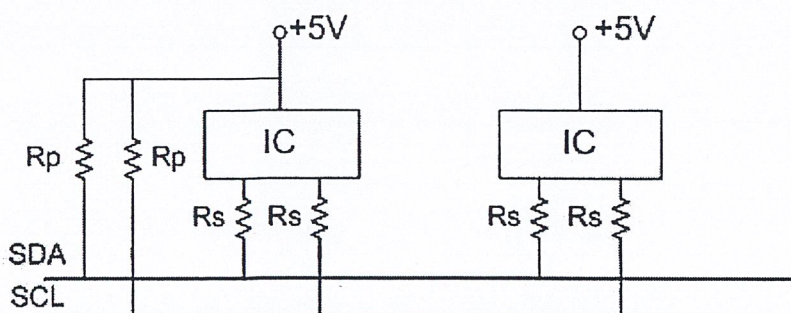
อัตราการถ่ายทอข้อมูลบนบัส I²C สูงถึง 100 กิโลบิตต่อวินาที ในโหมดปกติ และสูงถึง 400 กิโลบิตต่อวินาทีในโหมดความเร็วสูง อุปกรณ์ที่ต่อรวมอยู่บนบัส I²C จะต้องมีค่าความจุไฟฟ้ารวมที่เกิดขึ้นระหว่างสาย SDA และ SCL ไม่เกิน 400 พิโคฟารัด การเข้าถึงอุปกรณ์บนบัส I²C ใช้การเข้าถึงข้อมูลได้ 2 แบบ คือ 7 บิต หรือ 10 บิต

ข้อเด่นอีกประการหนึ่งของบัส I²C ก็คือสามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ใช้ไฟเลี้ยงไม่เท่ากันให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้โดยอุปกรณ์บนบัส I²C ตัวหนึ่งอาจใช้ไฟเลี้ยง +5V ในขณะที่อีกตัวหนึ่งใช้ไฟเลี้ยง +12V การต่อรวมกันบนบัส I²C สามารถกระทำได้ในลักษณะเดียวกับกรณีที่อุปกรณ์ทั้งสองใช้ไฟเลี้ยงเท่ากัน กล่าวคือ ให้ต่อสาย SDA และ SCL ของอุปกรณ์แต่ละตัวเข้าด้วยกันและต้องต่อตัวต้านทานพูลอัป เข้ากับแรงดัน +5 V เสมอ ดังแสดงในรูปที่ 2-3



รูปที่ 2-3 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกที่ใช้ไฟเลี้ยงต่างกัน

ในกรณีที่อาจมีแรงดันไฟกระชากขนาดใหญ่ปะปนเข้ามาในบัส I²C ที่ขา SDA และ SCL ของอุปกรณ์แต่ละตัวต้องต่อตัวต้านทานอนุกรมกับขา SDA และ SCL เรียกว่า RS ก่อนต่อเข้าสู่บัส I²C ดังแสดงในรูปที่ 2-4 หลักการของบัส I²C



รูปที่ 2-4 แสดงการต่อตัวต้านทานเพื่อป้องกันไฟกระชาก

บัส I²C ประกอบด้วยสายสัญญาณ 2 เส้นดังที่ได้กล่าวมาแล้วคือ SDA และ SCL อุปกรณ์ที่ต่อพ่วงบนบัสสามารถมีได้มากมาย ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดรูปแบบของการติดต่อบนบัส หรือเรียกว่า โปรโตคอล เพื่อผู้ใช้งานทราบว่า ขณะนี้อุปกรณ์ใดติดต่อกันอยู่ และอุปกรณ์ตัวใดเป็นตัวรับหรือตัวส่ง ต่อไปนี้จะขออธิบายลักษณะ หน้าที่ และนิยามของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่บนบัส I²C เพื่อเป็นข้อตกลงพื้นฐานก่อนที่จะอธิบายการทำงานของบัส I²C ต่อไป

อุปกรณ์ที่เป็นผู้สร้างข้อมูลหรือส่งข้อมูลเรียกว่า ตัวส่ง อุปกรณ์ที่เป็นผู้รับข้อมูล เรียกว่า ตัวรับ ในอุปกรณ์บนบัส I²C สามารถเป็นได้ทั้งตัวรับและตัวส่งบางอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นตัวรับเพียงอย่างเดียว จะไม่มีอุปกรณ์ใดบนบัส I²C ที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งเพียงอย่างเดียว อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมจังหวะการติดต่อบนบัส I²C เรียกว่า มาสเตอร์ อุปกรณ์ที่ถูกควบคุมหรืออุปกรณ์ที่ต่อพ่วงเข้าไปบนบัส I²C เรียกว่าสเลฟ

ข้อกำหนด 2 ประการสำคัญของการติดต่อบนบัส I²C คือ

1. การถ่ายทอดข้อมูลจะเกิดขึ้นได้เมื่อบัสว่างเท่านั้น
2. ในระหว่างการถ่ายทอดข้อมูล เมื่อใดก็ตามที่สาย SCL มีสถานะเป็นลอจิกสูง สายข้อมูลต้องรักษาข้อมูลไว้ อย่าให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นเด็ดขาด มิฉะนั้น สัญญาณที่เกิดขึ้นจะได้รับการแปลความหมายเป็นสัญญาณควบคุมแทน

สถานะที่เกิดขึ้นบนบัส I²C มีด้วยกัน 5 สถานะ

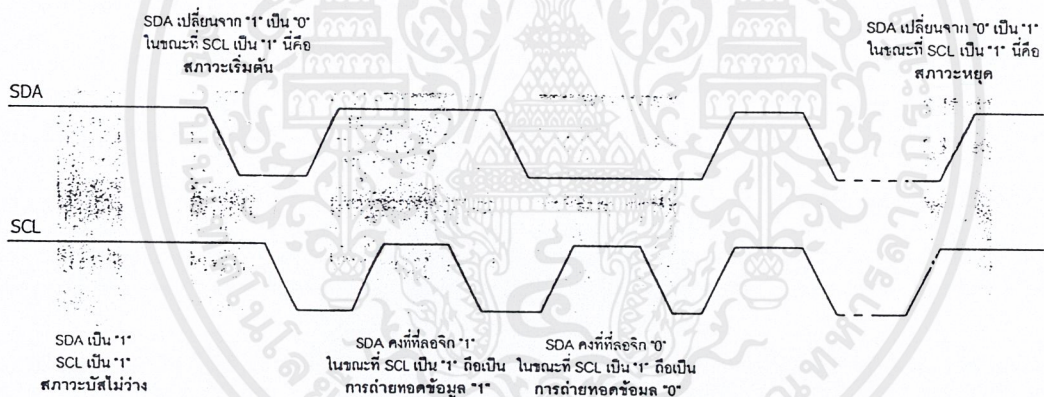
1. บัสว่าง สถานะนี้เกิดขึ้นเมื่อสถานะลอจิกบนสาย SDA และ SCL เป็นลอจิกสูงทั้งคู่ นั่นหมายความว่า การถ่ายทอดข้อมูลสามารถเริ่มต้นขึ้นได้
2. เริ่มการถ่ายทอดข้อมูล เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจากสูงไปต่ำ ในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง เรียกสถานะที่เกิดขึ้นนี้ว่า สถานะเริ่มต้น
3. หยุดการถ่ายทอดข้อมูล เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจากสูงไปต่ำ ในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง เรียกสถานะที่เกิดขึ้นนี้ว่า สถานะหยุด
4. ข้อมูลค้างอยู่บนบัส สถานะนี้เกิดขึ้นถัดจากสถานะเริ่มต้น โดยสถานะลอจิกที่เกิดขึ้นบนสาย SDA ก็คือข้อมูลที่ทำการถ่ายทอด เมื่อสาย SCL เป็นลอจิกสูง สถานะที่สาย SDA ต้องคงที่ เพื่อให้อุปกรณ์รับรู้ข้อมูลในจังหวะนั้นว่า เป็น “0” หรือ “1” ข้อมูลอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ในขณะที่สาย SCL เป็นลอจิกต่ำ แต่เมื่อใดก็ตามที่ต้องการให้เกิดการถ่ายทอดข้อมูลอย่างสมบูรณ์ สถานะลอจิกที่ขา SDA ต้องคงที่ตลอดช่วงเวลาที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง หากเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะลอจิกในขณะที่สาย SCL มีลอจิกสูงอยู่นั้น อุปกรณ์มาสเตอร์ที่ทำการควบคุมการถ่ายทอดข้อมูลจะแปลความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเป็นสถานะหยุดหรือสถานะเริ่มต้นก็ได้ ทำให้ข้อมูลที่ทำการถ่ายทอนั้นเกิดความผิดพลาดขึ้น

- 5. รับรู้ข้อมูล เกิดขึ้นหลังจากที่การถ่ายทอนข้อมูลจากตัวส่งมายังตัวรับเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ โดยตัวส่งจะทำการส่งข้อมูลมา 1 บิตรับรู้ มีสถานะเป็นลอจิกสูง หลังจากส่งข้อมูลมาครบถ้วน ส่วนอุปกรณ์มาสเตอร์จะทำการส่งสัญญาณรับรู้พิเศษซึ่งสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกา เพื่อตอบสนองบิตรับรู้ที่ส่งมาจากตัวส่ง ทางด้านตัวรับจะส่งบิตรับรู้ที่มีสถานะลอจิกต่ำลงบนบัส อุปกรณ์สเลฟที่ถูกอ้างถึงในการติดต่อหรือกำลังติดต่ออยู่ในขณะนั้นก็จะสร้างบิตรับรู้เพื่อตอบสนองให้ทราบว่าได้รับข้อมูลในแต่ละไบต์เรียบร้อยแล้ว

ในรูปที่ 2-5 เป็นไคอะแกรมเวลาที่แสดงถึงการเกิดสถานะต่างๆบนบัส I²C ไม่ว่าจะเป็นสถานะบัสว่าง, เริ่มต้น, ถ่ายทอนข้อมูล, รับรู้ และหยุดการถ่ายทอนข้อมูล



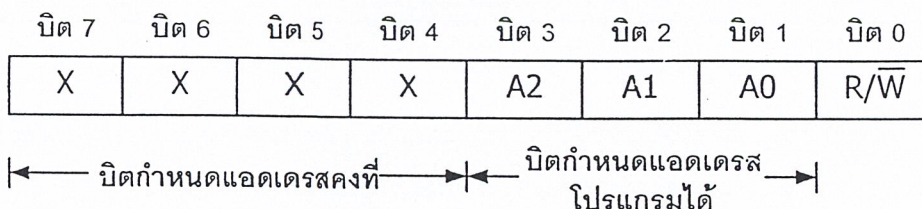
รูป 2-5 ไคอะแกรมแสดงสถานะต่างๆบนระบบบัส I²C

การทำงานบนบัส I²C

ก่อนที่จะเริ่มต้นการถ่ายทอนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่างๆที่ต่ออยู่บนบัส ต้องมีการอ้างถึงเสียก่อน โดยการอ้างถึงอุปกรณ์บนบัส I²C นั้นจะใช้การอ้างถึงแบบ 7 บิตหรือ 10 บิต ในกรณีที่มีอุปกรณ์ต่ออยู่บนบัสไม่มากใช้การอ้างถึงแบบ 7 บิตก็เพียงพอ แต่ถ้ามีอุปกรณ์ต่ออยู่บนบัสมากกว่า 127 แอดเดรส จำเป็นต้องใช้การอ้างถึงแบบ 10 บิต หลังจากติดต่ออุปกรณ์แต่ละตัวเรียบร้อยแล้ว ก็จะเริ่มต้นการถ่ายทอนข้อมูลกันต่อไป

ดังนั้นหัวใจสำคัญในอันดับแรกของการทำงานบนบัส I²C คือการอ้างถึงอุปกรณ์แต่ละตัวต่อไปนี้จะอธิบายรายละเอียดของการอ้างถึงทั้ง 2 รูปแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-6 รูปแบบของข้อมูลกำหนดแอดเดรสของอุปกรณ์บนระบบบัส I²C

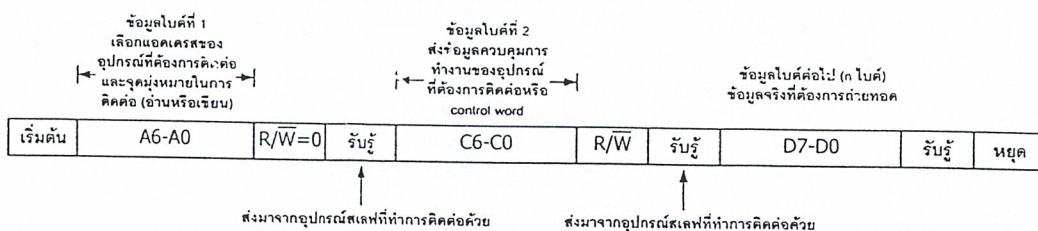
การอ้างถึงแบบ 7 บิต (7-bit addressing)

ข้อมูลไบต์แรกที่เกิดขึ้นหลังจากสถานะเริ่มต้นคือ ข้อมูลที่ใช้ในการอ้างถึงอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อหรือ ข้อมูลกำหนดแอดเดรส โดยมีรูปแบบแสดงในรูปที่ 2-6 ใน 7 บิตบนรวมทั้ง บิต MSB ด้วยจะเป็นข้อมูลแอดเดรสของอุปกรณ์สเลฟที่ต้องการติดต่อ โดยแบ่งเป็นบิตกำหนดแอดเดรสคงที่ (fixed address bit) จำนวน 4 บิต ซึ่งข้อมูลนี้อุปกรณ์แต่ละตัวจะถูกกำหนดมาจากผู้ผลิต ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ ถัดมาอีก 3 บิตเป็นบิตกำหนดแอดเดรสที่สามารถโปรแกรมได้ (programmable address bit) โดยผู้ใช้งานต้องกำหนดสถานะลอจิกให้แก่ขา A0-A2 ของอุปกรณ์ที่มีการเชื่อมต่อแบบบัส I²C ส่วนในบิต LSB เป็นบิตที่ใช้กำหนดการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับอุปกรณ์สเลฟตัวนั้นๆ หากบิต LSB เป็น “0” หมายถึงต้องการเขียนข้อมูลไปยังอุปกรณ์นั้น ถ้าเป็น “1” จะเป็นการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์สเลฟ

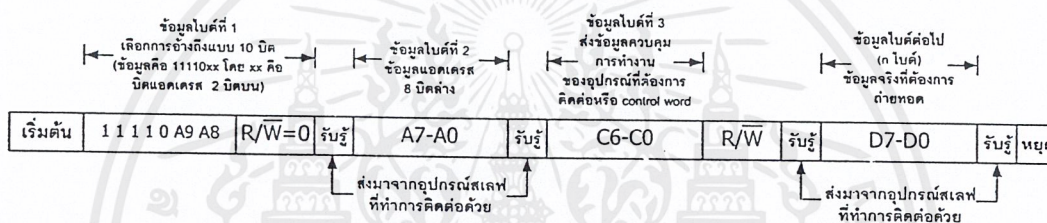
ข้อมูลในไบต์ต่อมาคือ ข้อมูลควบคุม (control byte) ในอุปกรณ์แต่ละตัวมีการกำหนดข้อมูลควบคุมที่แตกต่างกันไป ยกตัวอย่าง ไอซีขยายพอร์ตมีข้อมูลควบคุมที่ใช้กำหนดว่า บิตใดเป็นอินพุต บิตใดเป็นเอาต์พุต ในขณะที่ไอซี ADC/DAC ต้องการข้อมูลควบคุมเพื่อกำหนดให้ทำงานเป็น วงจร ADC หรือ DAC เป็นต้น

ข้อมูลในไบต์ต่อมาคือ ข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดจริง (data)

หลังจากที่มีการถ่ายทอดข้อมูลในแต่ละไบต์ อุปกรณ์สเลฟที่ได้รับการติดต่อต้องส่งสัญญาณรับรู้ออกกลับมามีทุกครั้ง เพื่อให้กระบวนการการถ่ายทอดข้อมูลยังคงสามารถดำเนินต่อไปได้ ในรูป 2-7 แสดงรูปแบบข้อมูลอนุกรมที่เกิดขึ้นในการติดต่อบนบัส I²C ของการอ้างถึงแบบ 7 บิต



รูปที่ 2-7 รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการอ้างถึงแบบ 7 บิตของระบบบัส I²C



รูปที่ 2-8 รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการอ้างถึงแบบ 10 บิตของระบบบัส I²C

การอ้างถึงแบบ 10 บิต

ในการอ้างถึงแบบนี้ ยังคงใช้รูปแบบข้อมูลอนุกรมที่เหมือนกับแบบ 7 บิต หากแต่จะมีข้อมูลเพิ่มเติมขึ้นมาเล็กน้อย โดยในข้อมูล ไบต์แรกหลังจากเกิดสถานะเริ่มต้น ต้องกำหนดให้ 5 บิตบน มีข้อมูลเป็น 11110 ส่วนอีก 2 บิตถัดมาเป็นบิตแอดเดรสของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อ ในบิต LSB ของข้อมูล ไบต์แรกยังคงเป็นการกำหนดว่า ต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับอุปกรณ์สเลฟตัวที่ต้องการติดต่อด้วย ข้อมูล ไบต์ต่อมาเป็นข้อมูลแอดเดรสในไบต์ที่ 2 ของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อด้วย ข้อมูล ไบต์ถัดไปจึงเป็นข้อมูลควบคุม ข้อมูลหลังจากนั้นก็จะเป็นข้อมูลจริงที่ใช้ในการติดต่อด

เช่นเดียวกับการอ้างถึงแบบ 7 บิต หลังจากถ่ายทอดข้อมูลครบทุกไบต์ ต้องมีสถานะรับรู้เกิดขึ้น เพื่อให้กระบวนการถ่ายทอดข้อมูลสามารถดำเนินต่อไปได้ ในรูปที่ 2-8 แสดงรูปแบบข้อมูลอนุกรมของการอ้างถึงแบบ 10 บิต

อุปกรณ์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อแบบบัส I²C

ในปัจจุบันบัส I²C ได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ด้วยข้อดีที่ชัดเจนคือ ใช้สายสัญญาณเพียง 2 เส้นเท่านั้น และการขยายระบบควบคุมที่มีจำนวนอินพุตเอาต์พุตและหน่วยความจำจำกัดสามารถทำได้ง่ายขึ้นด้วยระบบบัส I²C เมื่อเป็นเช่นนี้จึงมีอุปกรณ์ต่อร่วมที่ใช้ในการเชื่อมต่อแบบบัส I²C เกิดขึ้นมากมายจากหลายผู้ผลิต ดังมีตัวอย่างต่อไปนี้

ไอซีขยายพอร์ตอินพุตเอาต์พุต (I/O expander) : PCF 8574 , PCF 8582 , PCF 8584

ไอซีหน่วยความจำอีอีพรอมอนุกรม (Serial EEPROM) : 24Cxx , PCF8570 , PCF 72/73 , PCF8582

ไอซี ADC/DAC : PCF8591

ไอซีรีลไทม์คล็อก (Real-time clock:RTC) : PCF8583 , PCF8593 , PCF8598 , 41T56C

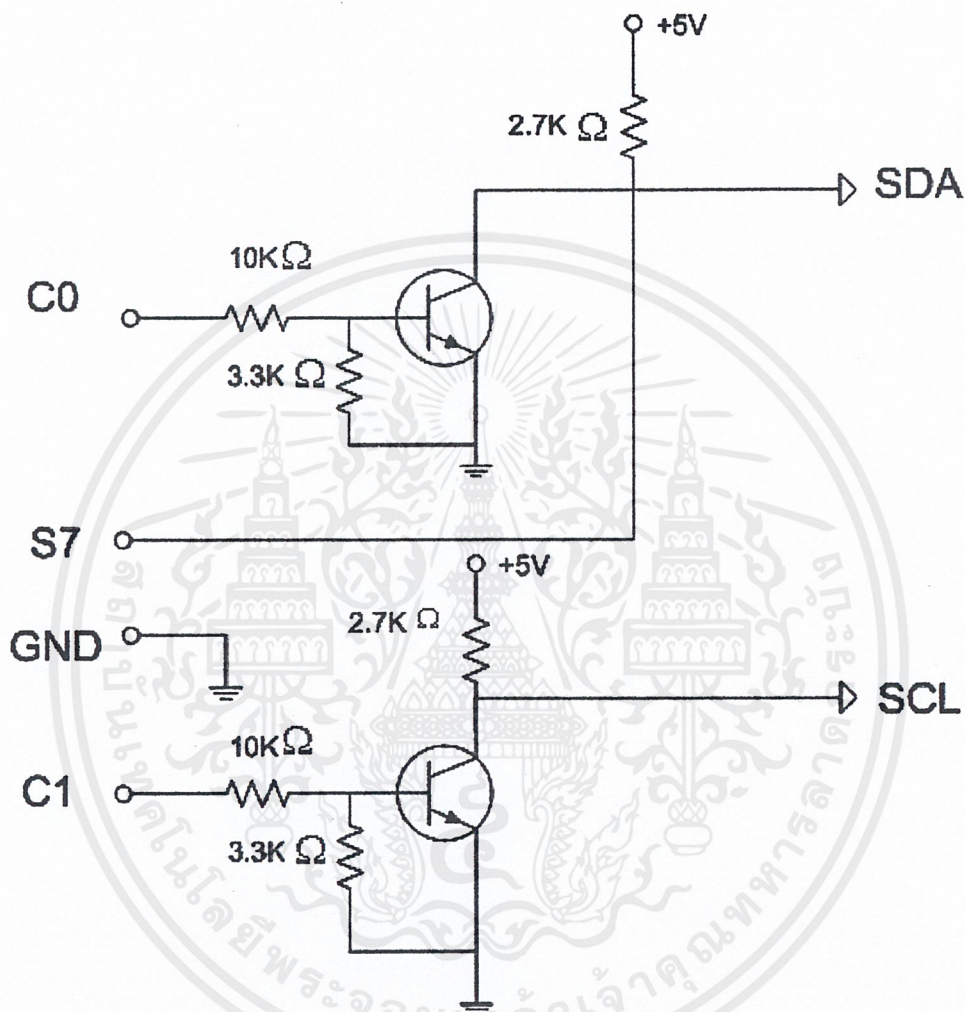
ไอซีขับ LCD โมดูล (LCD driver) : PCF 8466 , PCF8576 , PCF8577/78 , PCF8579

ไอซีกำเนิดสัญญาณ DTMF (DTMF generator) : PCD 3311/12

การต่ออุปกรณ์ระบบบัส I²C กับพอร์ตขนานผ่านการ์ดอินเตอร์เฟส

เพื่อให้สายสัญญาณของพอร์ตขนานสามารถติดต่อกับอุปกรณ์ที่มีการเชื่อมต่อเป็นบัส I²C จะต้องสร้างวงจรเชื่อมต่อขนาดเล็กขึ้นมาเพื่อให้เอาต์พุตที่จะติดต่อกับคอลเล็กเตอร์เปิด

ทรานซิสเตอร์ Q001 และ Q002 ได้รับการจัดวงจรให้มีลักษณะเป็นวงจรบัฟเฟอร์แบบคอลเล็กเตอร์เปิดตามข้อกำหนดของวงจรเอาต์พุตของบัส I²C โดย Q001 ใช้สำหรับถ่ายทอดสัญญาณของสาย SDA ในขณะที่ Q002 ใช้สำหรับถ่ายทอดสัญญาณของสาย SDA ไฟเลี้ยงของวงจรคือ +5V จึงสามารถใช้ทรานซิสเตอร์ NPN แบบมาตรฐานเบอร์ใดก็ได้ ที่สามารถตอบสนองความถี่สูงสุดถึง 100 kHz



รูปที่ 2-9 วงจรเชื่อมต่อกับระบบบัส I²C ของการ์ดอินเตอร์เฟซเชื่อมต่อพอร์ตขนาน

สำหรับการ์ดอินเตอร์เฟซเชื่อมต่อพอร์ตขนาน ได้จัดเตรียมวงจรสำหรับต่อกับอุปกรณ์บนระบบบัส I²C ไว้ด้วยแล้ว ข้อมูลของคอมพิวเตอร์จะถ่ายทอดสู่สาย SDA ของบัส I²C ผ่านทางขา C0 และรับข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์ด้วยขา S7 ส่วนสัญญาณนาฬิกาจะถูกส่งออกมาทางขา C1 เพื่อเป็นสาย SCL สำหรับระบบบัส I²C ซึ่งวงจรในส่วน I²C บัสของวงจรการ์ดอินเตอร์เฟซ แสดงดังรูป

2-9

การเขียนโปรแกรมเพื่อสร้างสัญญาณต่างๆสำหรับบัส I²C

เพื่อให้ง่ายต่อการเรียกใช้งาน ดังนั้นการติดต่อกับบัส I²C โดยใช้พอร์ตนานจึงต้องเขียนโปรแกรมย่อยเพื่อสร้างสถานะต่างๆ ของระบบบัส I²C ดังนี้โปรแกรมย่อยตัวอย่างต่อไปนี้

สัญญาณ START

```
Private Sub I2CStart()
    Out &H37A, Inp(&H37A) Or 1 'SDA=1
    Out &H37A, Inp(&H37A) Or 2 'SCL=1
    Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFE 'SDA=0
    Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFD 'SCL=0
End Sub
```

สัญญาณ STOP

```
Private Sub I2CStop()
    Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFE 'SDA=0
    Out &H37A, Inp(&H37A) Or 2 'SCL=1
    Out &H37A, Inp(&H37A) Or 1 'SDA=1
End Sub
```

ข้อมูลลอจิก “0”

```
Private Sub Send0()
    Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFE 'SDA=0
    Out &H37A, Inp(&H37A) Or 2 'SCL=1
    Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFD 'SCL=0
End Sub
```

ข้อมูลลอจิก “1”

```
Private Sub Send1()
    Out &H37A, Inp(&H37A) Or 1 'SDA=1
    Out &H37A, Inp(&H37A) Or 2 'SCL=1
    Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFD 'SCL=0
End Sub
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณ Acknowledge

Private Sub Ack()

Out &H37A, Inp(&H37A) Or 1 'SDA=1

Out &H37A, Inp(&H37A) Or 2 'SCL=1

Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFD 'SCL=0

End Sub

เมื่อเวลาใช้งานต้องนำโปรแกรมย่อยต่างๆ เหล่านี้มาต่อเชื่อมกัน ดังแสดงเป็น โปรแกรมย่อยของการส่งข้อมูล 8 บิต ได้ดังนี้

Private Sub Send8BIT(Add As Integer)

For I = 7 To 0 Step -1 ' Loop 7 Cycle

If (Add And 2 ^ I) = 2 ^ I Then 'Test Bit 0 OR 1

Call Send1

Else

Call Send0

End If

Next I

End Sub

โปรแกรมนี้จะวนลูปทั้งสิ้น 8 รอบเพื่อตรวจสอบค่าในบิตต่างๆว่าเป็น 0 หรือ 1 จากนั้นเรียกโปรแกรมย่อย Send 0 หรือ Send 1 สำหรับส่งข้อมูลลอจิก 0 หรือลอจิก 1 ออกไปยังบัส I²C

การขยายจำนวนพอร์ตอินพุตเอาต์พุตด้วย พีซีเอฟ8574(PCF8574) และ พีซีเอฟ8574เอ (PCF8574A)

สำหรับการใช้งานอินพุตเอาต์พุตจำนวนมากนั้น ขาของพอร์ตขานานอาจจะมีจำนวนไม่มากพอที่จะนำไปใช้ในการควบคุมโดยตรง จึงจำเป็นต้องต่ออุปกรณ์ภายนอกเพิ่มเติมเพื่อขยายจำนวนพอร์ตอินพุตเอาต์พุต ไอซีขยายพอร์ตผ่านระบบบัส I²C เบอร์ PCF8574 และ PCF8574A ที่สามารถขยายพอร์ตอินพุตเอาต์พุตได้ตัวละ 8 ช่อง และสามารถต่อพ่วงได้มากถึง 8 ตัว ทำให้สามารถต่อพอร์ตอินพุตเอาต์พุตได้มากถึง 64 ช่อง จึงถูกเลือกมาใช้ โดย PCF8574 และ PCF8574A มีการทำงานเหมือนกันทุกประการ ต่างกันเพียงข้อมูลแอดเดรสประจำตัวเท่านั้น

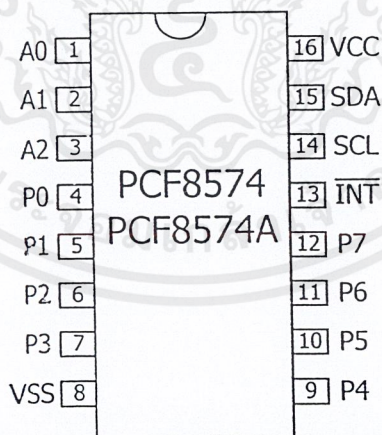
ข้อมูลเบื้องต้นของ PCF8574 และ PCF8547A มีดังนี้

- ทำงานที่ระดับแรงดันตั้งแต่ 2.5 V ถึง 6 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กินกระแสในสถานะสแตนด์บายต่ำเพียง 10 μ A
- ใช้การเชื่อมต่อแบบบัส I²C
- มีเอาต์พุตอินเทอร์รัปต์แบบเดรนเปิด
- เอาต์พุตสามารถแลตซ์ค่าได้ ขับกระแสได้ 100 μ A ถ้าต้องการขับ LED โดยตรงต้องต่อตัวต้านทานพูลอัพค่า 4.7 กิโลโอม ถึง 10 กิโลโอม เข้าที่ขาพอร์ตที่กำหนดให้เป็นเอาต์พุต
- สามารถกำหนดตำแหน่งแอดเดรสของไอซีทางฮาร์ดแวร์ด้วยขา A0-A2 ทำให้สามารถต่อพ่วงกันได้ถึง 8 ตัว

การจัดขาของไอซี PCF8574/8574A แสดงในรูปที่ 2-10 หน้าที่การทำงานของแต่ละขาแสดงในตารางที่ 2-2 ขาพอร์ตทั้ง 8 ขาของ PCF8574A สามารถกำหนดให้เป็นอินพุตหรือเอาต์พุตได้โดยอิสระ ลักษณะวงจรภายในของพอร์ตอินพุตเอาต์พุต เมื่อจ่ายไฟให้กับ PCF8574 และ PCF8574A ครั้งแรกขาพอร์ตทั้ง 8 ขาจะมีลอจิกเป็น “1” ซึ่งจะเป็นการจ่ายกระแสมาจากแหล่งจ่ายกระแสที่ภายในตัวไอซี ทำให้มีกระแสขณะลอจิก “1” นี้เพียง 100 μ A เท่านั้น ในกรณีที่ต้องการให้มีการจ่ายกระแสสูงๆ จำเป็นต้องต่อตัวต้านทานพูลอัพเอาไว้ที่ขาพอร์ตเหล่านี้ด้วย



รูป 2-10 การจัดขาของ PCF8574/8574A

ชื่อ	ตำแหน่งขา	หน้าที่
A0	1	อินพุตแอดเดรสตัวที่1
A1	2	อินพุตแอดเดรสตัวที่2
A2	3	อินพุตแอดเดรสตัวที่3
P0	4	พอร์ตอินพุตเอาต์พุต2ทิศทางบิต0
P1	5	พอร์ตอินพุตเอาต์พุต2ทิศทางบิต1
P2	6	พอร์ตอินพุตเอาต์พุต2ทิศทางบิต2
P3	7	พอร์ตอินพุตเอาต์พุต2ทิศทางบิต3
Vss	8	กราวด์
P4	9	พอร์ตอินพุตเอาต์พุต2ทิศทางบิต4
P5	10	พอร์ตอินพุตเอาต์พุต2ทิศทางบิต5
P6	11	พอร์ตอินพุตเอาต์พุต2ทิศทางบิต6
P7	12	พอร์ตอินพุตเอาต์พุต2ทิศทางบิต7
INT	13	ขาเอาต์พุตอินเตอร์รัปต์(ทำงานที่ลอจิก0)
SCL	14	ขาสัญญาณนาฬิกาสำหรับ I ² C บัส
SDA	15	ขาข้อมูลสำหรับ I ² C บัส
Vdd	16	ไฟเลี้ยง

ตารางที่ 2-2 แสดงหน้าที่ของขาต่อใช้งานไอซีเบอร์ PCF8574/8574A

เมื่อต้องการให้ขาพอร์คเหล่านี้ทำหน้าที่เป็นอินพุตจะต้องส่งสัญญาณให้ขาเหล่านี้มีลอจิก “1” เสียก่อน เมื่อขาอินพุตได้รับสัญญาณจากภายนอกป้อนเข้ามา ไอซี PCF 8574A จะสร้างสัญญาณอินเทอร์รัปต์ (INT) ป้อนให้คอมพิวเตอร์รับรู้แทนการต้องคอยตรวจสอบขาอินพุตอยู่ตลอดเวลา สัญญาณอินเทอร์รัปต์นี้จะถูกรีเซ็ตเมื่อมีการอ่านค่าข้อมูลหรือมีการเปลี่ยนค่าของอินพุตไปสู่ค่าเดิม

การเขียนโปรแกรมควบคุม PCF8574A ด้วย VISUAL BASIC

เนื่องจาก PCF8574 และ PCF 8574A มีการเชื่อมต่อเป็นแบบบัส I²C ดังนั้นการติดต่อจึงต้องอ้างถึงโปรแกรมย่อยคั้งที่กล่าวไปแล้วในตอนต้น โดยจะต้องส่งข้อมูลแอดเดรสเพื่อติดต่อกับ PCF8574A ดังนี้

บิต7	บิต6	บิต5	บิต4	บิต3	บิต2	บิต1	บิต0
0	1	1	1	A2	A1	A0	R/W

ในกรณีติดต่อกับ PCF8574 ต้องส่งข้อมูลคั้งนี้

บิต7	บิต6	บิต5	บิต4	บิต3	บิต2	บิต1	บิต0
0	1	0	0	A2	A1	A0	R/W

บิต A0, A1, A2 ใช้ในการระบุ PCF8574A ที่ใช้บนบอร์ดในกรณีที่มีการต่อ PCF8574 มากกว่า 1 ตัว โดยค่าของ A0-A2 จะมีความแตกต่างกันไปในแต่ละตัว

บิต R/W ใช้กำหนดว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับไอซี PCF8574

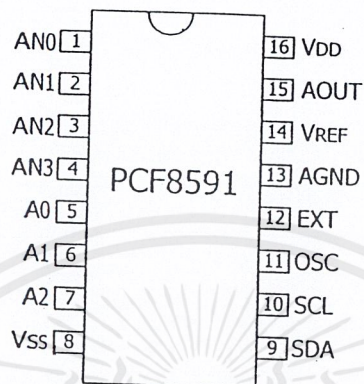
จากการกำหนดแอดเดรส A0-A2 จะให้สามารถขยายพอร์คอินพุตเอาต์พุตได้มากถึง 128 จุด โดยการใช้ PCF8574 ร่วมกับ PCF8574A

ข้อมูลเบื้องต้น ของPCF8591

PCF8591 เป็นไอซีทำหน้าที่แปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลและแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอกในตัวเอง เป็นผลงานของฟิลิปส์ เซมิคอนดักเตอร์ ผู้พัฒนาระบบบัส I²C นั้นเอง ด้วยความสามารถที่รวมเอาวงจร ADC และ DAC เข้าไว้ในไอซีเพียงตัวเดียว ทำให้สามารถนำ PCF8591 ไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง โดยคุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญของ PCF8591 มีดังนี้

1. ทำงานด้วยความละเอียดของข้อมูลดิจิทัลขนาด 8 บิต
2. มีวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัล (ADC) ขนาด 8 บิต 4 ช่อง
3. มีวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอก (DAC) ขนาด 8 บิต 1 ช่อง
4. ทำงานโดยใช้แหล่งจ่ายไฟชุดเดียว ตั้งแต่ 2.5 – 6 V
5. กินกระแสไฟฟ้าขณะอยู่ในสถานะสแตนด์บายต่ำ
6. ติดต่อกับไมโครคอมพิวเตอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านระบบบัส I²C
7. สามารถเลือกตำแหน่งแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์จากขา A0 , A1 , A2 ทำให้สามารถต่อพ่วงกันได้สูงสุดถึง 8 ตัว จึงขยายจำนวนช่องอินพุตของสัญญาณอะนาลอกได้สูงถึง 32 ช่อง และช่องเอาต์พุตของสัญญาณอะนาลอกจากวงจร DAC สูงถึง 8 ช่อง
8. อัตราการสุ่มข้อมูล(Sampling) ขึ้นอยู่กับความเร็วของสัญญาณนาฬิกาบนบัส I²C
9. วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัล (ADC) สามารถเลือกการทำงานเป็นแบบแยกช่องหรือทำงานเป็นวงจรดิฟเฟอเรนเชียลได้ ในกรณีที่กำหนดเป็นดิฟเฟอเรนเชียล จำนวนช่องอินพุตจะลดลงเหลือ 2 ช่อง
10. การอ่านค่าสามารถกำหนดให้เลื่อนช่องอินพุตโดยอัตโนมัติได้
11. สามารถรับสัญญาณอะนาลอกระดับแรงดันตั้งแต่ V_{ss} ไปจนถึง V_{dd}
12. วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลเป็นแบบ ชักเชสซีฟแอปพริอ็อกซิเมชัน

PCF8591 สามารถทำหน้าที่เป็นไอซีแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลขนาด 8 บิต 4 ช่องและทำหน้าที่เป็นไอซีแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอกได้ในคราวเดียวกัน ด้วยการควบคุมผ่านระบบบัส I²C ทำให้สามารถต่อพ่วงไอซี PCF8591 ได้สูงสุดถึง 8 ตัว รองรับการอ่านค่าสัญญาณอะนาลอกอินพุตได้สูงสุดถึง 32 ช่อง และสามารถส่งสัญญาณอะนาลอกเอาต์พุตสูงสุดได้ถึง 8 ช่องด้วยการกำหนดแอดเดรสจากขา A0 , A1 , และ A2 การจัดขาและรายละเอียดตำแหน่งขาของ PCF8591 แสดงในรูปที่ 2-11



ชื่อ	ตำแหน่งขา	หน้าที่
AN0	1	อะนาล็อกอินพุตช่องที่ 1
AN1	2	อะนาล็อกอินพุตช่องที่ 2
AN2	3	อะนาล็อกอินพุตช่องที่ 3
AN3	4	อะนาล็อกอินพุตช่องที่ 4
A0	5	ขากำหนดแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์บิต 0
A1	6	ขากำหนดแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์บิต 1
A2	7	ขากำหนดแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์บิต 2
VSS	8	กราวด์
SDA	9	ขาข้อมูลสำหรับ I2C บัส
SCL	10	ขาสัญญาณนาฬิกาสำหรับ I2C บัส
OSC	11	ขาอิพุตเอาต์พุตออสซิลเลเตอร์
EXT	12	ขาเลือกออสซิลเลเตอร์ภายในหรือภายนอก
AGND	13	กราวด์อะนาล็อก
VREF	14	ขาอินพุตสำหรับแรงดันอ้างอิง
AOOUT	15	ขาอะนาล็อกเอาต์พุต(วงจรร D/A)
VDD	16	ไฟเลี้ยง

รูปที่ 2-11 การจัดขาและตารางแสดงชื่อขาสัญญาณของ PCF8591

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายละเอียดฟังก์ชันต่างๆของพีซีเอฟ 8591(PCF8591)

ตำแหน่งแอดเดรส

ในระบบบัส I²C การติดต่อกับอุปกรณ์แต่ละตัวต้องระบุแอดเดรสของอุปกรณ์เหล่านั้นอย่างชัดเจน ถ้าเป็นการอ้างถึงแบบ 7 บิต ข้อมูลกำหนดแอดเดรส 4 บิตบนจะเป็นค่าแอดเดรสเฉพาะของอุปกรณ์นั้นๆ ที่กำหนดมาจากผู้ผลิต ผู้ใช้งานไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ สำหรับไอซี PCF8591 จะมีค่าเท่ากับ 1001 (ฐานสอง) ข้อมูล 3 บิตถัดมาจะเป็นค่าของแอดเดรสที่ผู้ใช้งานสามารถกำหนดได้ทางฮาร์ดแวร์เพื่อเลือกไอซี PCF8591 ที่ต้องการติดต่อกับในกรณีที่มีการต่อไอซี PCF8591 มากกว่า 1 ตัว ส่วนบิต LSB ใช้ในการกำหนดว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับไอซีตัวนั้นๆ โดยมีรูปแบบการกำหนดค่าดังนี้

ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการอ่านข้อมูลจากชิปที่กำหนดแอดเดรสไว้เป็น 000 จะต้องป้อนข้อมูลแอดเดรสเท่ากับ &H91 เป็นต้น

ข้อมูลควบคุม

หลังจากส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรสให้แก่ PCF8591 แล้ว ต้องส่งข้อมูลควบคุมตามไปด้วยเพื่อกำหนดคุณสมบัติของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลและวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอกภายใน PCF8591 โดยมีรายละเอียดของข้อมูลในแต่ละบิตดังในรูปที่ 2-12

บิต 6 ของข้อมูลควบคุมใช้สำหรับการอินทิเกรตอะนาลอกเอาต์พุต เมื่อต้องการอินทิเกรตต้องกำหนดให้ขานี้เป็น “1”

บิต 4 และบิต 5 ของข้อมูลควบคุมใช้สำหรับการกำหนดรูปแบบของสัญญาณอะนาลอกอินพุตที่ป้อนให้แก่ PCF8591

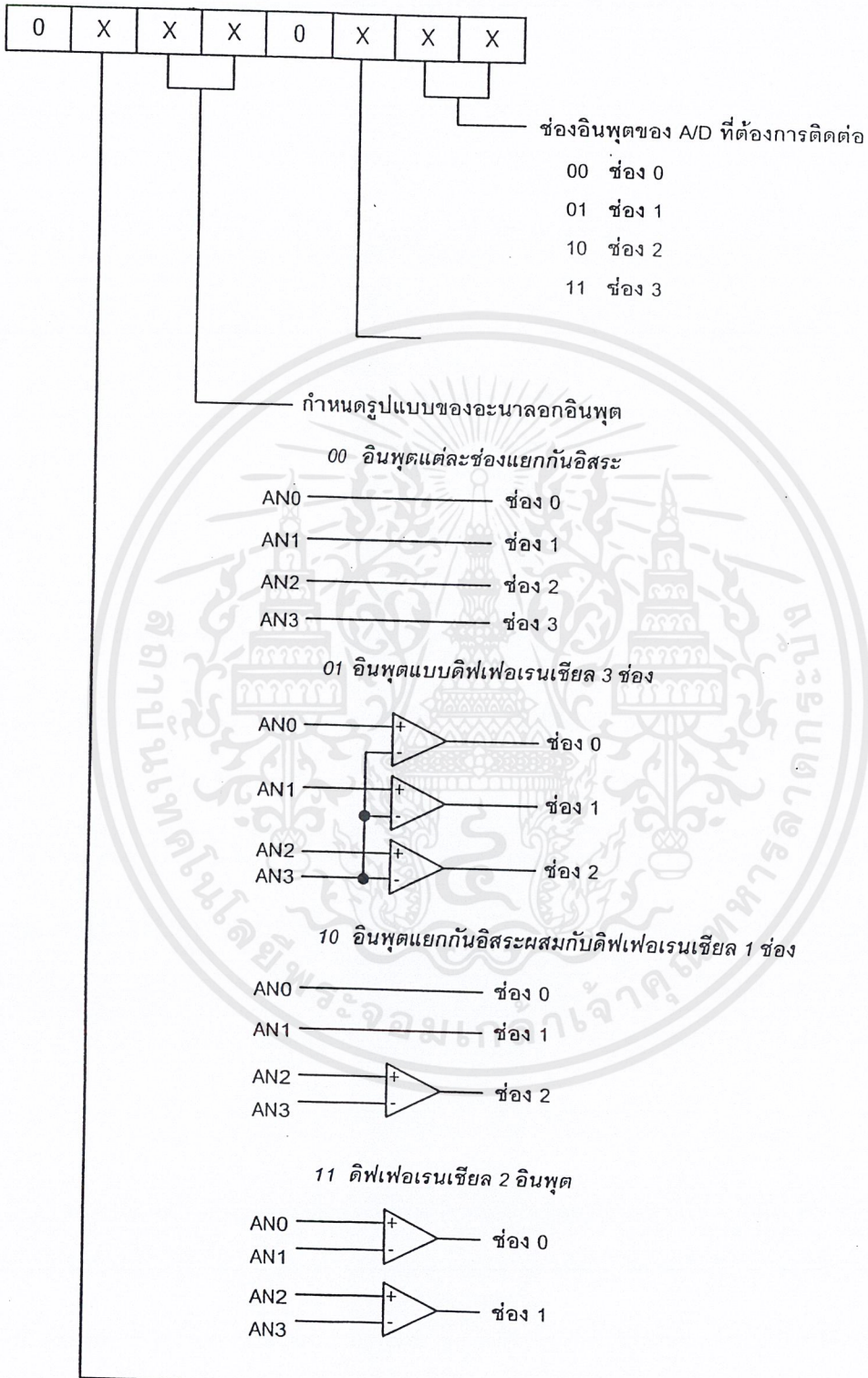
บิต 2 ใช้สำหรับเลือกรูปแบบการอ่านข้อมูลจากขาอินพุตอะนาลอกว่าจะเป็นการอ่านจากเพียงอินพุตเดียวหรืออ่านแบบเรียงลำดับทุกอินพุต ถ้าต้องการเลือกให้อ่านแบบเรียงลำดับต้องกำหนดให้บิตนี้เป็น “1”

บิต 0 และบิต 1 ใช้สำหรับกำหนดช่องของอินพุตอะนาลอกที่ต้องการอ่าน ถ้ากำหนดให้บิต 2 เป็น “1” หลังจากอ่านค่าของบิต “0” และบิต “1” แล้ว ในการอ่านค่าครั้งต่อไปจะเป็นการอ่านค่าอินพุตจากช่องที่ 1

ข้อมูลควบคุมทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ควบคุมภายใน PCF8591

เมื่อจ่ายไฟให้แก่ PCF8591 ครั้งแรก บิตต่างๆ ข้อมูลภายในรีจิสเตอร์ควบคุมจะถูกกำหนดให้เป็น “0”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2-12 รายละเอียดข้อมูลควบคุมการทำงานของ PCF8591

ออสซิลเลเตอร์

วงจรออสซิลเลเตอร์ภายในพีซีเอฟ 8591 (PCF8591) จะสร้างสัญญาณนาฬิกาสำหรับการแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัล เมื่อต้องการใช้วงจรออสซิลเลเตอร์ภายในขาอีเอ็กซ์ที(EXT) ต้องต่อลงกราวด์ ถ้าต้องการใช้ออสซิลเลเตอร์จากภายนอกขา อีเอ็กซ์ที(EXT) ต้องต่อเข้ากับไฟบวก แล้วป้อนสัญญาณนาฬิกาเข้าที่ขาโอเอสซี(OSC) ของ PCF8591 โดยความถี่ของสัญญาณนาฬิกาสูงสุดที่ป้อนให้กับออสซิลเลเตอร์เท่ากับ 1.25 MHz



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

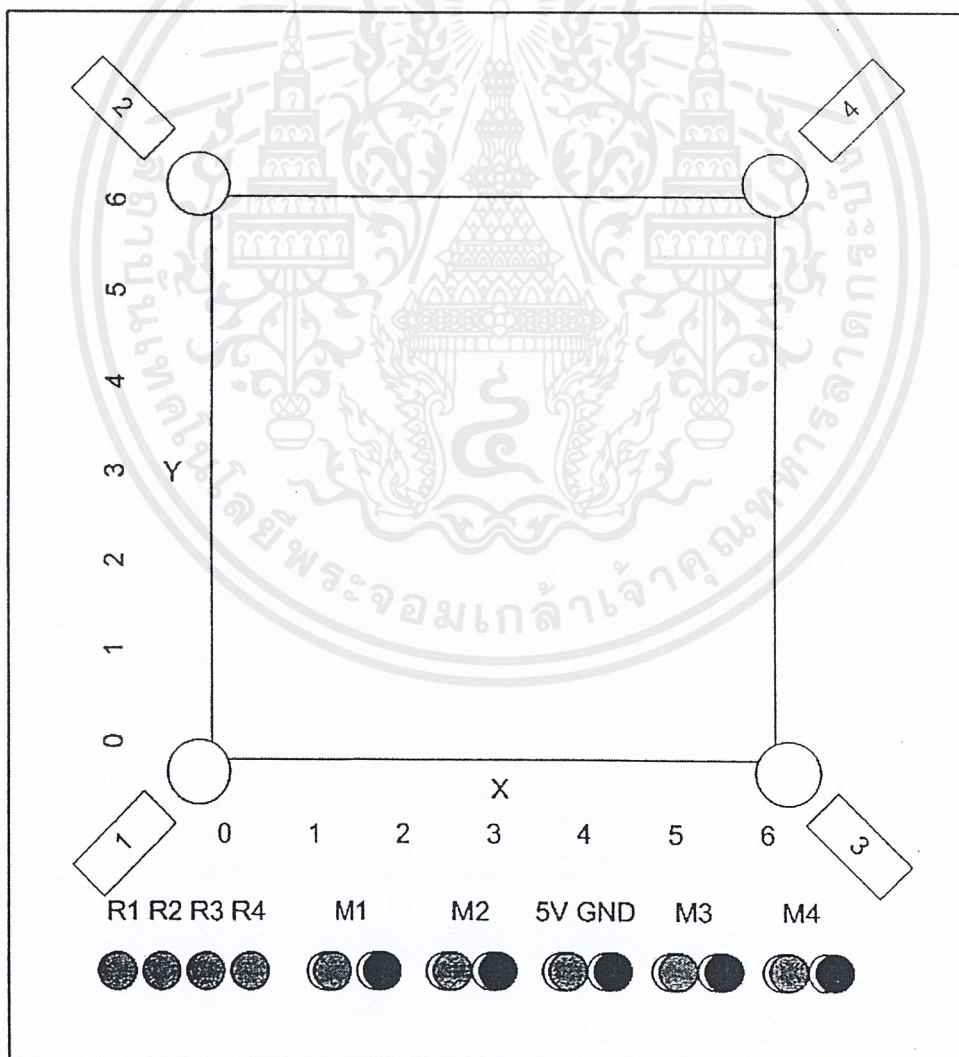
บทที่ 3

การสร้างและการคำนวณ

3.1 สนาม

ตัวสนามนั้นเป็นการจำลองสนามอเมริกันฟุตบอล โดยสร้างให้เป็นแบบ 3 มิติมีเสา 4 ต้น ซึ่งเสาแต่ละต้นจะมีรอกคล้องอยู่เพื่อให้วัตถุสามารถเคลื่อนที่ได้อิสระในพื้นที่สนามโดยวัตถุที่ใช้เป็นวัตถุจำลองคือวงล้อ

ในส่วนของการเคลื่อนที่ของวัตถุนั้นอาศัยมอเตอร์ขนาด 24 V ดึงเชือกที่ขึงตึง โดยติดตั้งมอเตอร์ที่เสาทั้ง 4 ต้น (มอเตอร์มีขนาดเท่ากัน 4 ตัว)



รูปที่ 3-1 สนามจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วงจรที่ใช้งาน

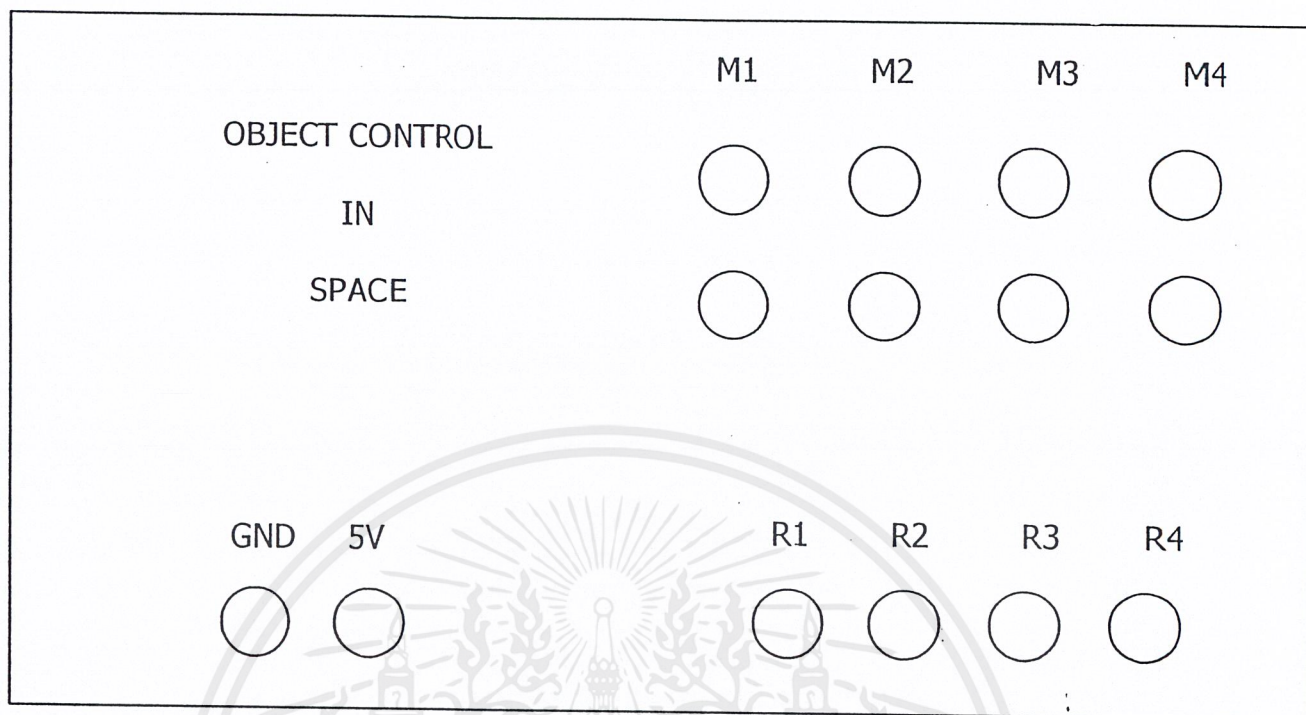
3.2.1 การ์ดอินเตอร์เฟส

เป็นส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีช่องรับสัญญาณไว้รับข้อมูลทั้งหมด 4 ช่อง และมีช่องส่งสัญญาณควบคุมทั้งหมด 4 ช่องเช่นกัน ซึ่งการ์ดนี้มีไอซีที่สำคัญคือ PCF8591 กับ PCF8574 โดยที่ PCF8591 ทำหน้าที่แปลงสัญญาณดิจิทัลขนาด 8 บิต เป็นสัญญาณอนาล็อก 0-5 V และสามารถแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 8 บิต เข้าไปประมวลผลในคอมพิวเตอร์ได้ ส่วน PCF8574 ทำหน้าที่แปลงข้อมูลอนุกรมให้เป็นข้อมูลแบบขนาน (Parallel in Serial out)

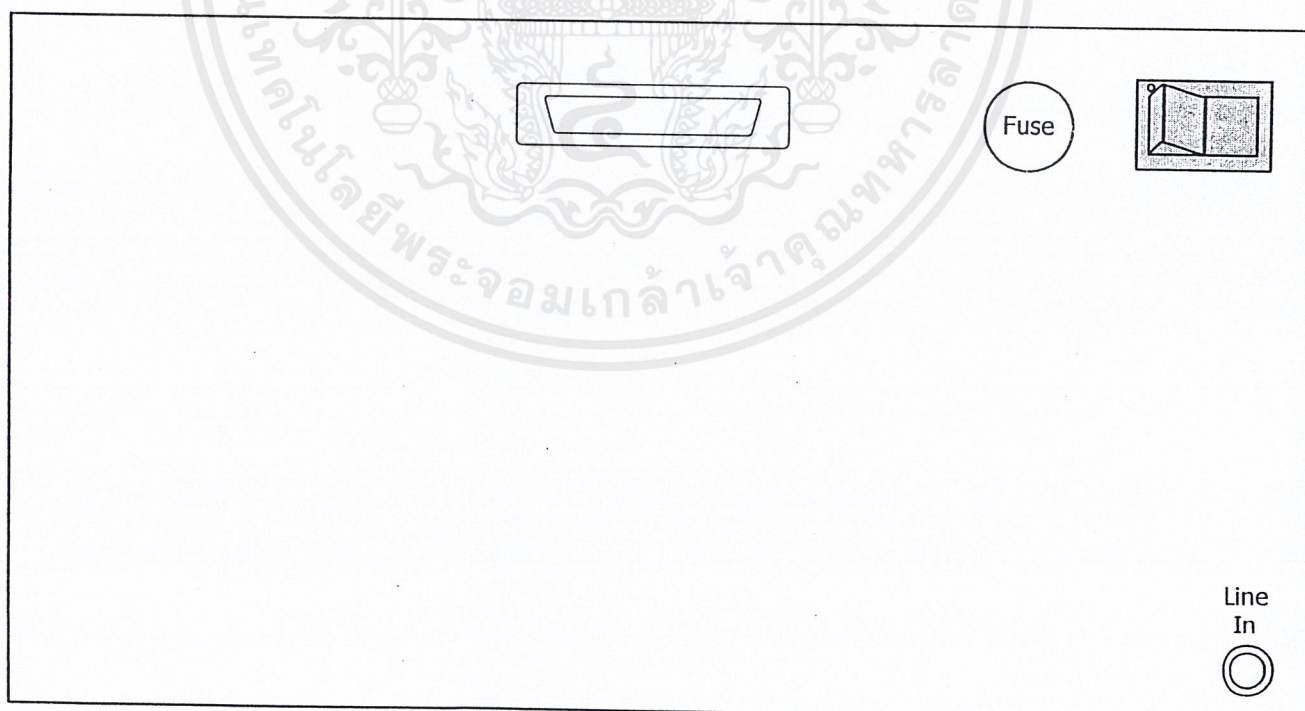
3.2.2 การ์ดขับมอเตอร์ (Drive Card)

เป็นส่วนที่ใช้ควบคุมมอเตอร์ ซึ่งมีวงจรซีโรสแปน และวงจรพาวเวอร์แอมพลิฟายเออร์ ทำหน้าที่ขับเคลื่อนมอเตอร์ โดยวงจรซีโรสแปนทำหน้าที่ปรับแรงดันอินพุต 0-5 V ให้มีเอาต์พุตเป็น -12 ถึง $+12$ V ซึ่งจะเป็นอินพุตเข้าไปในวงจรพาวเวอร์แอมพลิฟายเออร์(ขยายกระแส) ไปควบคุมให้มอเตอร์หมุนเดินหน้าหรือหมุนถอยหลัง

3.3 กล่องวงจร



รูปที่ 3-2 ด้านหน้ากล่อง



รูปที่ 3-3 ด้านหลังกล่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านหน้ากล่อง

M1 คือ ช่องเสียบต่อกับมอเตอร์ตัวที่ 1

M2 คือ ช่องเสียบต่อกับมอเตอร์ตัวที่ 2

M3 คือ ช่องเสียบต่อกับมอเตอร์ตัวที่ 3

M4 คือ ช่องเสียบต่อกับมอเตอร์ตัวที่ 4

R1 คือ ช่องเสียบต่อกับตัวต้านทานป้อนกลับตัวที่ 1

R2 คือ ช่องเสียบต่อกับตัวต้านทานป้อนกลับตัวที่ 2

R3 คือ ช่องเสียบต่อกับตัวต้านทานป้อนกลับตัวที่ 3

R4 คือ ช่องเสียบต่อกับตัวต้านทานป้อนกลับตัวที่ 4

5V คือ ไฟ 5 โวลต์ ที่ต่อเข้ากับสนาม

GND คือ กราวด์ที่ต่อเข้ากับสนาม

ช่องเสียบที่เหลือมีไว้สำหรับต่อขยาย ต่อไป

ด้านหลังกล่อง

มีคอนเนคเตอร์ดีบี25(DB-25)ไว้เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

3.4 การคำนวณ

3.4.1 การคำนวณความยาวเชือก ณ พิกัดต่างๆ

ในโปรเจกต์นี้ได้ทำการออกแบบสนามให้มีค่าพิกัด X-Y-Z ตั้งแต่ (0,0,0) ถึง (6,6,6) โดยที่ จุด(0,0,0) นั้นเริ่มที่บริเวณฐานของเสาต้นที่ 1 ซึ่งในการเขียนโปรแกรมนั้นเราต้องมีการคำนวณความยาวของเชือกที่พิกัดต่างๆ ซึ่งใช้สูตรทางพีทาโกรัส คือ ความยาว² = X² + Y² + Z² ซึ่งเมื่อมองแต่ละเสาเชือกจะมีความยาวโดยใช้สูตรคิตตามตารางที่ 3-1

เสา	สูตรการคำนวณ หาความยาวเชือก
1	ความยาว ² = X ² + Y ² + (6-Z) ²
2	ความยาว ² = X ² + (6-Y) ² + (6-Z) ²
3	ความยาว ² = (6-X) ² + Y ² + (6-Z) ²
4	ความยาว ² = (6-X) ² + (6-Y) ² + (6-Z) ²

ตารางที่ 3-1 แสดงสูตรที่ใช้ในการคำนวณความยาวเชือก

3.4.2 การแปลงค่าความยาวไปเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า

ในโปรเจคนี้ได้ใช้ตัวความต้านทานปรับค่าได้เป็นตัวป้อนกลับตำแหน่งของวัตถุ กลับมาประมวลผลโดยป้อนกลับมาเป็นค่าแรงดันไฟฟ้า ซึ่งจำเป็นต้องมีการแปลงค่าความยาวเชือกเป็นค่าแรงดันไฟฟ้าซึ่งมีสูตรดังนี้

$$V = 2.5 + (0.044 * (\text{ความยาวเชือกเริ่มต้น} - \text{ความยาวเชือกที่ใหม่ที่ต้องการ}))$$

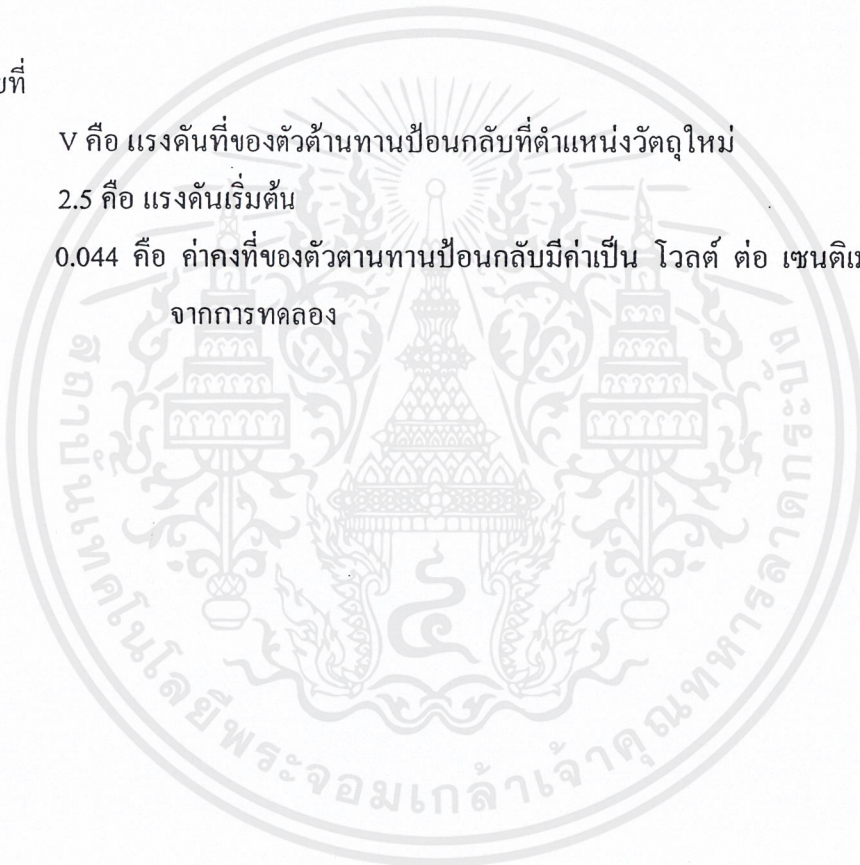
โดยที่

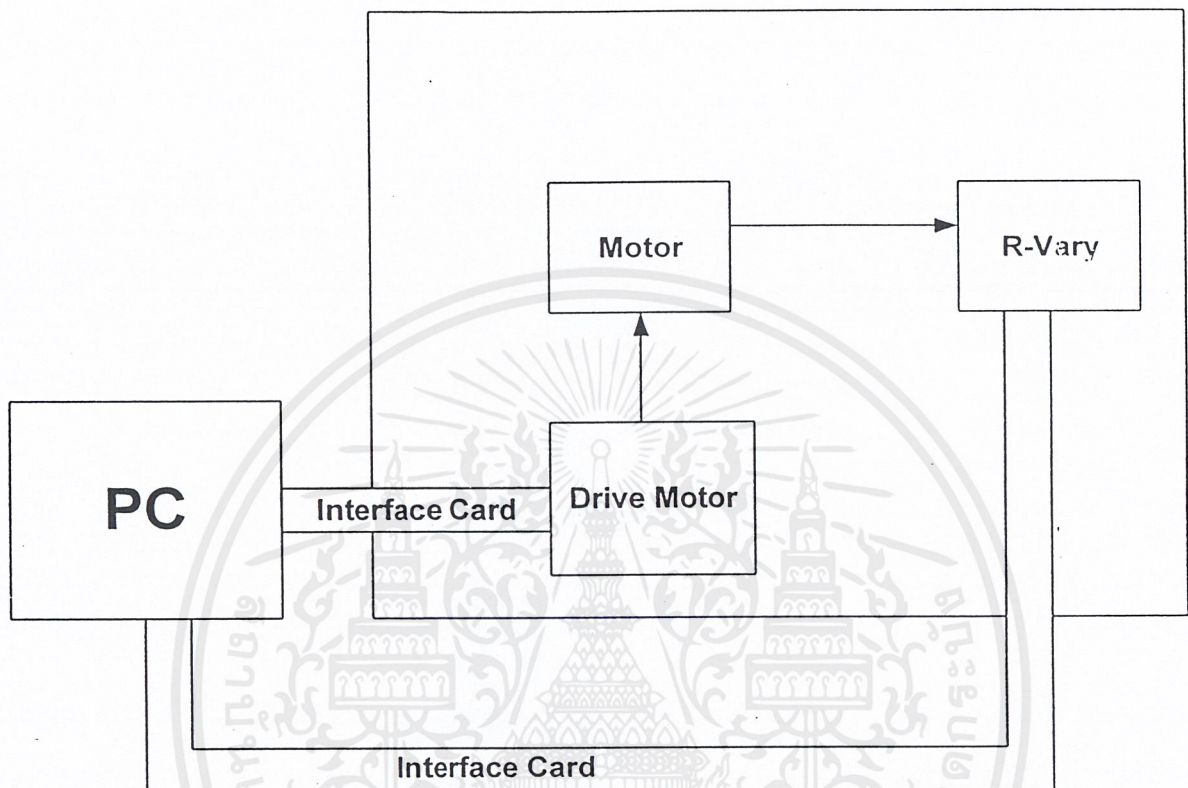
V คือ แรงดันที่ของตัวต้านทานป้อนกลับที่ตำแหน่งวัตถุใหม่

2.5 คือ แรงดันเริ่มต้น

0.044 คือ ค่าคงที่ของตัวต้านทานป้อนกลับมีค่าเป็น โวลต์ ต่อ เซนติเมตร ซึ่งได้

จากการทดลอง

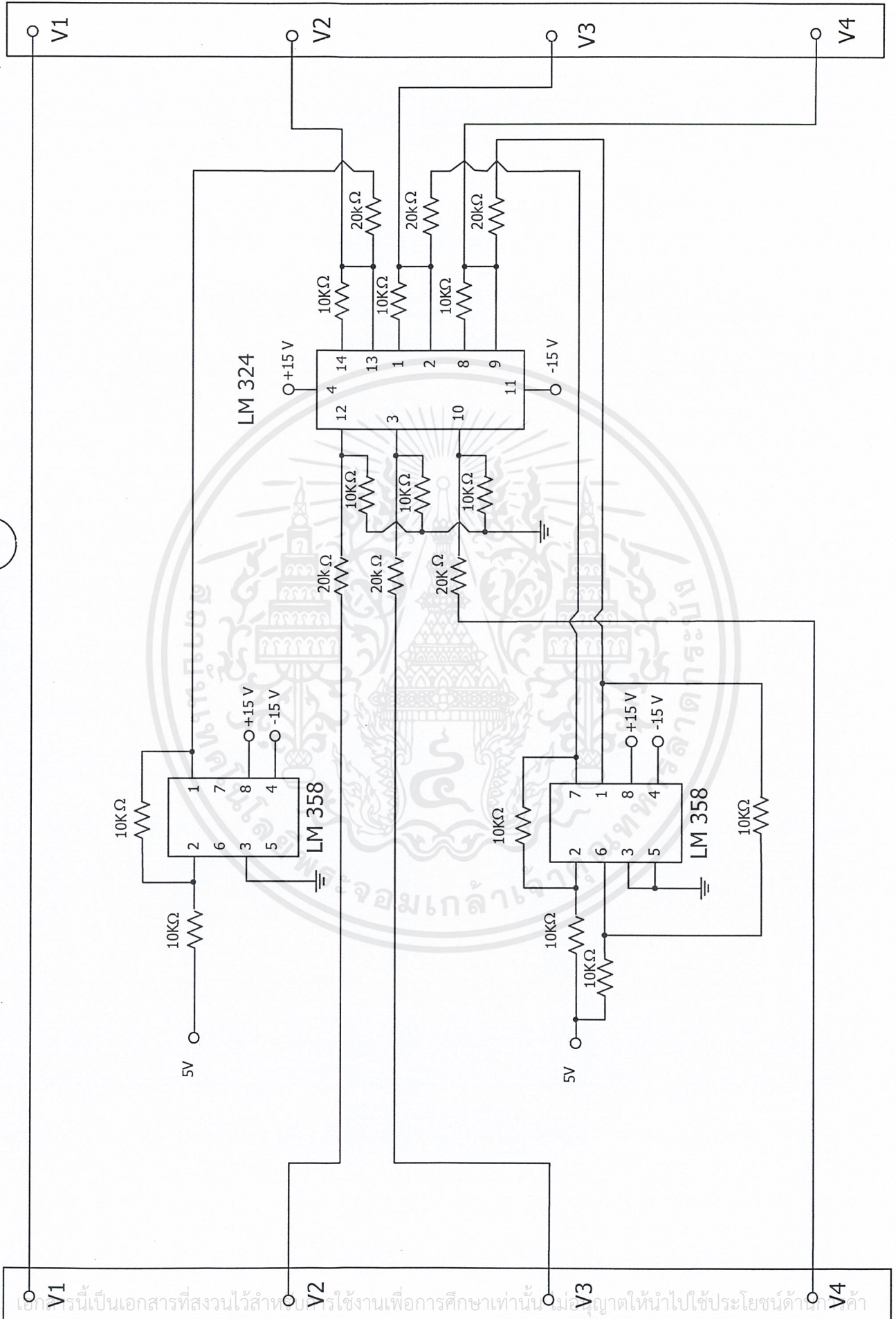




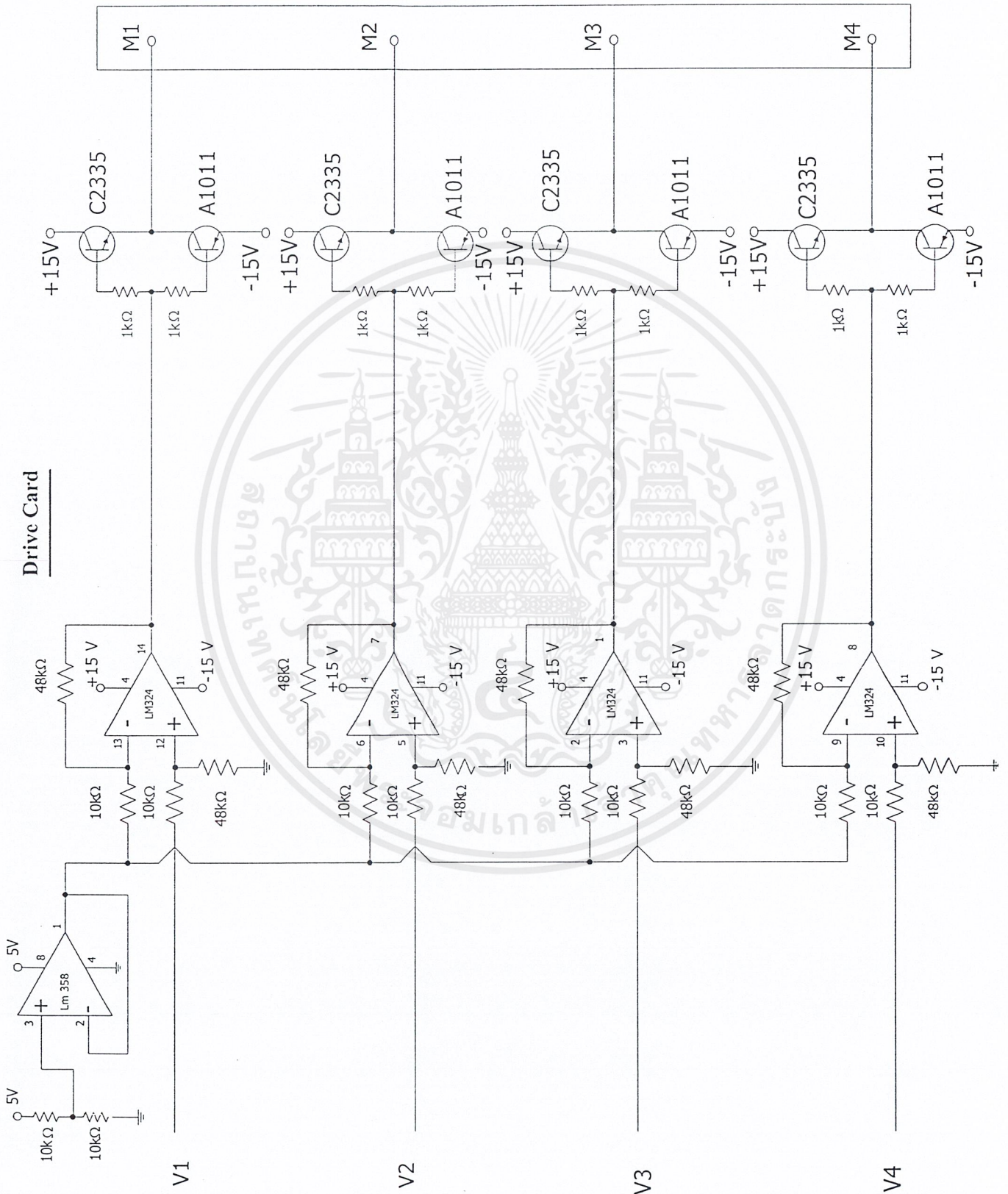
รูปที่ 3-4 การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับฮาร์ดแวร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Card Interface 3

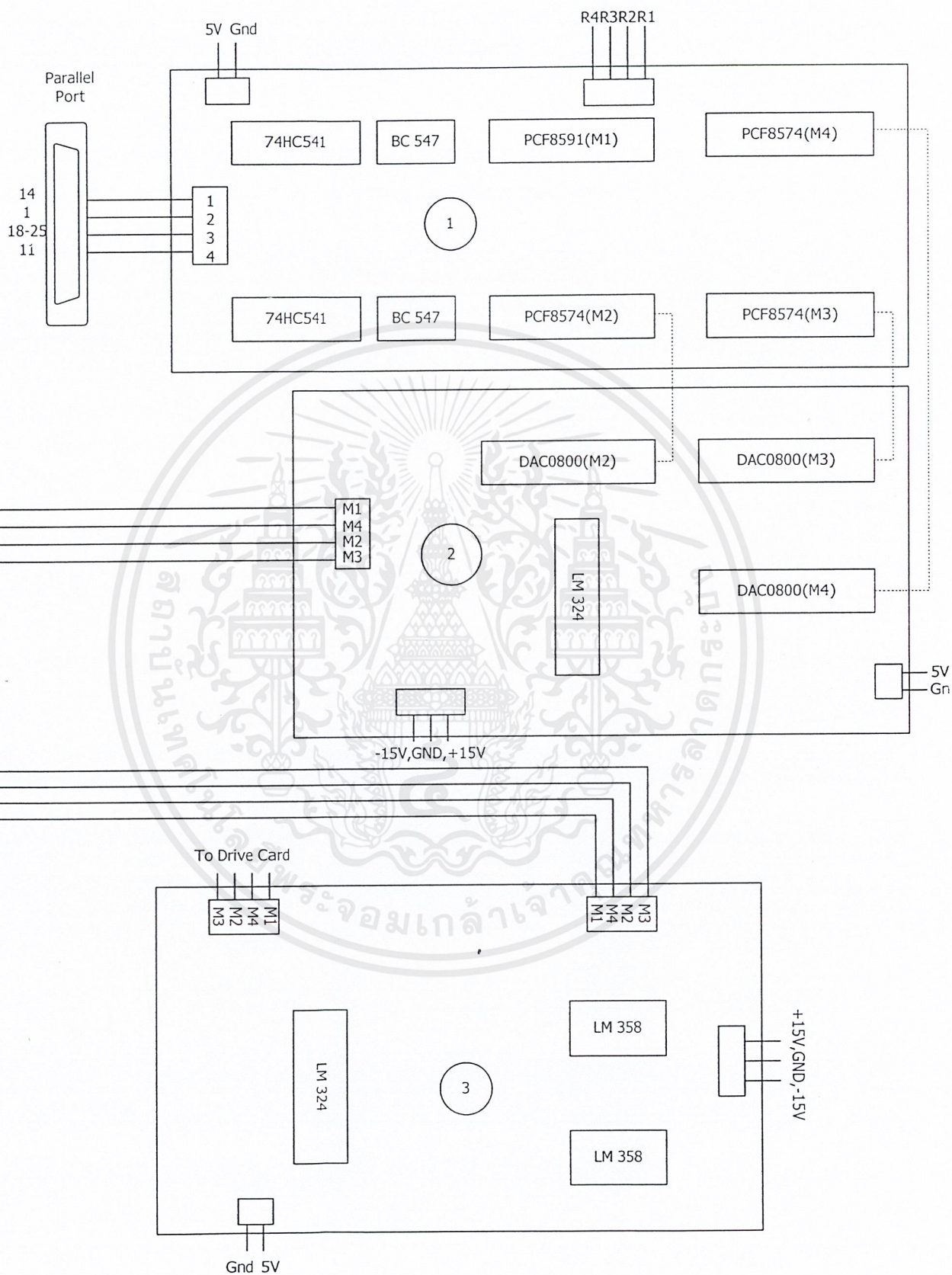


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

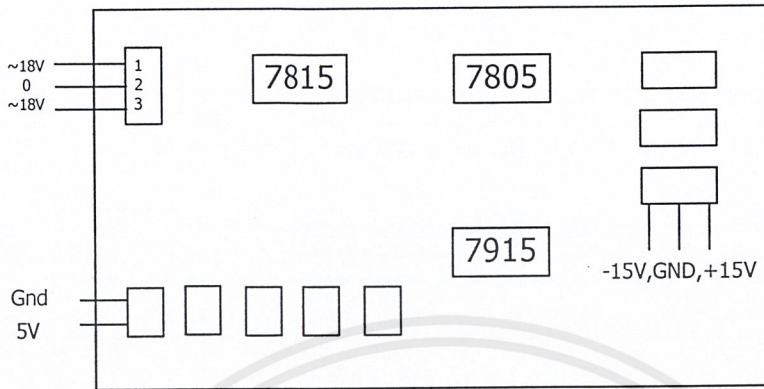
Layout1 Interface Card



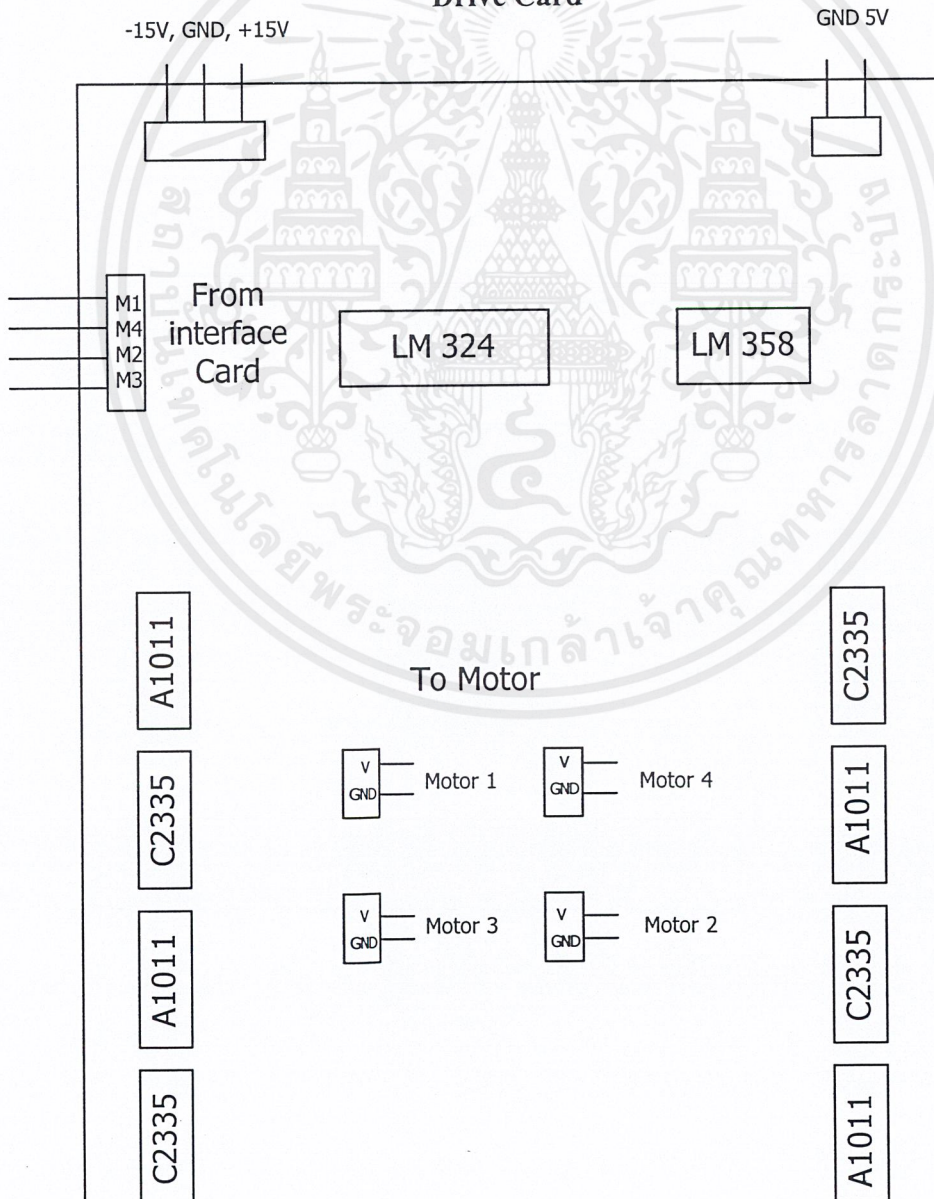
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Layout 2

Supply Card



Drive Card



บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 ทาค่าคงที่

จากการหาค่าความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าที่ตัวต้านทานป้อนกลับกับความยาวเส้นเชือก พบว่า ค่าคงที่ (โวลต์ ต่อ เซนติเมตร) มีค่า 0.043 ซึ่งเป็นค่าที่คงที่ตลอดช่วงแรงดัน

จากการหาค่าความสัมพันธ์ของค่าความต่างศักย์ที่เปลี่ยนแปลงต่อการหมุนตัวต้านทานปรับค่าได้มีค่า 0.5 โวลต์ ต่อการหมุนตัวต้านทานปรับค่าได้ 1 รอบ ดังต่อไปนี้

จำนวนรอบ	ค่าความต่างศักย์
1	0.49
2	1.01
3	1.50
4	1.99
5	2.49
6	3.00
7	3.51
8	4.00
9	4.51
10	5.02

ตารางที่4-1 ผลการทดลอง

ซึ่งจากการทดลองค่าที่ได้ค่อนข้างจะเป็นสมการเส้นตรงทำให้สามารถทำการควบคุมได้ตลอดทุกช่วงแรงดัน

4.2 การติดต่อกับมอเตอร์และตัวต้านทานป้อนกลับ

1. ติดต่อกับมอเตอร์ตัวที่ 1 โดยผ่าน IC PCF8951 ที่ Address &H44

$$e1 = V1 - R1$$

$$Up1 = 27 * e1$$

$$Ui1 = Ui1 + 0.1 * (0.5 * (e1 + ep1) * 0.001)$$

$$ep1 = e1$$

$$X1 = Up1 + Ui1$$

$$V1out = 0.5 * (X1 + 5)$$

If V1out <= 0.5 Then

$$V1out = 0.5$$

End If

If V1out >= 4.5 Then

$$V1out = 4.5$$

End If

Call I2CStart

Call Send8BIT(&H90)

Call Ack

Call Send8BIT(&H44)

Call Ack

Call Send8BIT(Val(V1out) * 51) (V1out คือ แรงดันที่ต้องการส่งออกมอเตอร์ตัวที่ 1)

Call Ack

Call I2CStop

2. ติดต่อกับมอเตอร์ตัวที่ 2 โดยผ่าน IC PCF8574 ที่ Address &H72

$$e2 = V2 - R2$$

$$Up2 = 32 * e2$$

$$Ui2 = Ui2 + 0.2 * (0.5 * (e2 + ep2) * 0.001)$$

$$ep2 = e2$$

$$X2 = Up2 + Ui2$$

$$V2out = 0.5 * (X2 + 5)$$

If V2out <= 0.5 Then

$$V2out = 0.5$$

End If

If V2out >= 4.5 Then

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

V2out = 4.5

End If

Call I2CStart

Call Send8BIT(&H72)

Call Ack

Call SendBin8BIT(Val(V2out) * 51) (V2out คือ แรงดันที่ต้องการส่งออกมอเตอร์ตัวที่ 2)

Call Ack

Call I2CStop

3. ติดต่อกับมอเตอร์ตัวที่ 3 โดยผ่าน IC PCF8574 ที่ Address &H74

$e3 = V3 - R3$

$Up3 = 31 * e3$

$Ui3 = Ui3 + 0.1 * (0.5 * (e3 + ep3) * 0.001)$ ' $Ui = Ui + Ki(1/2 * dt * (\text{sum of pararell}))$

$ep3 = e3$

$X3 = Up3 + Ui3$

$V3out = 0.5 * (X3 + 5)$

If V3out <= 0.5 Then

V3out = 0.5

End If

If V3out >= 4.5 Then

V3out = 4.5

End If

Call I2CStart

Call Send8BIT(&H74)

Call Ack

Call SendBin8BIT(Val(V3out) * 51) (V3out คือ แรงดันที่ต้องการส่งออกมอเตอร์ตัวที่ 3)

Call Ack

Call I2CStop

4. ติดต่อกับมอเตอร์ตัวที่ 4 โดยผ่าน IC PCF8574 ที่ Address &H76

$e4 = V4 - R4$

$Up4 = 40 * e4$

$Ui4 = Ui4 + 0.1 * (0.5 * (e4 + ep4) * 0.001)$

$ep4 = e4$

$X4 = Up4 + Ui4$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$V4out = 0.5 * (X4 + 5)$

If $V4out \leq 0.5$ Then

$V4out = 0.5$

End If

If $V4out \geq 4.5$ Then

$V4out = 4.5$

End If

Call I2CStart

Call Send8BIT(&H76)

Call Ack

Call SendBin8BIT($Val(V4out) * 51$) ($V4out$ คือ แรงดันที่ต้องการส่งออกมอเตอร์ตัวที่ 4)

Call Ack

Call I2CStop

5. การติดต่อกับตัวต้านทานป้อนกลับทั้ง 4 ตัว จะผ่าน พีซีเอฟ8591(PCF8591) โดยมีชุดคำสั่งดังนี้

Call I2CStart

Call Send8BIT(&H90)

Call Ack

Call Send8BIT(&H45)

Call Ack

Call I2CStop

Call I2CStart

Call Send8BIT(&H91)

Call Ack

$R1 = (DAT * 5) / 256$

Call MAck

$R2 = (DAT * 5) / 256$

Call MAck

$R3 = (DAT * 5) / 256$

Call MAck

$R4 = (DAT * 5) / 256$

Call Ack

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Call I2CStop

R1,R2,R3,R4 คือ ค่าที่อ่านกลับมาได้

โดยที่มีซบฟังก์ชันส Sub Function ที่ใช้ร่วมดังต่อไปนี้

Private Sub I2CStart()

Out &H37A, Inp(&H37A) Or 1 'SDA=1

Out &H37A, Inp(&H37A) Or 2 'SCL=1

Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFE 'SDA=0

Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFD 'SCL=0

End Sub

Private Sub I2CStop()

Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFE 'SDA=0

Out &H37A, Inp(&H37A) Or 2 'SCL=1

Out &H37A, Inp(&H37A) Or 1 'SDA=1

End Sub

Private Sub Send0()

Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFE 'SDA=0

Out &H37A, Inp(&H37A) Or 2 'SCL=1

Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFD 'SCL=0

End Sub

Private Sub Send1()

Out &H37A, Inp(&H37A) Or 1 'SDA=1

Out &H37A, Inp(&H37A) Or 2 'SCL=1

Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFD 'SCL=0

End Sub

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Private Sub Ack()

```

Out &H37A, Inp(&H37A) Or 1 'SDA=1
Out &H37A, Inp(&H37A) Or 2 'SCL=1
Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFD 'SCL=0
End Sub

```

Private Sub MACK()

```

Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFE 'SDA=0
Out &H37A, Inp(&H37A) Or 2 'SCL=1
Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFD 'SCL=0
Out &H37A, Inp(&H37A) Or 1 'SDA=1
End Sub

```

Private Function DAT()

```

For I = 7 To 0 Step -1
  Out &H37A, Inp(&H37A) Or 1 'SDA=1
  Out &H37A, Inp(&H37A) Or 2 'SCL=1
  If (Inp(&H379) And &H80) <> &H80 Then 'Read SDA
    DAT1 = 2 ^ I Or DAT1
  End If
  Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFD 'SCL=0
Next I
DAT = DAT1 'Data 8 Bit
End Function

```

Private Sub Send8BIT(Add As Integer)

```

For I = 7 To 0 Step -1 ' Loop 7 Cycle
  If (Add And 2 ^ I) = 2 ^ I Then 'Test Bit 0 OR 1
    Call Send1
  Else

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    Call Send0
  End If
Next I
End Sub

```

Private Sub SendBin8BIT(Add As Integer)

```

  If (Add And 2 ^ 7) = 2 ^ 7 Then

```

```

    Call Send1

```

```

  Else

```

```

    Call Send0

```

```

  End If

```

```

  If (Add And 2 ^ 6) = 2 ^ 6 Then

```

```

    Call Send1

```

```

  Else

```

```

    Call Send0

```

```

  End If

```

```

  If (Add And 2 ^ 5) = 2 ^ 5 Then

```

```

    Call Send1

```

```

  Else

```

```

    Call Send0

```

```

  End If

```

```

  If (Add And 2 ^ 4) = 2 ^ 4 Then

```

```

    Call Send1

```

```

  Else

```

```

    Call Send0

```

```

  End If

```

```

  If (Add And 2 ^ 3) = 2 ^ 3 Then

```

```

    Call Send1

```

```

  Else

```

```

    Call Send0

```

```

  End If

```

```

  If (Add And 2 ^ 2) = 2 ^ 2 Then

```

```

    Call Send1

```

```

  Else

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

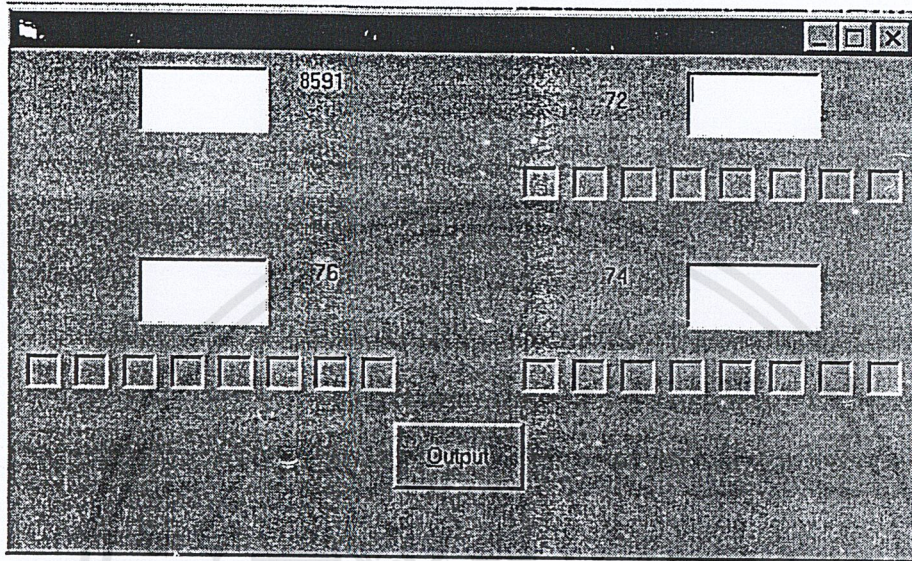
    Call Send0
End If
If (Add And  $2^1$ ) =  $2^1$  Then
    Call Send1
Else
    Call Send0
End If
If (Add And  $2^0$ ) =  $2^0$  Then
    Call Send1
Else
    Call Send0
End If
End Sub

```



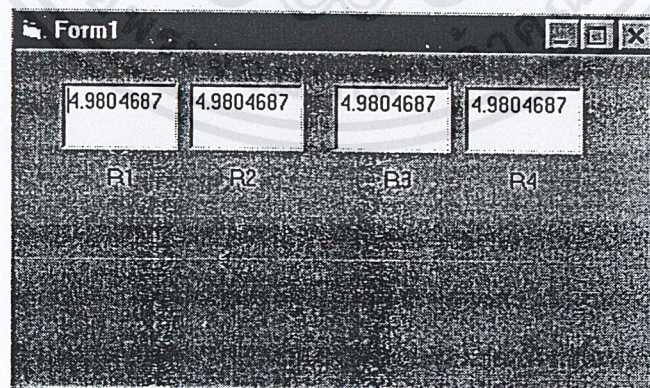
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าต่างโปรแกรมทดลองการส่งค่าออก



จากโปรแกรมสามารถส่งค่าออกเป็น บิตได้ เพื่อทำการตรวจสอบการรับค่าของ ไอซี พีซีเอฟ 8574 และ ไอซี พีซีเอฟ 8591

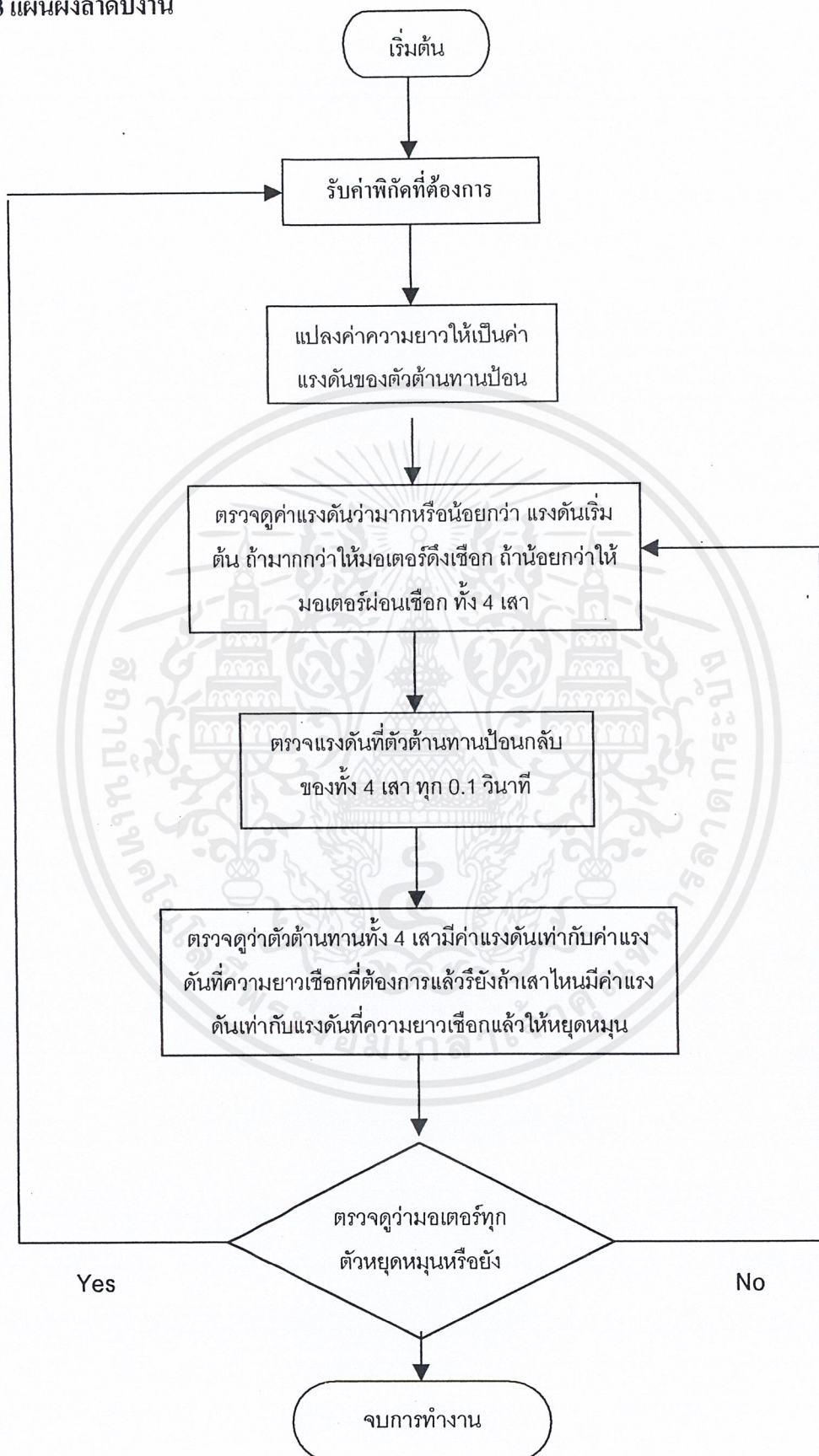
หน้าต่างโปรแกรมการรับค่าตัวด้านทานปรับค่าได้



เป็นโปรแกรมรับค่าจากตัวด้านทานปรับค่าได้ โดยรับค่าเป็น ไทม์เมอร์ โดยอ่านค่าทุกๆ 0.05 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 แผนผังลำดับงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

บทสรุปและวิจารณ์

5.1 สรุปผลการปฏิบัติงาน

โครงการชุดทดลองการควบคุมการเคลื่อนที่ในแกน X-Y-Z มีวัตถุประสงค์เพื่อ เป็นการจำลองสนามอเมริกันฟุตบอล โดยจะศึกษาการเคลื่อนที่ของกล้องติดตามตัวของผู้เล่นอเมริกันฟุตบอล

เริ่มต้นการทำงานเริ่มจากการออกแบบวงจรต่างๆ โดยได้มีการปรึกษาอาจารย์ที่ปรึกษาในการเปลี่ยนแปลงวงจรและอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งโครงการในส่วนนี้ คือ การเปลี่ยนแปลงวงจรภาคขั้วมอเตอร์ติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกและบอร์ดอินเตอร์เฟต ในส่วนของซอฟต์แวร์ได้แก้ไขการเขียนโปรแกรมเพื่อที่จะสามารถควบคุมตำแหน่งวัตถุจากการจ่ายไฟเพื่อให้การเคลื่อนที่ไม่มีอาการกระตุก

ผลที่ได้คือ สามารถเรียนรู้การทำงานและการออกแบบการด์อินเตอร์เฟตและการ์ดขั้วมอเตอร์ รวมถึงเขียน โปรแกรมควบคุมตำแหน่งวัตถุตามแกน X-Y-Z ได้

5.2 ปัญหาในการทำงานและการแก้ไข

ในการดำเนินโครงการนี้ประสบปัญหาหลายประการ ซึ่งมีการแก้ไขดังต่อไปนี้

1.เนื่องจาก โครงการนี้เป็นโครงการที่ทำต่อเนื่องจากปีการศึกษาที่แล้ว ดังนั้นในส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์จึงต้องมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมากและวงจรต่างๆกับเนื้อหาในปริญญา นิพนธ์ไม่เหมือนกัน ทำให้เกิดความล่าช้าในการปฏิบัติงาน จึงควรที่จะศึกษาฮาร์ดแวร์ที่มีอยู่แล้วให้รอบคอบ

2.ไอซีที่เลือกใช้บนการด์อินเตอร์เฟสนั้นเป็น ไอซีที่มีใช้กันน้อยมาก จึงทำให้บางครั้งเกิดการขาดตลาดต้องเสียเวลาดั่งงของล่วงหน้า จึงควรเลือกใช้ไอซีที่พื้นฐานจะดีที่สุด

3.จากประสบการณ์ในการทำงานของผู้ทำยังน้อยมากบางครั้งจึงมีการตัดสินใจที่ลองผิดลองถูกดังนั้นจึงควรที่จะมีการปรึกษาอาจารย์ให้มากขึ้น

4.อุปกรณ์โครงการมีความชำรุดเสียหายในบางส่วน จึงควรปรับปรุงตรวจสอบอุปกรณ์ก่อนการจ่ายไฟให้กับระบบ

5.3 ผลที่ได้รับจากการทำโครงการ

การศึกษาทางทฤษฎีเพียงอย่างเดียวนั้นอาจจะไม่เพียงพอ เพราะเมื่อเราได้นำมาปฏิบัติใช้งานจริงย่อมต้องมีเงื่อนไขภายใต้สภาวะต่างๆ ซึ่งการที่จะประสบความสำเร็จนั้นบางครั้งอาจต้องใช้ประสบการณ์ในการทำงานนั้นอย่างมาก หรือบางครั้งอาจจะได้จากการทดลองแล้วนำมาวิเคราะห์ควบคู่ไปกับแนวทางของทฤษฎี ซึ่งจากการที่ได้ทำโครงการนี้ทำให้ผู้ทำได้เรียนรู้สิ่งต่างๆ มากขึ้น ซึ่งบางส่วนอาจจะมีอยู่ในทางทฤษฎีเลย รวมถึงปัญหาต่างๆ ที่มี ซึ่งต้องมีการทำการแก้ไขให้ถูกล่วงไปได้ ทำให้เกิดประสบการณ์ในการ ออกไปทำงานต่อไป





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ สุเชียร เกียรติสุนทร อาจารย์ที่ปรึกษาโปรเจ็ค และอาจารย์ทุกท่านใน
ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุมทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ

ขอขอบพระคุณสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ให้ประสบการณ์
และความรู้ตลอด 4 ปีที่ผ่านมา

ขอขอบพระคุณบิดา มารดาที่เป็นกำลังใจให้

ขอขอบคุณพี่ๆที่ตลอดเวลาให้ความช่วยเหลือ

ขอขอบใจเพื่อนๆที่ทำให้บรรยากาศการทำโปรเจ็คสนุกขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. กฤษดา ใจเย็น – ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล , เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตขนาน , บริษัท อิน โนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด , 2542 , 122 หน้า
2. ฉัททวุฒิ พีชผล – พิชิต สันติกุลานนท์ , คู่มือเรียน Visaul Basic 6 , กรุงเทพ , โปรวิชั่น 2542 , 438 หน้า
3. กิตติ ภัคศิวิวัฒน์ – จำลองกรอุตสาหะ , Visaul Basic 6 ฉบับ โปรแกรมเมอร์ , พิมพ์ครั้งที่ 9 , มิถุนายน 2544 , บริษัท ดวงกมลสมัย , จำกัด 621 หน้า
4. บัณฑิต จามรภูมิ , คู่มือการใช้ Protei for Windows , ซีเอ็ด , 2540 , 239 หน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

CONTENTS

1	FEATURES
2	APPLICATIONS
3	GENERAL DESCRIPTION
4	ORDERING INFORMATION
5	BLOCK DIAGRAM
6	PINNING
7	FUNCTIONAL DESCRIPTION
7.1	Addressing
7.2	Control byte
7.3	D/A conversion
7.4	A/D conversion
7.5	Reference voltage
7.6	Oscillator
8	CHARACTERISTICS OF THE I ² C-BUS
8.1	Bit transfer
8.2	Start and stop conditions
8.3	System configuration
8.4	Acknowledge
8.5	I ² C-bus protocol
9	LIMITING VALUES
10	HANDLING
11	DC CHARACTERISTICS
12	D/A CHARACTERISTICS
13	A/D CHARACTERISTICS
14	AC CHARACTERISTICS
15	APPLICATION INFORMATION
16	PACKAGE OUTLINES
17	SOLDERING
17.1	Introduction
17.2	DIP
17.2.1	Soldering by dipping or by wave
17.2.2	Repairing soldered joints
17.3	SO
17.3.1	Reflow soldering
17.3.2	Wave soldering
17.3.3	Repairing soldered joints
18	DEFINITIONS
19	LIFE SUPPORT APPLICATIONS
20	PURCHASE OF PHILIPS I ² C COMPONENTS

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

1 FEATURES

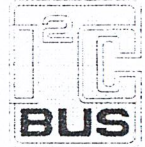
- Single power supply
- Operating supply voltage 2.5 V to 6 V
- Low standby current
- Serial input/output via I²C-bus
- Address by 3 hardware address pins
- Sampling rate given by I²C-bus speed
- 4 analog inputs programmable as single-ended or differential inputs
- Auto-incremented channel selection
- Analog voltage range from V_{SS} to V_{DD}
- On-chip track and hold circuit
- 8-bit successive approximation A/D conversion
- Multiplying DAC with one analog output.

2 APPLICATIONS

- Closed loop control systems
- Low power converter for remote data acquisition
- Battery operated equipment
- Acquisition of analog values in automotive, audio and TV applications.

4 ORDERING INFORMATION

TYPE NUMBER	PACKAGE		
	NAME	DESCRIPTION	VERSION
PCA8591P	DIP16	plastic dual in-line package; 16 leads (300 mil); long body	SOT38-1
PCA8591T	SO16	plastic small outline package; 16 leads; body width 7.5 mm	SOT162-1



3 GENERAL DESCRIPTION

The PCF8591 is a single-chip, single-supply low power 8-bit CMOS data acquisition device with four analog inputs, one analog output and a serial I²C-bus interface. Three address pins A0, A1 and A2 are used for programming the hardware address, allowing the use of up to eight devices connected to the I²C-bus without additional hardware. Address, control and data to and from the device are transferred serially via the two-line bidirectional I²C-bus.

The functions of the device include analog input multiplexing, on-chip track and hold function, 8-bit analog-to-digital conversion and an 8-bit digital-to-analog conversion. The maximum conversion rate is given by the maximum speed of the I²C-bus.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

5 BLOCK DIAGRAM

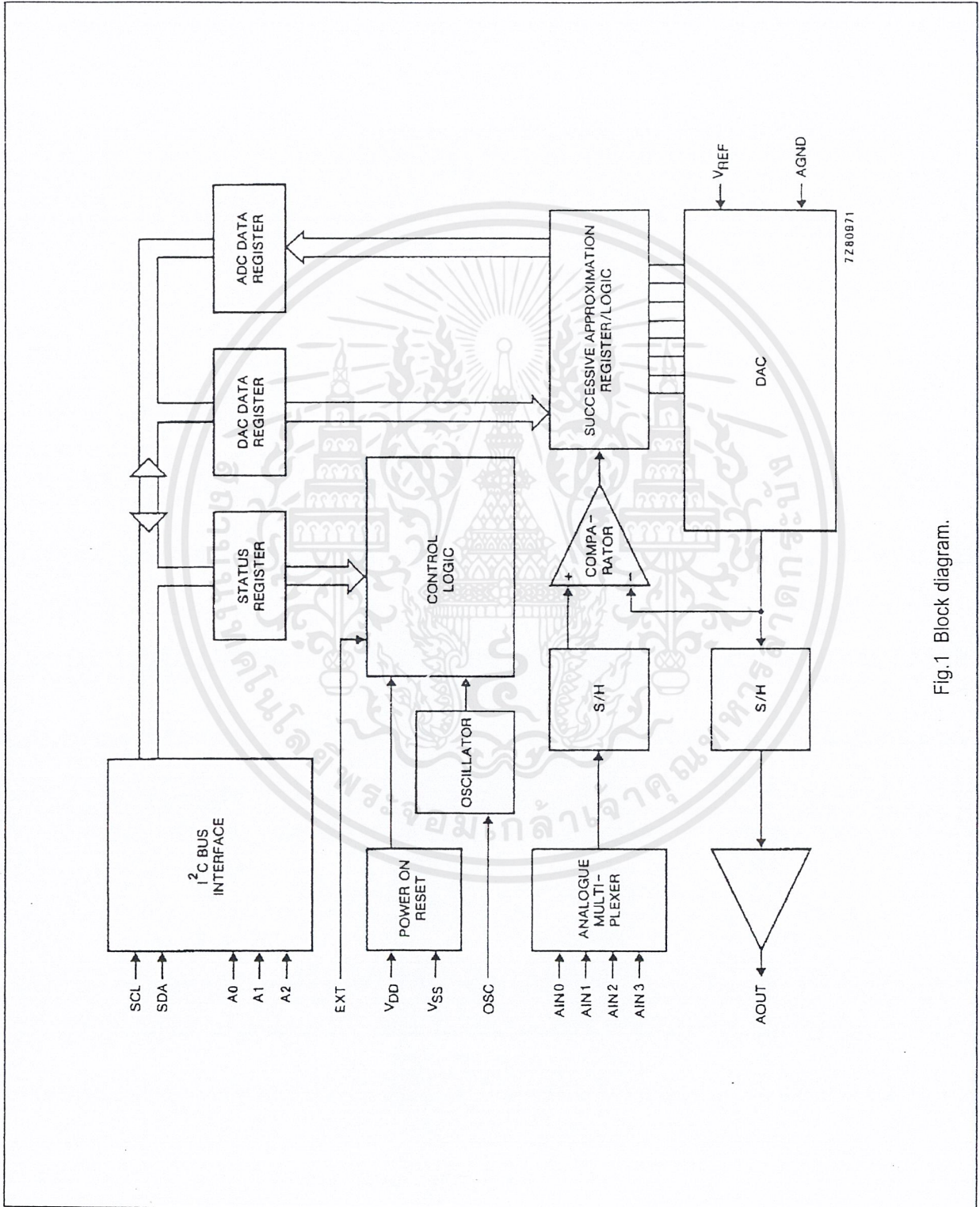


Fig.1 Block diagram.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

6 PINNING

SYMBOL	PIN	DESCRIPTION
AIN0	1	analog inputs (A/D converter)
AIN1	2	
AIN2	3	
AIN3	4	
A0	5	hardware address
A1	6	
A2	7	
V _{SS}	8	
V _{SS}	8	negative supply voltage
SDA	9	I ² C-bus data input/output
SCL	10	I ² C-bus clock input
OSC	11	oscillator input/output
EXT	12	external/internal switch for oscillator input
AGND	13	analog ground
V _{REF}	14	voltage reference input
AOUT	15	analog output (D/A converter)
V _{DD}	16	positive supply voltage

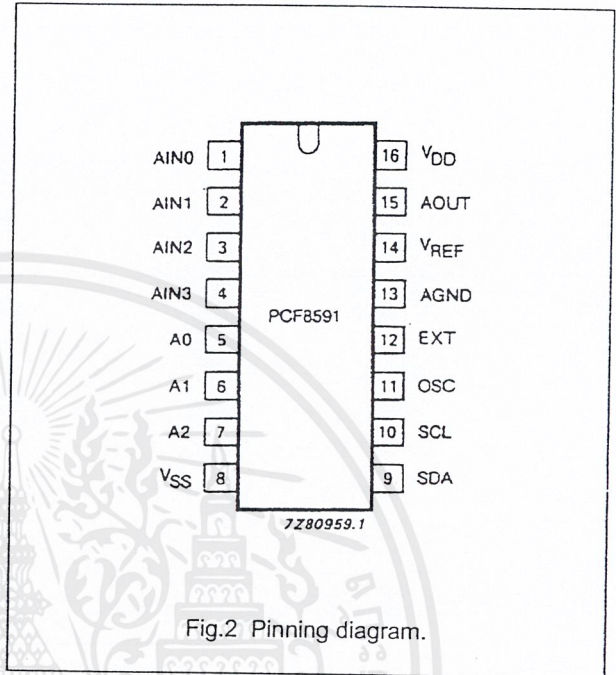


Fig.2 Pinning diagram.

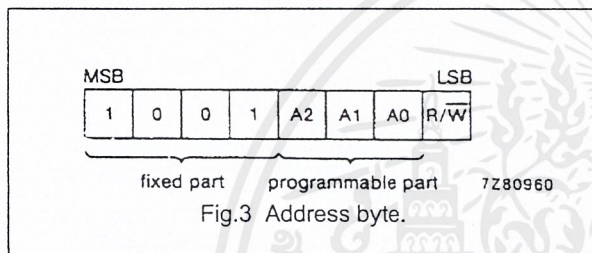
8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

7 FUNCTIONAL DESCRIPTION

7.1 Addressing

Each PCF8591 device in an I²C-bus system is activated by sending a valid address to the device. The address consists of a fixed part and a programmable part. The programmable part must be set according to the address pins A0, A1 and A2. The address always has to be sent as the first byte after the start condition in the I²C-bus protocol. The last bit of the address byte is the read/write-bit which sets the direction of the following data transfer (see Figs 3, 15 and 16).



7.2 Control byte

The second byte sent to a PCF8591 device will be stored in its control register and is required to control the device function.

The upper nibble of the control register is used for enabling the analog output, and for programming the analog inputs as single-ended or differential inputs. The lower nibble selects one of the analog input channels defined by the upper nibble (see Fig.4). If the auto-increment flag is set the channel number is incremented automatically after each A/D conversion.

If the auto-increment mode is desired in applications where the internal oscillator is used, the analog output enable flag in the control byte (bit 6) should be set. This allows the internal oscillator to run continuously, thereby preventing conversion errors resulting from oscillator start-up delay. The analog output enable flag may be reset at other times to reduce quiescent power consumption.

The selection of a non-existing input channel results in the highest available channel number being allocated. Therefore, if the auto-increment flag is set, the next selected channel will be always channel 0. The most significant bits of both nibbles are reserved for future functions and have to be set to 0. After a Power-on reset condition all bits of the control register are reset to 0. The D/A converter and the oscillator are disabled for power saving. The analog output is switched to a high-impedance state.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

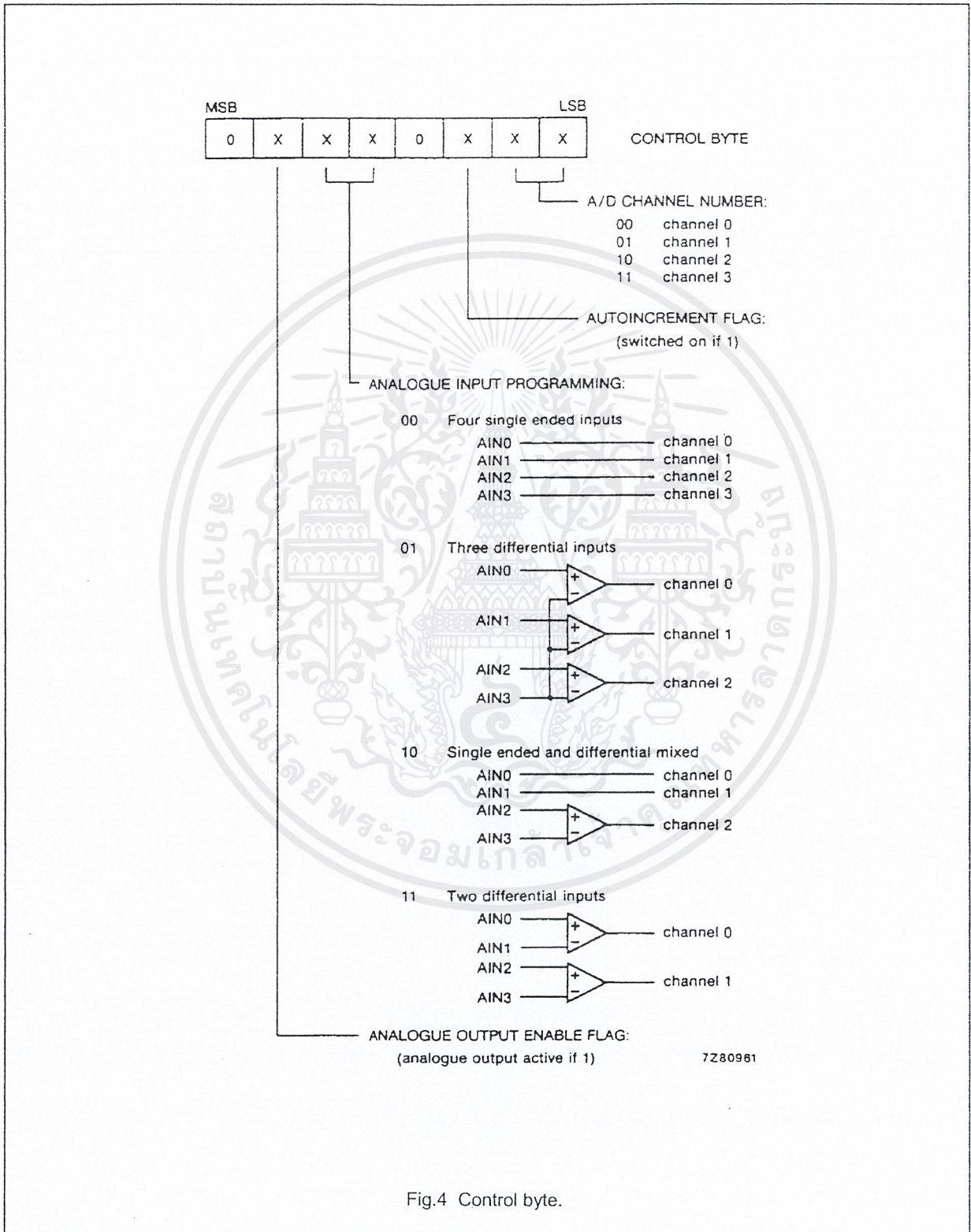


Fig.4 Control byte.

DATA SHEET



PCF8574 Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

Product specification
Supersedes data of September 1994
File under Integrated Circuits, IC12

1997 Apr 02

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

CONTENTS

1	FEATURES
2	GENERAL DESCRIPTION
3	ORDERING INFORMATION
4	BLOCK DIAGRAM
5	PINNING
6	CHARACTERISTICS OF THE I ² C-BUS
6.1	Bit transfer
6.2	Start and stop conditions
6.3	System configuration
6.4	Acknowledge
7	FUNCTIONAL DESCRIPTION
7.1	Addressing
7.2	Interrupt
7.3	Quasi-bidirectional I/Os
8	LIMITING VALUES
9	HANDLING
10	DC CHARACTERISTICS
11	I ² C-BUS TIMING CHARACTERISTICS
12	PACKAGE OUTLINES
13	SOLDERING
13.1	Introduction
13.2	..
13.2.1	Soldering by .. or by wave
13.2.2	Repairing soldered joints
13.3	SO and SSOP
13.3.1	Reflow soldering
13.3.2	Wave soldering
13.3.3	Repairing soldered joints
14	DEFINITIONS
15	LIFE SUPPORT APPLICATIONS
16	PURCHASE OF PHILIPS I ² C COMPONENTS



Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

1 FEATURES

- Operating supply voltage 2.5 to 6 V
- Low standby current consumption of 10 μ A maximum
- I²C to parallel port expander
- Open-drain interrupt output
- 8-bit remote I/O port for the I²C-bus
- Compatible with most microcontrollers
- Latched outputs with high current drive capability for directly driving LEDs
- Address by 3 hardware address pins for use of up to 8 devices (up to 16 with PCF8574A)
- DIP16, or space-saving SO16 or SSOP20 packages.

2 GENERAL DESCRIPTION

The PCF8574 is a silicon CMOS circuit. It provides general purpose remote I/O expansion for most microcontroller families via the two-line bidirectional bus (I²C).

The device consists of an 8-bit quasi-bidirectional port and an I²C-bus interface. The PCF8574 has a low current consumption and includes latched outputs with high current drive capability for directly driving LEDs. It also possesses an interrupt line ($\overline{\text{INT}}$) which can be connected to the interrupt logic of the microcontroller. By sending an interrupt signal on this line, the remote I/O can inform the microcontroller if there is incoming data on its ports without having to communicate via the I²C-bus. This means that the PCF8574 can remain a simple slave device.

The PCF8574 and PCF8574A versions differ only in their slave address as shown in Fig.9.

3 ORDERING INFORMATION

TYPE NUMBER	PACKAGE		
	NAME	DESCRIPTION	VERSION
PCF8574P; PCF8574AP	DIP16	plastic dual in-line package; 16 leads (300 mil)	SOT38-1
PCF8574T; PCF8574AT	SO16	plastic small outline package; 16 leads; body width 7.5 mm	SOT162-1
PCF8574TS	SSOP20	plastic shrink small outline package; 20 leads; body width 4.4 mm	SOT266-1

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

4 BLOCK DIAGRAM

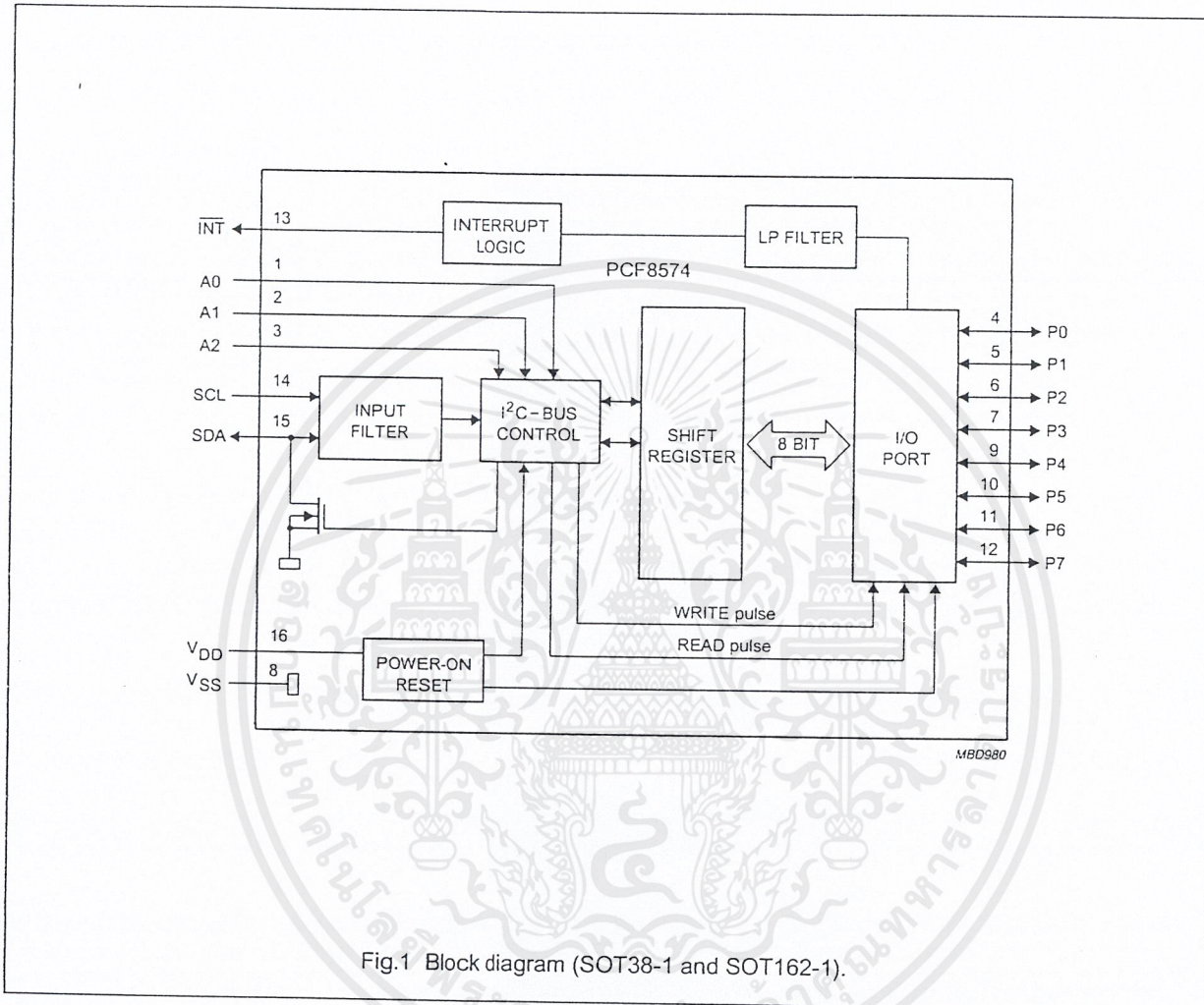


Fig.1 Block diagram (SOT38-1 and SOT162-1).

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

5 PINNING

SYMBOL	PIN		DESCRIPTION
	DIP16; SO16	SSOP20	
A0	1	6	address input 0
A1	2	7	address input 1
A2	3	9	address input 2
P0	4	10	quasi-bidirectional I/O 0
P1	5	11	quasi-bidirectional I/O 1
P2	6	12	quasi-bidirectional I/O 2
P3	7	14	quasi-bidirectional I/O 3
V _{SS}	8	15	supply ground
P4	9	16	quasi-bidirectional I/O 4
P5	10	17	quasi-bidirectional I/O 5
P6	11	19	quasi-bidirectional I/O 6
P7	12	20	quasi-bidirectional I/O 7
INT	13	1	interrupt output (active LOW)
SCL	14	2	serial clock line
SDA	15	4	serial data line
V _{DD}	16	5	supply voltage
n.c.	–	3	not connected
n.c.	–	8	not connected
n.c.	–	13	not connected
n.c.	–	18	not connected

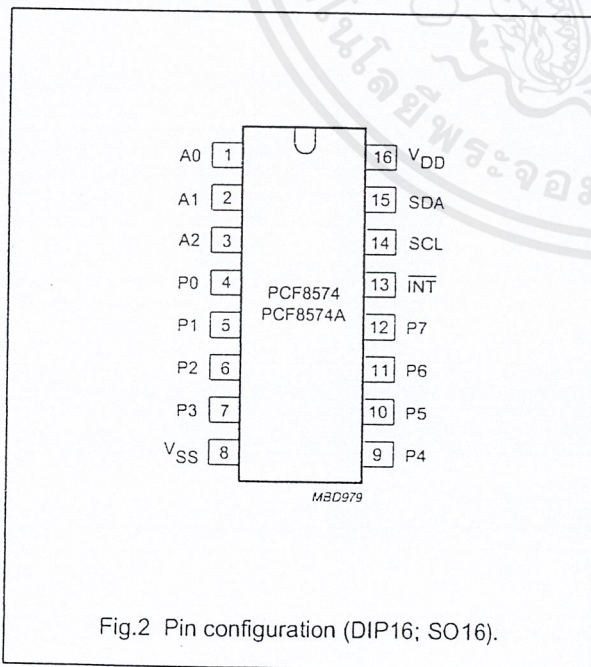


Fig.2 Pin configuration (DIP16; SO16).

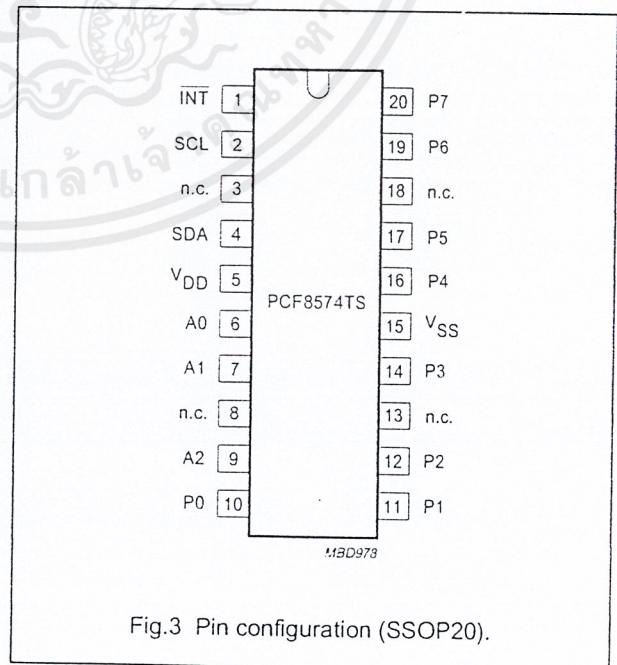


Fig.3 Pin configuration (SSOP20).

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

6 CHARACTERISTICS OF THE I²C-BUS

The I²C-bus is for 2-way, 2-line communication between different ICs or modules. The two lines are a serial data line (SDA) and a serial clock line (SCL). Both lines must be connected to a positive supply via a pull-up resistor when connected to the output stages of a device. Data transfer may be initiated only when the bus is not busy.

6.1 Bit transfer

One data bit is transferred during each clock pulse. The data on the SDA line must remain stable during the HIGH period of the clock pulse as changes in the data line at this time will be interpreted as control signals (see Fig.4).

6.2 Start and stop conditions

Both data and clock lines remain HIGH when the bus is not busy. A HIGH-to-LOW transition of the data line, while the clock is HIGH is defined as the start condition (S). A LOW-to-HIGH transition of the data line while the clock is HIGH is defined as the stop condition (P) (see Fig.5).

6.3 System configuration

A device generating a message is a 'transmitter', a device receiving is the 'receiver'. The device that controls the message is the 'master' and the devices which are controlled by the master are the 'slaves' (see Fig.6).

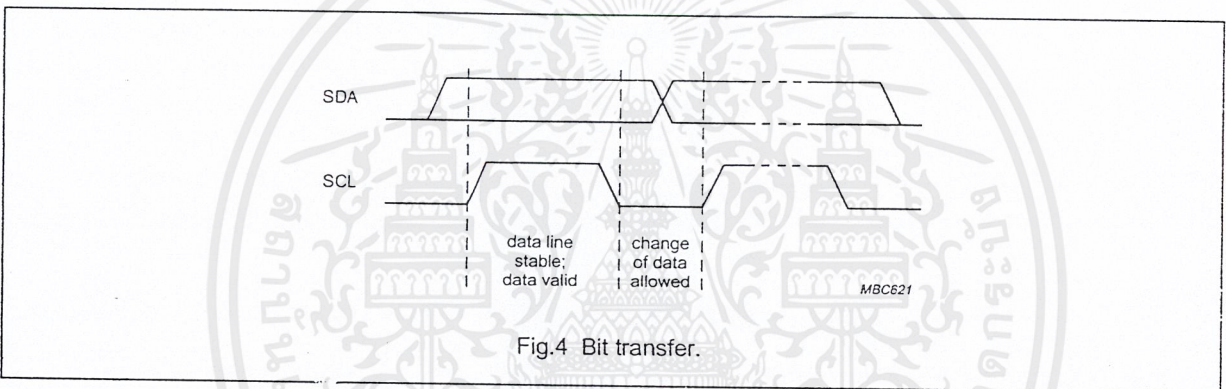


Fig.4 Bit transfer.

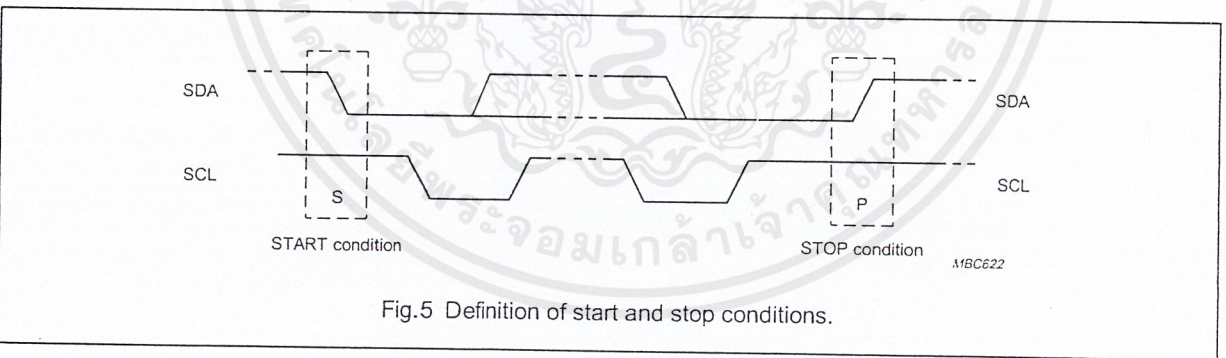


Fig.5 Definition of start and stop conditions.

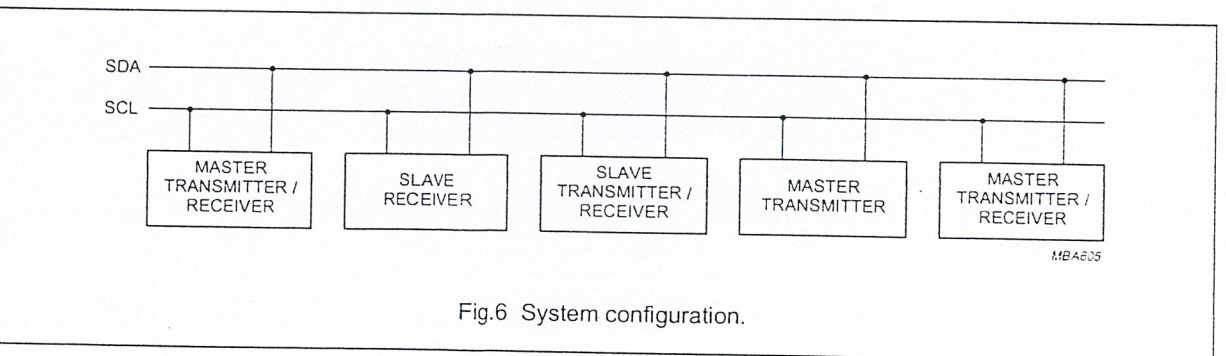


Fig.6 System configuration.

Remote 8-bit I/O expander for I²C-bus

PCF8574

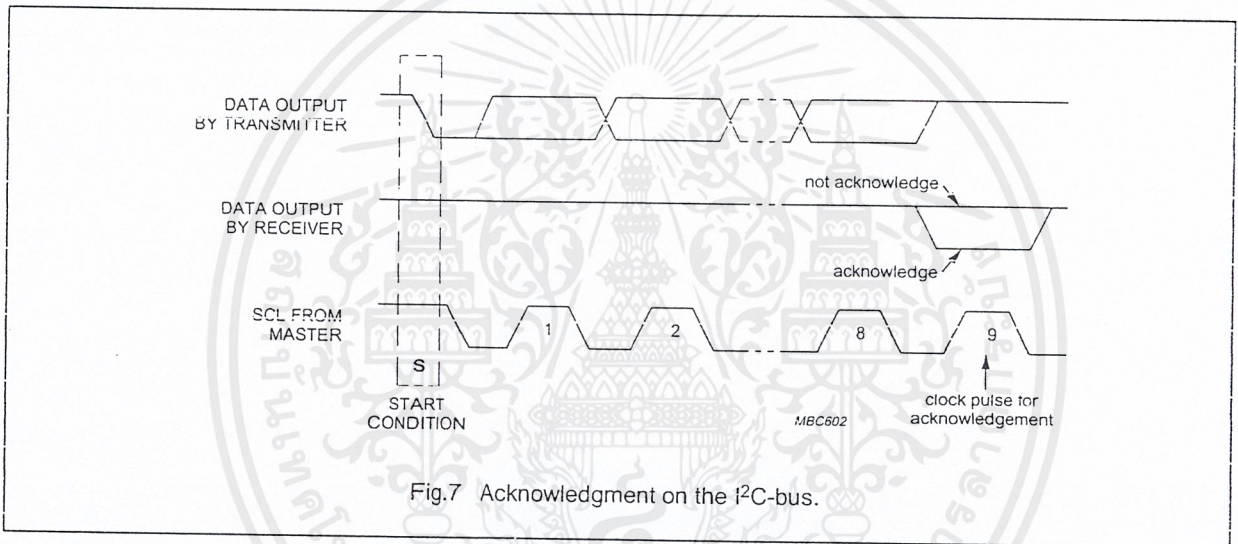
6.4 Acknowledge

The number of data bytes transferred between the start and the stop conditions from transmitter to receiver is not limited. Each byte of eight bits is followed by one acknowledge bit. The acknowledge bit is a HIGH level put on the bus by the transmitter whereas the master generates an extra acknowledge related clock pulse.

A slave receiver which is addressed must generate an acknowledge after the reception of each byte. Also a master must generate an acknowledge after the reception of each byte that has been clocked out of the slave

transmitter. The device that acknowledges has to pull down the SDA line during the acknowledge clock pulse, so that the SDA line is stable LOW during the HIGH period of the acknowledge related clock pulse, set-up and hold times must be taken into account.

A master receiver must signal an end of data to the transmitter by **not** generating an acknowledge on the last byte that has been clocked out of the slave. In this event the transmitter must leave the data line HIGH to enable the master to generate a stop condition.



LM2902, LM324/LM324A, LM224/ LM224A

Quad Operational Amplifier

Features

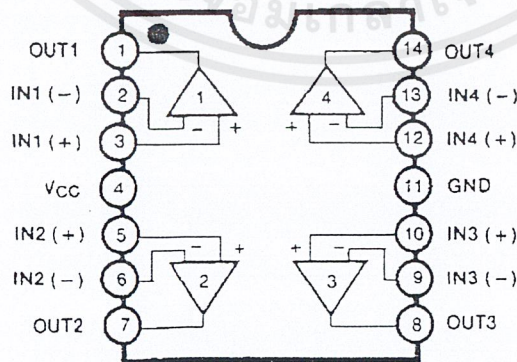
- Internally frequency compensated for unity gain
- Large DC voltage gain: 100dB
- Wide power supply range:
LM224/LM224A, LM324/LM324A : 3V~32V (or $\pm 1.5 \sim 15V$)
LM2902: 3V~26V (or $\pm 1.5V \sim 13V$)
- Input common mode voltage range includes ground
- Large output voltage swing: 0V to $V_{CC} - 1.5V$
- Power drain suitable for battery operation

Description

The LM324/LM324A, LM2902, LM224/LM224A consist of four independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide voltage range. Operation from split power supplies is also possible so long as the difference between the two supplies is 3 volts to 32 volts. Application areas include transducer amplifier, DC gain blocks and all the conventional OP amp circuits which now can be easily implemented in single power supply systems.



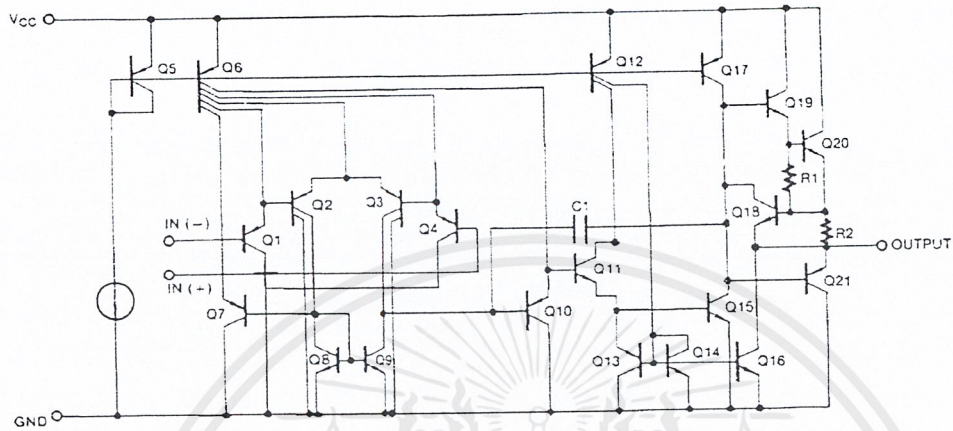
Internal Block Diagram



Rev. 1.0.1

Schematic Diagram

(One Section Only)



Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	LM224/LM224A	LM324/LM324A	LM2902	Unit
Power Supply Voltage	V _{CC}	±16 or 32	±16 or 32	±13 or 26	V
Differential Input Voltage	V _{I(DIFF)}	32	32	26	V
Input Voltage	V _I	-0.3 to +32	-0.3 to +32	-0.3 to +26	V
Output Short Circuit to GND V _{CC} ≤ 15V, T _A = 25°C (one Amp)	-	Continuous	Continuous	Continuous	-
Power Dissipation	P _D	570	570	570	mW
Operating Temperature Range	T _{OPR}	-25 ~ +85	0 ~ +70	-40 ~ +85	°C
Storage Temperature Range	T _{STG}	-65 ~ +150	-65 ~ +150	-65 ~ +150	°C

Electrical Characteristics

($V_{CC}=5.0V$, $V_{EE}=GND$, $T_A=25^\circ C$, unless otherwise specified)

Parameter	Symbol	Conditions	LM224			LM324			LM2902			Unit	
			Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.	Min.	Typ.	Max.		
Input Offset Voltage	V_{IO}	$V_{CM} = 0V$ to $V_{CC} - 1.5V$ $V_{O(P)} = 1.4V$, $R_S = 0\Omega$	-	1.5	5.0	-	1.5	7.0	-	1.5	7.0	mV	
Input Offset Current	I_{IO}	-	-	2.0	30	-	3.0	50	-	3.0	50	nA	
Input Bias Current	I_{BIAS}	-	-	40	150	-	40	250	-	40	250	nA	
Common-Mode Input Voltage Range	$V_{I(R)}$	Note1	0	-	$V_{CC} - 1.5$	0	$V_{CC} - 1.5$	-	0	-	$V_{CC} - 1.5$	V	
Supply Current	I_{CC}	$R_L = \infty$, $V_{CC} = 30V$ (all Amps)	-	1.0	3	-	1.0	3	-	1.0	3	mA	
		$R_L = \infty$, $V_{CC} = 5V$ (all Amps) ($V_{CC} = 26V$ for LM2902)	-	0.7	1.2	-	0.7	1.2	-	0.7	1.2	mA	
Large Signal Voltage Gain	G_V	$V_{CC} = 15V$, $R_L \geq 2K\Omega$ $V_{O(P)} = 1V$ to $11V$	50	100	-	25	100	-	-	100	-	V/ mV	
Output Voltage Swing	$V_{O(H)}$	Note1	$R_L = 2K\Omega$	26	-	-	26	-	-	22	-	-	V
			$R_L = 10K\Omega$	27	28	-	27	28	-	23	24	-	V
	$V_{O(L)}$	$V_{CC} = 5V$, $R_L \geq 10K\Omega$	-	5	20	-	5	20	-	5	100	mV	
Common-Mode Rejection Ratio	CMRR	-	70	85	-	65	75	-	50	75	-	dB	
Power Supply Rejection Ratio	PSRR	-	65	100	-	65	100	-	50	100	-	dB	
Channel Separation	CS	$f = 1KHz$ to $20KHz$	-	120	-	-	120	-	-	120	-	dB	
Short Circuit to GND	I_{SC}	-	-	40	60	-	40	60	-	40	60	mA	
Output Current	I_{SOURCE}	$V_{I(+)} = 1V$, $V_{I(-)} = 0V$ $V_{CC} = 15V$, $V_{O(P)} = 2V$	20	40	-	20	40	-	20	40	-	mA	
		$V_{I(+)} = 0V$, $V_{I(-)} = 1V$ $V_{CC} = 15V$, $V_{O(P)} = 2V$	10	13	-	10	13	-	10	13	-	mA	
	I_{SINK}	$V_{I(+)} = 0V$, $V_{I(-)} = 1V$ $V_{CC} = 15V$, $V_{O(R)} = 200mV$	12	45	-	12	45	-	-	-	-	μA	
Differential Input Voltage	$V_{I(DIFF)}$	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	-	V_{CC}	-	V	

Note :

1. $V_{CC}=30V$ for LM224 and LM324 , $V_{CC} = 26V$ for LM2902

DAC0800/DAC0802 8-Bit Digital-to-Analog Converters

General Description

The DAC0800 series are monolithic 8-bit high-speed current-output digital-to-analog converters (DAC) featuring typical settling times of 100 ns. When used as a multiplying DAC, monotonic performance over a 40 to 1 reference current range is possible. The DAC0800 series also features high compliance complementary current outputs to allow differential output voltages of 20 V_{p-p} with simple resistor loads as shown in Figure 1. The reference-to-full-scale current matching of better than ±1 LSB eliminates the need for full-scale trims in most applications while the nonlinearities of better than ±0.1% over temperature minimizes system error accumulations.

The noise immune inputs of the DAC0800 series will accept TTL levels with the logic threshold pin, V_{LC}, grounded. Changing the V_{LC} potential will allow direct interface to other logic families. The performance and characteristics of the device are essentially unchanged over the full ±4.5V to ±18V power supply range; power dissipation is only 33 mW with ±5V supplies and is independent of the logic input states.

The DAC0800, DAC0802, DAC0800C and DAC0802C are a direct replacement for the DAC-08, DAC-08A, DAC-08C, and DAC-08H, respectively.

Features

- Fast settling output current: 100 ns
- Full scale error: ±1 LSB
- Nonlinearity over temperature: ±0.1%
- Full scale current drift: ±10 ppm/°C
- High output compliance: -10V to +18V
- Complementary current outputs
- Interface directly with TTL, CMOS, PMOS and others
- 2 quadrant wide range multiplying capability
- Wide power supply range: ±4.5V to ±18V
- Low power consumption: 33 mW at ±5V
- Low cost

Typical Applications

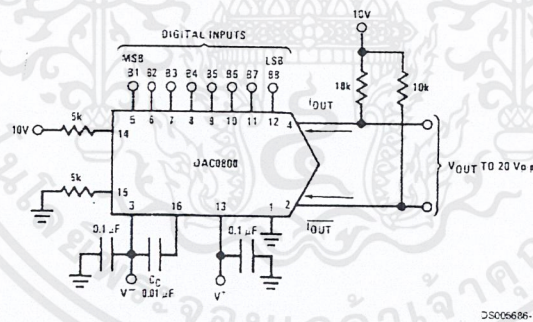


FIGURE 1. ±20 V_{p-p} Output Digital-to-Analog Converter (Note 5)

Ordering Information

Non-Linearity	Temperature Range	Order Numbers				
		J Package (J16A) (Note 1)	N Package (N16E) (Note 1)	SO Package (M16A)		
±0.1% FS	0°C ≤ T _A ≤ +70°C	DAC0802LCJ	DAC-08HQ	DAC0802LCN	DAC-08HP	DAC0802LCM
±0.19% FS	-55°C ≤ T _A ≤ +125°C	DAC0800LJ	DAC-08Q			
±0.19% FS	0°C ≤ T _A ≤ +70°C	DAC0800LCJ	DAC-08EQ	DAC0800LCN	DAC-08EP	DAC0800LCM

Note 1: Devices may be ordered by using either order number.

Absolute Maximum Ratings (Note 2)

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

Supply Voltage ($V^+ - V^-$)	$\pm 18V$ or $36V$
Power Dissipation (Note 3)	500 mW
Reference Input Differential Voltage (V_{14} to V_{15})	V^- to V^+
Reference Input Common-Mode Range (V_{14} , V_{15})	V^- to V^+
Reference Input Current	5 mA
Logic Inputs	V^- to V^+ plus $36V$
Analog Current Outputs ($V_S = -15V$)	4.25 mA
ESD Susceptibility (Note 4)	TBD V

Storage Temperature	-65 °C to +150 °C
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	
Dual-In-Line Package (plastic)	260 °C
Dual-In-Line Package (ceramic)	300 °C
Surface Mount Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215 °C
Infrared (15 seconds)	220 °C

Operating Conditions (Note 2)

	Min	Max	Units
Temperature (T_A)			
DAC0800L	-55	+125	°C
DAC0800LC	0	+70	°C
DAC0802LC	0	+70	°C

Electrical Characteristics

The following specifications apply for $V_S = \pm 15V$, $I_{REF} = 2$ mA and $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ unless otherwise specified. Output characteristics refer to both I_{OUT} and I_{OUT} .

Symbol	Parameter	Conditions	DAC0802LC			DAC0800L/ DAC0800LC			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
	Resolution		8	8	8	8	8	8	Bits
	Monotonicity		8	8	8	8	8	8	Bits
	Nonlinearity				± 0.1			± 0.19	%FS
t_s	Settling Time	To $\pm 1/2$ LSB, All Bits Switched "ON" or "OFF", $T_A = 25^\circ C$		100	135				ns
		DAC0800L				100	135		ns
		DAC0800LC				100	150		ns
t_{PLH} , t_{PHL}	Propagation Delay Each Bit	$T_A = 25^\circ C$		35	60		35	60	ns
	All Bits Switched			35	60		35	60	ns
TCI_{FS}	Full Scale Tempco			± 10	± 50		± 10	± 50	ppm/°C
V_{OC}	Output Voltage Compliance	Full Scale Current Change $< 1/2$ LSB, $R_{OUT} > 20$ M Ω Typ	-10		18	-10		18	V
I_{FS1}	Full Scale Current	$V_{REF} = 10.000V$, $R_{14} = 5.000$ k Ω , $R_{15} = 5.000$ k Ω , $T_A = 25^\circ C$	1.984	1.992	2.000	1.94	1.99	2.04	mA
I_{FSS}	Full Scale Symmetry	$I_{FS1} - I_{FS2}$		± 0.5	± 4.0		± 1	± 8.0	μA
I_{ZS}	Zero Scale Current			0.1	1.0		0.2	2.0	μA
I_{FSR}	Output Current Range	$V^- = -5V$ $V^- = -8V$ to $-18V$	0	2.0	2.1	0	2.0	2.1	mA
			0	2.0	4.2	0	2.0	4.2	mA
V_{IL}	Logic Input Levels Logic "0"	$V_{IC} = 0V$			0.8			0.8	V
V_{IH}	Logic Input Levels Logic "1"		2.0			2.0			V
I_{iL}	Logic Input Current Logic "0"	$V_{IC} = 0V$ $-10V \leq V_{iL} \leq +0.8V$		-2.0	-10		-2.0	-10	μA
I_{iH}	Logic Input Current Logic "1"	$2V \leq V_{iH} \leq +18V$		0.002	10		0.002	10	μA
V_{IS}	Logic Input Swing	$V^- = -15V$	-10		18	-10		18	V
V_{THR}	Logic Threshold Range	$V_S = \pm 15V$	-10		13.5	-10		13.5	V
I_{15}	Reference Bias Current			-1.0	-3.0		-1.0	-3.0	μA
di/dt	Reference Input Slew Rate	(Figure 11)	4.0	8.0		4.0	8.0		mA/ μs
$PSSI_{FS+}$	Power Supply Sensitivity	$4.5V \leq V^+ \leq 18V$		0.0001	0.01		0.0001	0.01	%/%
$PSSI_{FS-}$		$-4.5V \leq V^- \leq 18V$ $I_{REF} = 1$ mA		0.0001	0.01		0.0001	0.01	%/%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electrical Characteristics (Continued)

The following specifications apply for $V_S = \pm 15V$, $I_{REF} = 2\text{ mA}$ and $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$ unless otherwise specified. Output characteristics refer to both I_{OUT} and I_{OUT} .

Symbol	Parameter	Conditions	DAC0802LC			DAC0800L/ DAC0800LC			Units
			Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
I _S	Power Supply Current	$V_S = \pm 5V$, $I_{REF} = 1\text{ mA}$		2.3	3.8	2.3	3.8	mA	
				-4.3	-5.8	-4.3	-5.8	mA	
		$V_S = 5V$, $-15V$, $I_{REF} = 2\text{ mA}$		2.4	3.8	2.4	3.8	mA	
				-6.4	-7.8	-6.4	-7.8	mA	
P _D	Power Dissipation	$\pm 5V$, $I_{REF} = 1\text{ mA}$	33	48	33	48	mW		
		$5V$, $-15V$, $I_{REF} = 2\text{ mA}$	108	136	108	136	mW		
		$\pm 15V$, $I_{REF} = 2\text{ mA}$	135	174	135	174	mW		

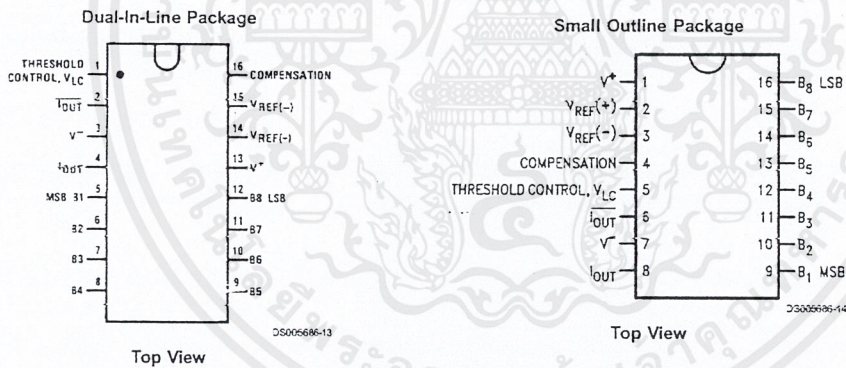
Note 2: Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

Note 3: The maximum junction temperature of the DAC0800 and DAC0802 is 125°C. For operating at elevated temperatures, devices in the Dual-In-Line J package must be derated based on a thermal resistance of 100°C/W, junction-to-ambient, 175°C/W for the molded Dual-In-Line N package and 100°C/W for the Small Outline M package.

Note 4: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 kΩ resistor.

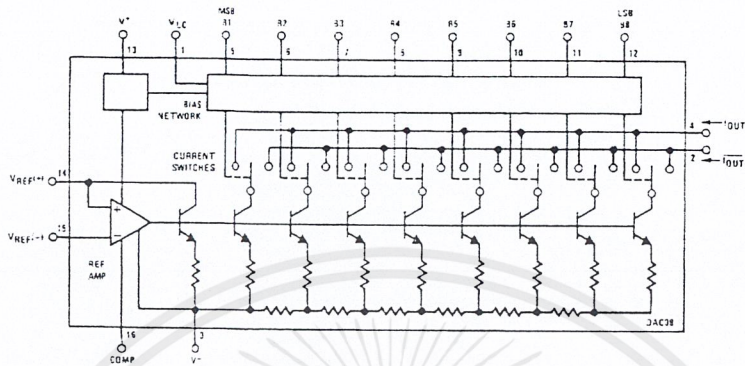
Note 5: Pin-out numbers for the DAC080X represent the Dual-In-Line package. The Small Outline package pin-out differs from the Dual-In-Line package.

Connection Diagrams



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

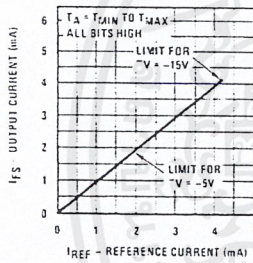
Block Diagram (Note 5)



DS006686-2

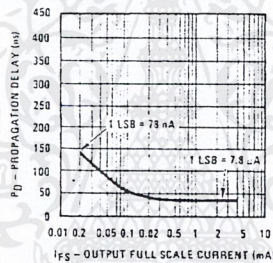
Typical Performance Characteristics

Full Scale Current vs Reference Current



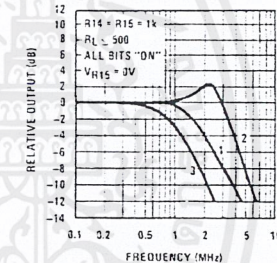
DS006686-22

LSB Propagation Delay vs I_{FS}



DS006686-23

Reference Input Frequency Response

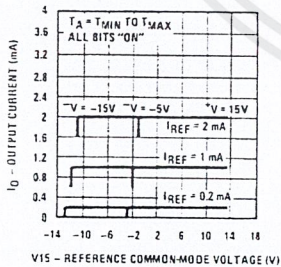


DS006686-24

Curve 1: $C_C = 15 \text{ pF}$, $V_{IN} = 2 \text{ Vp-p}$ centered at 1V.
Curve 2: $C_C = 15 \text{ pF}$, $V_{IN} = 50 \text{ mVp-p}$ centered at 200 mV.

Curve 3: $C_C = 0 \text{ pF}$, $V_{IN} = 100 \text{ mVp-p}$ centered at 0V and applied through 50Ω connected to pin 14. 2V applied to R14.

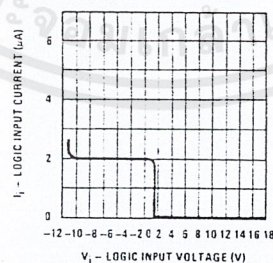
Reference Amp Common-Mode Range



DS006686-25

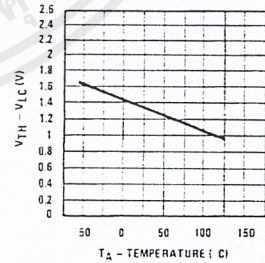
Note. Positive common-mode range is always $(V+) - 1.5V$.

Logic Input Current vs Input Voltage



DS006686-26

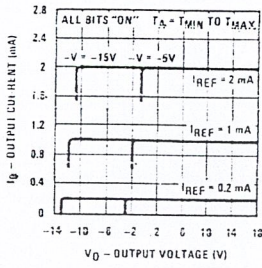
$V_{TH} - V_{LC}$ vs Temperature



DS006686-27

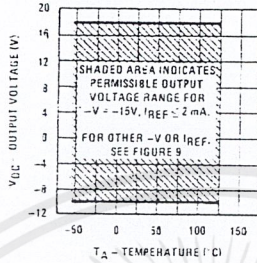
Typical Performance Characteristics (Continued)

Output Current vs Output Voltage (Output Voltage Compliance)



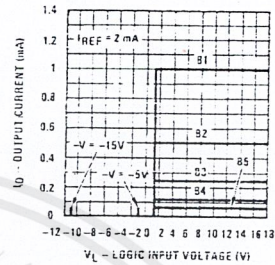
DS006696-29

Output Voltage Compliance vs Temperature



DS006696-29

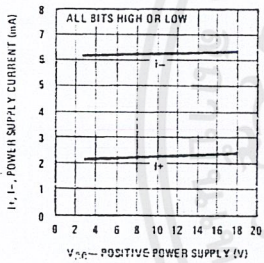
Bit Transfer Characteristics



DS006696-30

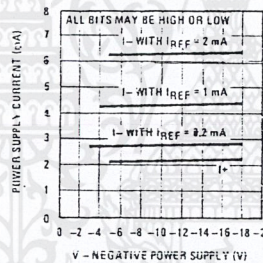
Note: B1-B8 have identical transfer characteristics. Bits are fully switched with less than $\frac{1}{2}$ LSB error, at less than ± 100 mV from actual threshold. These switching points are guaranteed to lie between 0.8 and 2V over the operating temperature range ($V_{LC} = 0V$).

Power Supply Current vs +V



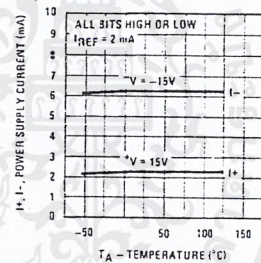
DS006696-31

Power Supply Current vs -V



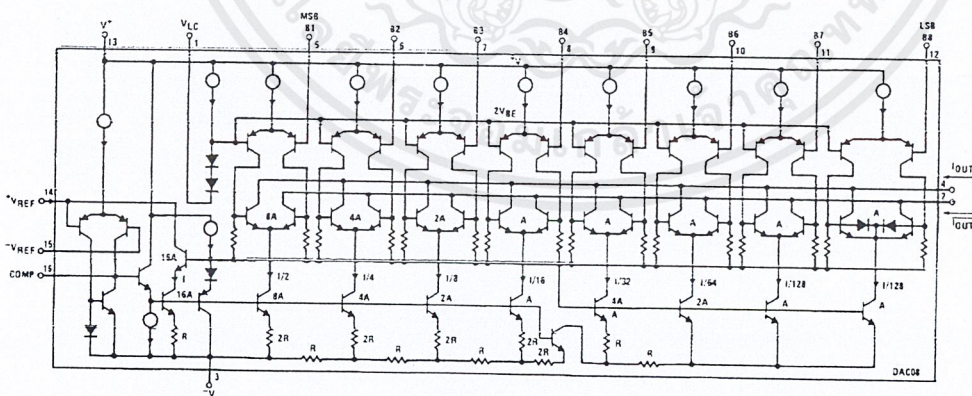
DS006696-32

Power Supply Current vs Temperature



DS006696-33

Equivalent Circuit



DS006696-15

FIGURE 2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้