

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แบบจำลองการเคลื่อนที่ของรถ
VEHICLE SIMULATION



โดย
นายพิเศษ สุทธินันท์ไชย 39014372
นายอรรษา ราญมิชัย 39014669

อาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์สุเรียร เกียรติสุนทร

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2542

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 36871
เอกสารฉบับนี้เป็นเอกสารของงานโสตศึกษา
วันที่, เดือน, ปี..... 29 ส.ค. 2548
ไปวางรถเปิดชั้นเรียน ออกรวมเล่มโปรดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ปริญญาโท ปีการศึกษา 2542

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง แบบจำลองการเคลื่อนที่ของรถ

ผู้จัดทำ 1. นายพิเศษ สุทธินันท์ไชย

2. นายอัครยา ราญมีชัย

(.....) อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์สุเชียร เกียรติสุนทร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบจำลองการเคลื่อนที่ของรถ

นายพิเศษ สุทรินันท์ไชย

นายอรรษา ราษฎร์มีชัย

อ. สุเชียร เกียรติสุนทร

อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2542

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาการควบคุมรถแบบอัตโนมัติให้เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่มีลักษณะคล้ายเส้นทางจริง รายงานนี้ได้นำเสนอ การจัดสร้างเส้นทางจำลอง และวงจรควบคุมการทำงานต่างๆ เช่น วงจรจับมอเตอร์กระแสตรง วงจรของตัวตรวจจับ ซึ่งอุปกรณ์ทางฮาร์ดแวร์เหล่านี้ถูกเชื่อมต่อไปยังคอมพิวเตอร์โดยวงจรเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอก เพื่อทำการเขียนโปรแกรมควบคุมความเร็วของรถให้วิ่งไปตามเส้นทางได้ต่อไป

VEHICLE SIMULATION

Pisate Sutthinunchai

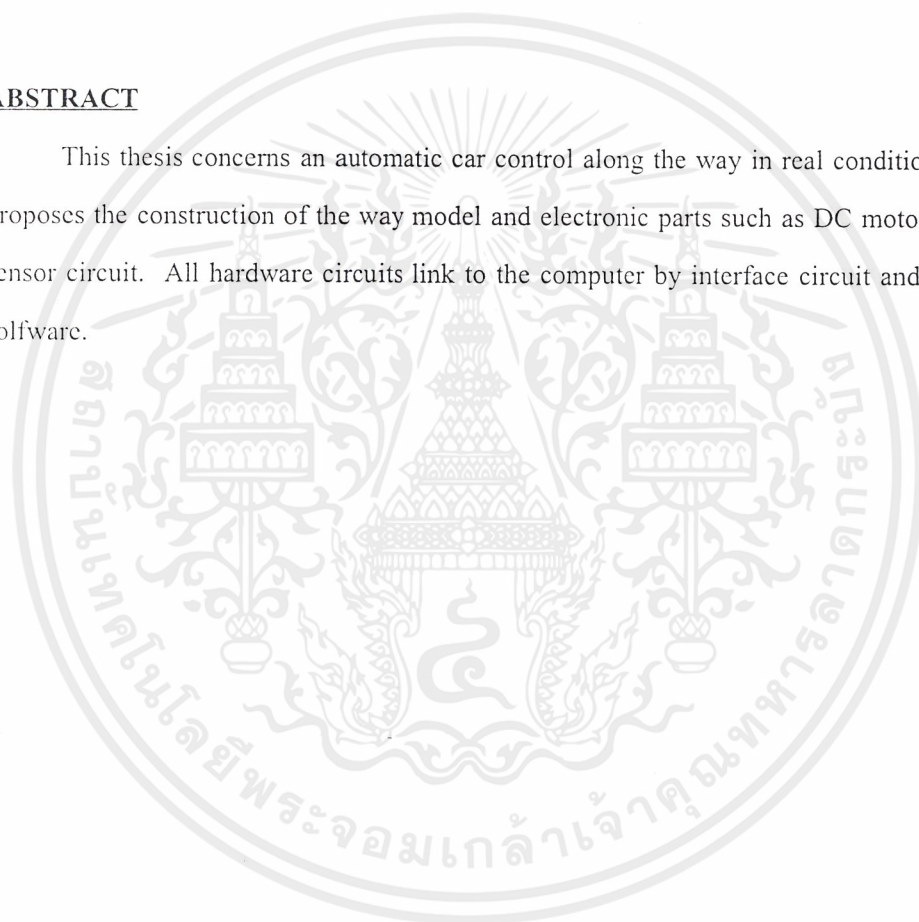
Athaya Ranmichai

Mr. Sutian Kiatsunthorn Advisor

1999

ABSTRACT

This thesis concerns an automatic car control along the way in real condition. The report proposes the construction of the way model and electronic parts such as DC motor drive circuit, sensor circuit. All hardware circuits link to the computer by interface circuit and controlled by software.



III

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อ	I
สารบัญ	III
สารบัญรูปภาพ	VI
สารบัญตาราง	IX
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
2.1 หลักการในการควบคุมและวงจรเชื่อมต่อระบบระหว่างวงจรควบคุมคอมพิวเตอร์	2
2.1.1 ลักษณะทางกายภาพของพอร์ตขนาน	2
2.1.2 การนำพอร์ตขนานไปใช้งาน	10
2.1.3 การเขียน โปรแกรมติดต่อพอร์ตขนานด้วยวิซวล เบสิก	10
2.1.4 บอร์ดเชื่อมต่อพอร์ตขนาน (P-BOARD)	11
2.1.5 บอร์ดขยายพอร์ตผ่านระบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี	13
2.1.6 คุณสมบัติโดยทั่วไปของบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี	13
2.1.7 หลักการของบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี	15
2.1.8 การทำงานบนบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี	17
2.1.9 อุปกรณ์ที่ใช้การเชื่อมต่อแบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี	19
2.1.10 การต่ออุปกรณ์ระบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีกับพอร์ต ขนานผ่านบอร์ดเชื่อมต่อกับพอร์ตขนาน	19
2.1.11 การเขียน โปรแกรมเพื่อสร้างสัญญาณต่างๆ สำหรับบัสแบบการ ติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี	21
2.1.12 การขยายจำนวนพอร์ตอินพุตเอาต์พุตด้วย PCF8574 และ PCF8574A	22
2.1.13 การเขียน โปรแกรมควบคุม PCF8574A ด้วยวิซวลเบสิก	26
2.1.14 การเชื่อมต่อกับสัญญาณอะนาล็อกของพอร์ตขนานผ่านระบบบัส แบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี	27
2.1.15 ข้อมูลเบื้องต้นของ PCF8591	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.16 ตำแหน่งแอดเดรสของ PCF8591	29
2.1.17 ออสซิลเลเตอร์	31
2.2 โครงสร้างของระบบ	31
2.2.1 ส่วนตรวจจับ (Sensor)	31
2.2.2 หน่วยประมวลผลกลางและควบคุม	31
2.2.3 วงจรจับมอเตอร์	31
2.2.4 วงจรจับหลอดไฟ	32
2.3 หลักการทำงานทำงานของมอเตอร์กระแสตรง	32
2.3.1 การแยกประเภทของ DC มอเตอร์	33
2.4 ตัวตรวจจับแบบต่างๆ (SENSOR)	41
2.4.1 สวิตช์กลไก (Mechanical Switches)	42
2.4.2 สวิตช์อ่อนตัว (Flex Switches)	43
2.4.3 สวิตช์ปรอท (Mercury Switches)	45
2.4.4 ตัวตรวจจับแม่เหล็ก (Magnetic Proximity Sensor)	45
2.4.5 อุปกรณ์ตรวจจับทางแสง (Opto Device)	46
2.4.6 อินฟราเรดแอลอีดี (Infrared LED)	49
2.4.7 ออปโตไอโซเลเตอร์ (Opto Isolator)	50
2.4.8 ออปโตไอโซเลเตอร์ชนิดตัวคู่ (Slotted Pair Optoisolator)	52
2.5.9 ตัวตรวจจับการสะท้อน (Reflector Isolator)	52
บทที่ 3 การคำนวณและการสร้าง	54
3.1 วงจรจับมอเตอร์	54
3.2 วงจรตรวจจับและเปรียบเทียบแรงดัน (Sensor&Compare Circuit)	57
3.3 วงจรสำหรับภาคส่ง	57
3.4 การออกแบบเพื่อเลือกพอร์ตของวงจรเชื่อมต่อบรรยากาศ วงจรควบคุมกับคอมพิวเตอร์	58
3.5 โครงสร้างและการออกแบบทางกล	59
3.5.1 ฐานสำหรับใช้วางราง	60
3.5.2 เส้นทาง หรือราง	60
3.5.3 ที่ตั้งราง	60

3.5.4	ที่ตั้งเส้นทางในระดับปกติ	60
3.5.5	ที่ตั้งเส้นทางยกระดับ	61
3.5.6	ที่ตั้งห้องโหลดไฟ	62
3.6	แนวความคิดในการออกแบบโปรแกรมและโปรแกรม	63
3.6.1	แนวความคิด	63
3.6.2	ไฟล์ชาร์ตการทำงาน	65
3.6.3	รูปแบบหน้าจอแสดงผล	66
บทที่ 4	การทดลองวงจรอิเล็กทรอนิกส์	70
4.1	การทดลองวงจรขั้วมอเตอร์	70
4.2	การทดลองวงจรเซนเซอร์	71
4.3	การทดลองวงจรควบคุมการเปิดปิดของหลอดไฟ	71
บทที่ 5	บทวิจารณ์และบทสรุป	72
5.1	บทวิจารณ์	72
5.2	บทสรุป	72
ภาคผนวก		
	กิตติกรรมประกาศ	
	หนังสืออ้างอิง	

สารบัญรูปภาพ

	หน้าที่
รูปที่ 2.1.1 แสดงไดอะแกรมเวลาของการส่งข้อมูลไปยังเครื่องพิมพ์	3
รูปที่ 2.1.2 แสดงระบบบัสภายในของพอร์ตขนาน	5
รูปที่ 2.1.3 วงจรภายในของพอร์ตข้อมูล	7
รูปที่ 2.1.4 วงจรภายในของพอร์ตควบคุม	8
รูปที่ 2.1.5 แสดงวงจรภายในของพอร์ตสถานะ	9
รูปที่ 2.1.6 วงจรสมมูลของบอร์ดเชื่อมต่อพอร์ตขนาน	12
รูปที่ 2.1.7 วงจรเอาต์พุตของอุปกรณ์บนระบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี	13
รูปที่ 2.1.8 การต่อพ่วงอุปกรณ์ระบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีที่ใช้ไฟเลี้ยง ไม่เท่ากัน	14
รูปที่ 2.1.9 การต่อตัวต้านทานอนุกรมกับขาสัญญาณของอุปกรณ์บนระบบบัสแบบ การติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี เพื่อลดสัญญาณรบกวน	15
รูปที่ 2.1.10 ไดอะแกรมเวลาแสดงสถานะต่างๆ บนระบบบัสแบบการติดต่อสื่อสาร ระหว่างไอซี	15
รูปที่ 2.1.11 รูปแสดงของข้อมูลกำหนดแอดเดรสของอุปกรณ์บนระบบบัสแบบการ ติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี	17
รูปที่ 2.1.12 รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการอ้างถึงแบบ 7 บิตของระบบบัสแบบการ ติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี	18
รูปที่ 2.1.13 รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการอ้างอิงแบบ 10 บิตของระบบบัสแบบการ ติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี	18
รูปที่ 2.1.14 วงจรเชื่อมต่อกับระบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีของบอร์ด เชื่อมต่อพอร์ตขนาน	20
รูปที่ 2.1.15 การจัดขาของ PCF8574/8574A	23
รูปที่ 2.1.16 รายละเอียดวงจรขาพอร์ตของไอซี PCF8574/8574A	25
รูปที่ 2.1.17 การจัดขาและตารางชื่อขาสัญญาณของ PCF8591	26
รูปที่ 2.1.18 รายละเอียดข้อมูลควบคุมการทำงานของ PCF8591	30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VII

รูปที่ 2.2.1	แสดงโครงสร้างของระบบ	32
รูปที่ 2.3.1	แสดงถึงการเกิดแรงบิดในมอเตอร์กระแสตรง	33
รูปที่ 2.3.2	มอเตอร์กระแสตรงแบบอาร์เมเจอร์ต่ออนุกรมกับขดลวดสนามแม่เหล็ก	34
รูปที่ 2.3.3	มอเตอร์กระแสตรงแบบแยกปรับสนามแม่เหล็กได้	34
รูปที่ 2.3.4	แสดงคุณสมบัติระหว่างความเร็วและแรงบิดของชั้นที่มอเตอร์ภายใต้ภาวะ อาร์เมเจอร์โวลต์เตจคงที่และการกระตุ้นสนามแม่เหล็กคงที่	35
รูปที่ 2.3.5	มอเตอร์กระแสตรงแบบฟิลด์แม่เหล็กถาวร	35
รูปที่ 2.3.6	แสดงรูปหน้าตัดของมอเตอร์กระแสตรงแบบมีขดลวดบนพื้นผิวและฟิลด์เป็น แบบแม่เหล็กถาวร	37
รูปที่ 2.3.7	หน้าตัดมอเตอร์กระแสตรงแบบมีโรเตอร์เป็นขดลวดเคลื่อนที่และฟิลด์ที่เป็น แม่เหล็กถาวร	37
รูปที่ 2.3.8	รูปหน้าตัดซึ่งมองด้านข้างของมอเตอร์กระแสตรงแบบโรเตอร์เป็นขดลวด เคลื่อนที่	38
รูปที่ 2.3.9	อาร์เมเจอร์แบบเป็นขดลวดเคลื่อนที่ซึ่งมีรูปร่างเป็นถ้วยตรงกระบอกและเพลลา เอาต์พุตทำด้วยเซรามิกออลูมิเนียมเพื่อให้ทนต่อแรงดึงสูง	38
รูปที่ 2.3.10	แสดงรูปร่างและโครงสร้างแม่เหล็กของมอเตอร์แบบขดลวดเคลื่อนที่	38
รูปที่ 2.3.11	แสดงถึงมอเตอร์กระแสตรงแบบโรเตอร์เป็นขดลวดหมุนมีรูปร่างเป็นจาน	39
รูปที่ 2.3.12	มอเตอร์กระแสตรงแบบโรเตอร์เป็นขดลวดหมุนชนิดที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม	39
รูปที่ 2.3.13	รูปหน้าตัดของมอเตอร์กระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่านและโรเตอร์เป็นแม่เหล็ก ถาวร	41
รูปที่ 2.4.1	ภาพตัดแสดง โครงสร้างของสวิทช์อ่อนตัว	44
รูปที่ 2.4.2	วงจรประยุกต์ใช้งานของสวิทช์อ่อนตัว	44
รูปที่ 2.4.3	วงจรประยุกต์ใช้งานสวิทช์ปรอทตรวจจับความเอียง	45
รูปที่ 2.4.4	วงจรเตือนภัยประยุกต์ใช้งานสวิทช์แม่เหล็ก	46
รูปที่ 2.4.5	วงจร VCO ควบคุมด้วยแสงจากการทำงานของโฟโตเซลล์	47
รูปที่ 2.4.6	วงจรควบคุมด้วยแสงจากการทำงานของโฟโตเซลล์	49
	ก) วงจรทำงานเมื่อแสงตกกระทบ	
	ข) วงจรหยุดทำงานเมื่อมีแสง	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VIII

รูปที่ 2.4.7	วงจรประยุกต์ใช้งานอินฟราเรดแอลอีดี	50
	ก) วงจรภาคส่ง	
	ข) วงจรภาครับ	
รูปที่ 2.4.8	ก) โครงสร้างของออปโตไดโอดไอโซเลเตอร์อย่างง่าย	51
	ข) วงจรประยุกต์ใช้งานออปโตไดโอดไอโซเลเตอร์	
รูปที่ 2.4.9	ก) โครงสร้างของออปโตไดโอดไอโซเลเตอร์แบบคู่	52
	ข) การประยุกต์ใช้งานออปโตไดโอดไอโซเลเตอร์แบบคู่	
รูปที่ 2.4.10	ก) ลักษณะภายในของอุปกรณ์ตรวจจับการสะท้อน	53
	ข) วงจรใช้งานของอุปกรณ์ตรวจจับการจับสะท้อน	
รูปที่ 3.1.1	แสดงวงจรขยายสัญญาณแรงดันไฟฟ้า	54
รูปที่ 3.1.2	แสดงวงจรรวมขยายแรงดันและเพิ่มกระแส	55
รูปที่ 3.2.1	วงจรตรวจจับและเปรียบเทียบแรงดัน	57
รูปที่ 3.3.1	วงจรควบคุมการเปิดปิดของหลอดไฟ	58
รูปที่ 3.4.1	แสดงการเชื่อมต่อพอร์ตต่างๆ สำหรับใช้ในโครงการนี้	59
รูปที่ 3.5.1	แสดงรางรถ ทางตรง และ ทางโค้ง	60
รูปที่ 3.5.2	แสดงที่ตั้งเส้นทางในลักษณะปกติ	61
รูปที่ 3.5.3	แสดงที่ตั้งเส้นทางยกระดับ	61
รูปที่ 3.5.4	แสดงการติดตั้งหลอดไฟ	62
รูปที่ 3.5.5	แสดงการติดตั้งเซนเซอร์ กับราง	63
รูปที่ 3.6.1	แสดงโปรแกรมการทำงาน	65
รูปที่ 3.6.2	แสดงหน้าจอฟอร์มหลักและควบคุมการทำงาน	66
รูปที่ 3.6.3	ฟอร์มทดสอบมอเตอร์	66
รูปที่ 3.6.4	ฟอร์มทดสอบหลอดไฟ	67
รูปที่ 3.6.5	ฟอร์มทดสอบเซนเซอร์	67
รูปที่ 3.6.6	ฟอร์มตั้งค่าความเร็ว	68
รูปที่ 3.6.7	ฟอร์มตั้งค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง	68
รูปที่ 3.6.8	ฟอร์มขับหลอดไฟ	69
รูปที่ 4.1.1	กราฟแสดงผลการทดลอง	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้าที่
ตารางที่ 2.1.1 สัญญาณสำคัญ ของพอร์ตขนานที่ใช้ติดต่อกับเครื่องพิมพ์	4
ตารางที่ 2.1.2 แสดงชื่อและหน้าที่การทำงานของตำแหน่งขาต่างๆ บนพอร์ตขนาน	6
ตารางที่ 2.4.1 คุณสมบัติทางความนำไฟฟ้าของวัสดุที่ใช้ทำหน้าสัมผัสสวิตช์	43
--- ตารางที่ 4.1.1 แสดงผลการทดลองวงจรขับมอเตอร์	70



บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันคอมพิวเตอร์เข้ามามีบทบาทอย่างมากในการนำมาควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ แทนมนุษย์ โดยได้สร้างอุปกรณ์ที่สามารถทำให้คอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจและติดต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ ภายนอกเพื่อรับคำสั่งญาณออกไปเพื่อควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ให้เป็นไปตามต้องการ

ปริญญานิพนธ์นี้ เป็นโครงการที่มีจุดประสงค์ดังนี้

1.1 เพื่อศึกษาทฤษฎีกลศาสตร์การเคลื่อนที่ในแนวโค้ง แล้วนำมาประยุกต์ใช้ในการเขียน

โปรแกรม

1.2 เพื่อศึกษาวงจรมัลติเพล็กซ์ที่ใช้ควบคุม

1.3 เพื่อศึกษาวงจรมัลติเพล็กซ์ที่ใช้ติดต่อกับคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก

1.4 เพื่อศึกษาการเขียนโปรแกรมให้สามารถทำงานอัตโนมัติโดยใช้คอมพิวเตอร์



บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 หลักการในการควบคุมและวงจรเชื่อมต่อระบบระหว่างวงจรควบคุมกับคอมพิวเตอร์

(Interface Card)

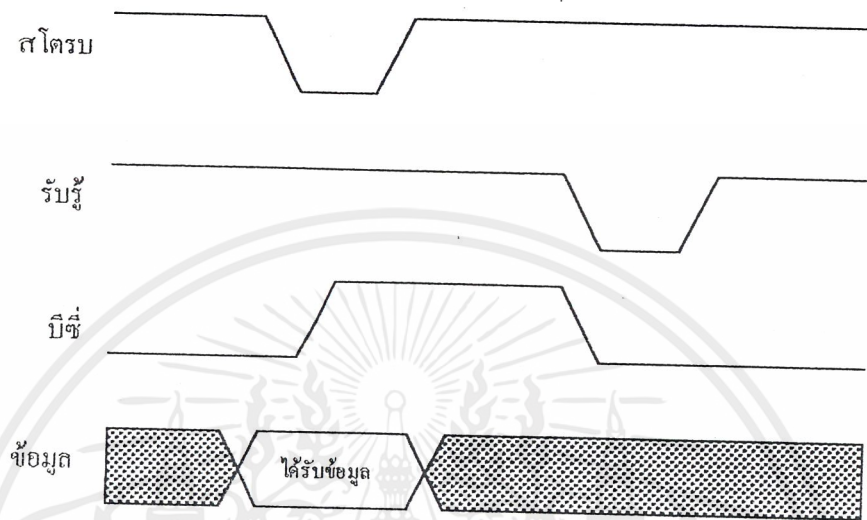
วงจรเชื่อมต่อระบบระหว่างวงจรควบคุมกับคอมพิวเตอร์ เป็นการดึงวงจรที่ออกแบบขึ้นเพื่อใช้ในระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของรถในโครงการนี้ โดยวงจรเชื่อมต่อนี้จะทำหน้าที่เป็นเหมือนพอร์ต (Port) บัฟเฟอร์ของสัญญาณข้อมูล (Data Buffer) และบัฟเฟอร์ของสัญญาณควบคุม (Signal Buffer) ซึ่งช่วยให้คอมพิวเตอร์สามารถติดต่อ ส่งผ่านและรับข้อมูลกับวงจรควบคุมมอเตอร์ เช่น เซอร์โวมอเตอร์และวงจรขับหลอดไฟได้

การควบคุมอุปกรณ์ภายนอกโดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์จะต้องทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์ติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกให้ได้เสียก่อน แต่การที่จะทำเช่นนั้นได้ต้องผ่าน พอร์ต (Port) ซึ่งจะกล่าวต่อไป ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพอร์ตขนาน

พอร์ตขนาน (Parallel port) สาเหตุที่มีชื่อนี้ เนื่องจากการถ่ายทอดข้อมูลของพอร์ตนี้เป็นแบบขนาน สำหรับชื่อเรียกอีกชื่อของพอร์ตขนานคือ พอร์ตเครื่องพิมพ์ (Printer port) เนื่องจากพอร์ตนี้ใช้สำหรับต่อเครื่องพิมพ์นั่นเอง ด้วยการถ่ายทอดข้อมูลแบบขนานแบบนี้เอง ทำให้พอร์ตขนานมีอัตราถ่ายทอดข้อมูลสูงกว่าการถ่ายทอดข้อมูลแบบอนุกรมประมาณ 8 - 10 เท่า และการประมวลผลข้อมูลส่วนใหญ่จะมีขนาด 8 บิต ดังนั้นพอร์ตขนานจึงสามารถรองรับการถ่ายทอดข้อมูล 8 บิตได้โดยไม่ต้องต่อส่วนเพิ่มเติมอื่นๆ

2.1.1 ลักษณะทางกายภาพของพอร์ตขนาน

เพื่อให้เข้าใจถึงการนำเอาพอร์ตขนานไปใช้งาน ก่อนอื่นต้องมาทำความเข้าใจก่อนว่า ปกตินั้นการส่งพิมพ์งานจากคอมพิวเตอร์ไปยังพอร์ตขนานนั้นมีรูปแบบการทำงานภายในอย่างไร ในรูปที่ 2.1.1 แสดงไคอะแกรมเวลาของการติดต่อระหว่างพอร์ตขนานกับเครื่องพิมพ์ ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีสัญญาณที่ใช้งานจริงๆ มีไม่มาก เริ่มจากสัญญาณพอร์ตดาต้า (Data) ถูกส่งออกไปยังเครื่องพิมพ์ พร้อมทั้งสัญญาณสโตรบ (Strobe) ออกไปด้วย เพื่อให้เครื่องพิมพ์รับรู้ว่ามีการส่งข้อมูลใหม่ที่ขา Data แล้ว จากนั้นคอมพิวเตอร์จะต้องรอการตอบกลับจากเครื่องพิมพ์ นั่นคือเครื่องพิมพ์จะสร้างสัญญาณบัสซี (Busy) หรือเพื่อบอกว่าเครื่องพิมพ์ยังไม่พร้อมรับข้อมูลใหม่ จนกระทั่งเมื่อเครื่องพิมพ์พร้อม เครื่องพิมพ์จะสร้างสัญญาณแอก (ACK) ส่งไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อแจ้งว่า พร้อมที่จะรับข้อมูลใหม่แล้ว



รูปที่ 2.1.1 แสดงไคอะแกรมเวลาของการส่งข้อมูลไปยังเครื่องพิมพ์

สัญญาณข้อมูลขนาด 8 บิต, สัญญาณสโตรบและสัญญาณแอ็ค (acknowledge) เป็นสัญญาณที่สำคัญในการส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังเครื่องพิมพ์ นอกจากสัญญาณทั้งสามแล้ว ส่วนใหญ่การติดต่อกับเครื่องพิมพ์ยังต้องมีสัญญาณอื่นๆ ร่วมด้วย เนื่องจากเครื่องพิมพ์ต้องทำหน้าที่ถึง 3 อย่างด้วยกันคือ รับข้อมูลจากคอมพิวเตอร์, พิมพ์ข้อมูลที่รับเข้ามา และตอบสนองต่อการใช้งานของผู้ใช้ เช่น การเปลี่ยนฟอนต์ เป็นต้น บางครั้งอาจเกิดเหตุการณ์ที่ไม่ปกติ เช่น บัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูลเต็ม (เนื่องจากเครื่องพิมพ์เป็นอุปกรณ์ที่ทำงานทางกลย่อมทำงานได้ช้ากว่าการส่งข้อมูลของคอมพิวเตอร์) เครื่องพิมพ์จะต้องแจ้งไปยังคอมพิวเตอร์ว่าให้หยุดส่งข้อมูลชั่วคราว เนื่องจากไม่สามารถรับข้อมูลมากกว่านี้ได้แล้ว สัญญาณที่ส่งจากเครื่องพิมพ์ไปยังคอมพิวเตอร์คือ สัญญาณบิตซ์ และเมื่อเครื่องพิมพ์เกิดข้อผิดพลาด เช่นกระดาษติด เครื่องพิมพ์จะต้องแจ้งไปยังคอมพิวเตอร์เช่นกัน โดยสัญญาณที่แจ้งไปยังคอมพิวเตอร์เรียกว่าสัญญาณเออร์เรอร์ (Error) นอกจากนี้เมื่อคอมพิวเตอร์ต้องการรีเซ็ตเครื่องพิมพ์ คอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณรีเซ็ต (Reset) ไปยังเครื่องพิมพ์เพื่อรีเซ็ตเครื่องพิมพ์ด้วย สามารถสรุปหาสัญญาณที่จำเป็นสำหรับการติดต่อดังในตารางที่ 2.1.1

จากตารางที่ 2.1.1 จะเห็นได้ว่าพอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์ยังแยกย่อยออกเป็นอีก 3 พอร์ต ได้แก่ พอร์ตเอาต์พุตที่ทำหน้าที่ส่งข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังเครื่องพิมพ์ พอร์ตเอาต์พุตอีก 1

พอร์ต สำหรับสัญญาณสโตรบและรีเซต พอร์ตอินพุตสำหรับการอ่านค่าสัญญาณแเอ็ค, บีซีและสัญญาณเออร์เรอร์จากเครื่องพิมพ์

โดยปกติพอร์ตขนานออกแบบมาให้มีสัญญาณอยู่ทั้งหมด 17 เส้น สายสัญญาณเหล่านั้นจะมีรีจิสเตอร์ 3 ตัวควบคุมการทำงานดังนี้

2.1.1.1 พอร์ตเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณควบไปยังอุปกรณ์ภายนอก มีอยู่ด้วยกัน 8 เส้น ใช้รีจิสเตอร์ค่าต่ำ (Data) ในการควบคุม

2.1.1.2 พอร์ตอินพุตสำหรับการอ่านค่าสถานะต่างๆ จากภายนอกมีอยู่ด้วยกัน 5 เส้น ใช้รีจิสเตอร์สเตตัส (Status) ในการควบคุม

2.1.1.3 พอร์ตเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณควบไปยังอุปกรณ์ภายนอก มีอยู่ด้วยกัน 4 เส้น ใช้รีจิสเตอร์คอนโทรล (Control) ในการควบคุม

สัญญาณ	หน้าที่การทำงาน	ทิศทาง
ข้อมูล 8 บิต	ข้อมูลที่ส่งจากคอมพิวเตอร์ไปยังเครื่องพิมพ์	คอมพิวเตอร์
สโตรบ	แจ้งเครื่องพิมพ์ถึงข้อมูลที่ส่งมาใหม่	คอมพิวเตอร์
แเอ็ค	เครื่องพิมพ์แจ้งมายังคอมพิวเตอร์ว่าได้รับข้อมูลแล้ว	เครื่องพิมพ์
บีซี	แจ้งสถานะว่าเครื่องพิมพ์ไม่ว่างที่จะรับข้อมูลใหม่	เครื่องพิมพ์
เออร์เรอร์	แจ้งสถานะว่าเครื่องพิมพ์เกิดข้อผิดพลาด	เครื่องพิมพ์
รีเซต	รีเซตเครื่องพิมพ์	คอมพิวเตอร์

ตารางที่ 2.1.1 สัญญาณสำคัญของพอร์ตขนานที่ใช้ติดต่อกับเครื่องพิมพ์

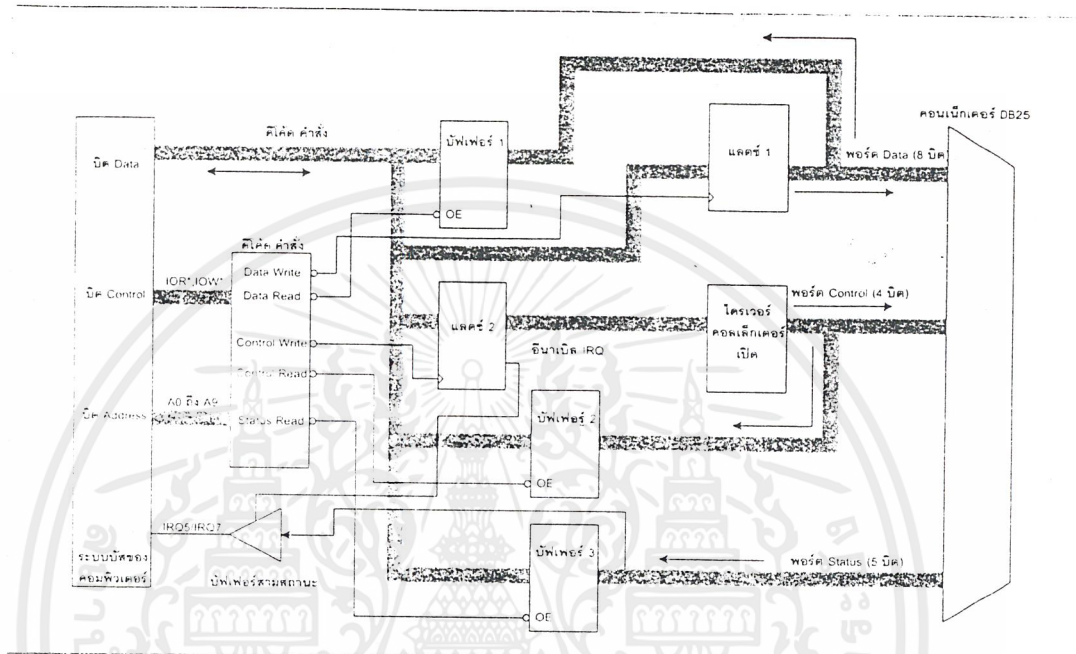
บล็อกไดอะแกรมในรูปที่ 2.1.2 แสดงระบบบัสของคอมพิวเตอร์สำหรับการติดต่อกับพอร์ตขนาน สัญญาณเอาต์พุตจากพอร์ตขนานจะถูกส่งไปยังคอนเนกเตอร์แบบ DB-25 สำหรับคอมพิวเตอร์ส่วนใหญ่ในปัจจุบันพอร์ตขนานจะมีมาพร้อมกับเมนบอร์ด ไม่จำเป็นต้องใช้การ์ดเสียบเพิ่มเติมเหมือนในอดีต พร้อมทั้งมีฟังก์ชันการทำงานที่ซับซ้อนขึ้น แต่ยังคงสนับสนุนการทำงานของพอร์ตขนานในรูปแบบมาตรฐาน (SPP) อยู่

เมื่อดูจากรูปที่ 2.1.1 เทียบการทำงานโดยทั่วไปกับการเชื่อมต่อผ่านการ์ดที่เสียบลงในสล๊อตของคอมพิวเตอร์แล้ว พอร์ตขนานจะมีลักษณะใกล้เคียงกัน โดยการติดต่อกับพอร์ตขนานจะต้องมีการอ้างแอดเดรส ตำแหน่งแอดเดรสที่ใช้อ้างอิงจะเป็นตำแหน่ง A0-A9 และใช้ขา IOR และ IOW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับเป็นตัวเลือกว่าต้องการอ่านหรือเขียนรีจิสเตอร์ตัวใด จากการตีโค้ดแอดเดรส A0-A9 นี้เอง ทำให้ได้สัญญาณออกมาเพื่อไปควบคุมหรืออินาเบิลวงจรมัลติเพล็กซ์ต่างๆ ดังนี้

ค่าตัวไรต์ (DataWrite) สัญญาณอินาเบิลสำหรับนำข้อมูลที่อยู่ในบัสดำไปออกที่ขา Data ของพอร์ตขนาน



รูปที่ 2.1.2 แสดงระบบบัสดภายในของพอร์ตขนาน

ค่าตัวไรต์ (DataRead) สัญญาณอินาเบิลสำหรับอ่านข้อมูลจากขา Data ของพอร์ตขนานมาเก็บไว้ในบัสดำ

DB-25	รีจิสเตอร์	ทิศทาง	ตำแหน่งบิต	ชื่อขาสัญญาณ	หน้าที่การทำงาน
1	Control	Out	C0	NSTROBE	แอกทีฟที่ "0" ส่งค่าออกไปเพื่อบอกว่าที่ขาคาดำมีข้อมูลแล้ว
2-9	Data	Out	D1-D8	D A T A 1 - DATA8	สำหรับพอร์ตขนานมาตรฐานเดิมขานี้ทำหน้าที่เป็นขาส่งเอาต์พุตเท่านั้นสำหรับในปัจจุบันขานี้รับอินพุตได้ด้วย
10	Status	In	S6	NACK	เป็นพัลส์ลอคจิก "0" ที่ส่งมาจากเครื่องพิมพ์เพื่อบอกว่าได้รับข้อมูลที่ส่งไปแล้ว
11	Status	In	S7	BUSY	เป็นสัญญาณที่แจ้งมาจากเครื่องพิมพ์ว่ายังไม่พร้อมรับข้อมูล
12	Status	In	S5	PE	แจ้งกระดาษหมด
13	Status	In	S4	SELECT	แจ้งว่าเครื่องพิมพ์ต่ออยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14	Control	Out	C1	AUTO FEED	สั่งเครื่องพิมพ์ให้เลื่อนบรรทัด
15	Status	In	S3	NERROR	สัญญาณจากเครื่องพิมพ์มายังคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงข้อผิดพลาดจากการพิมพ์
16	Control	Out	C2	NINIT	รีเซ็ตเครื่องพิมพ์โดยให้ลอจิก "0"
17	Control	Out	C3	NSELECT-IN	ส่งสัญญาณไปยังเครื่องพิมพ์เพื่อแจ้งว่าต้องการเลือกเครื่องพิมพ์เครื่องนี้
18-25				GND	กราวด์

ตารางที่ 2.1.2 แสดงชื่อและหน้าที่การทำงานของตำแหน่งขาต่างๆ บนพอร์ตขนาน

คอนโทรลไรต์ (ControlWrite) สัญญาณอีนานเปิดสำหรับนำข้อมูลที่อยู่ในบัสดาต้า (Data) ไปออกที่ขา Control ของพอร์ตขนาน พอร์ตนี้นอกจากจะส่งข้อมูลแล้ว ยังทำหน้าที่อีนานเปิดการอินเตอร์รัปต์ของการเปลี่ยนแปลงสัญญาณที่พอร์ตสเตตัสอีกด้วย

คอนโทรลรีด (ControlRead) สัญญาณอีนานเปิดสำหรับอ่านค่าจากขา Control มาเก็บไว้ในบัสดาต้า

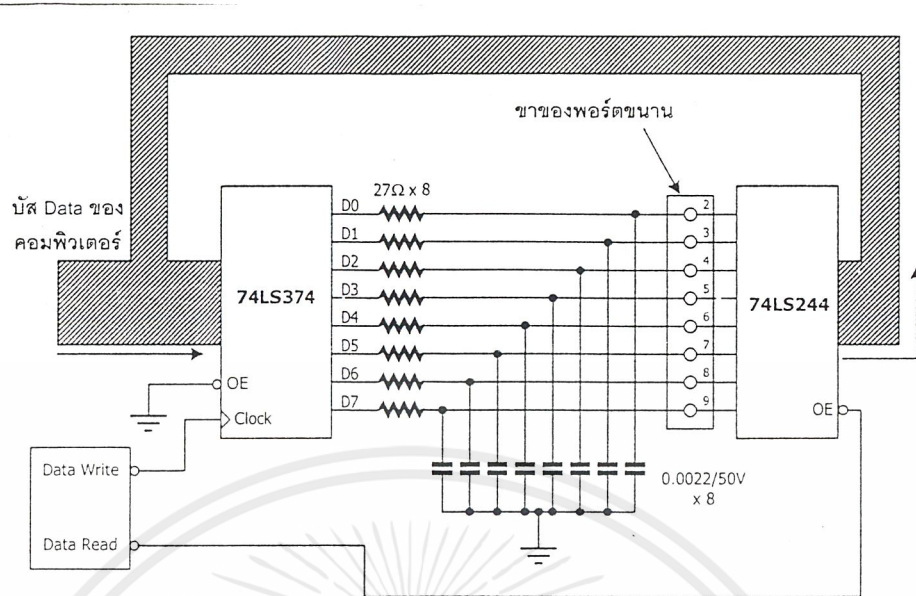
สเตตัสรีด (StatusRead) สัญญาณอีนานเปิดสำหรับอ่านค่าข้อมูลจากขาพอร์ตสเตตัสมาเก็บไว้ในบัสดาต้า

ตารางที่ 2.1.2 แสดงชื่อและหน้าที่การทำงานของตำแหน่งขาต่างๆ บนพอร์ตขนาน

2.1.1.1 พอร์ตดาต้า (Data Port)

จากรูปที่ 2.1.3 แสดงให้เห็นว่าพอร์ตดาต้าประกอบไปด้วยบัพเฟอร์ 1 ตัวและไอซีแลตซ์อีก 1 ตัว เมื่อคอมพิวเตอร์ต้องการส่งข้อมูลไปยังเครื่องพิมพ์ คอมพิวเตอร์จะเขียนข้อมูลไปยังไอซีแลตซ์ 1 ทั้ง 8 บิต เอาต์พุตของไอซีแลตซ์ 1 คือ D0-D7 ซึ่งเอาต์พุตนี้จะไปปรากฏอยู่ที่พอร์ตขนานในตำแหน่งขา 2 ถึงขา 9 และที่ขาเอาต์พุตนี้สัญญาณดาต้าจะส่งกลับไปเป็นอินพุตของบัพเฟอร์ 1 ด้วย ทำให้คอมพิวเตอร์สามารถอ่านค่าสถานะปัจจุบันที่เกิดขึ้นกับพอร์ตดาต้าได้

เมื่อคอมพิวเตอร์ส่งข้อมูล ข้อมูลจะถูกส่งมาจากบัสข้อมูลของคอมพิวเตอร์ผ่านไปให้กับไอซี 74LS374 ซึ่งเป็นไอซีแลตซ์ข้อมูล และเมื่อต้องการให้ข้อมูลปรากฏที่เอาต์พุต คอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณดาต้าไรต์ออกไปที่ขา CLK ของ 74LS374 จะถูกรองด้วยวงจร RC ซึ่งประกอบด้วยตัวต้านทานค่า 27 โอห์ม และตัวเก็บประจุ 0.0022 ไมโครฟารัด เพื่อให้ช่วงเวลาที่เปลี่ยนจากลอจิก "0" เป็นลอจิก "1" หรือจากลอจิก "1" เป็นลอจิก "0" เป็นไปอย่างช้าๆ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่รวดเร็วทำให้เกิดสัญญาณรบกวนเหนี่ยวนำข้ามไปยังขั้วข้อมูลบิตอื่นๆ ได้ ทำให้ข้อมูลที่ส่งออกไปมี



รูปที่ 2.1.3 วงจรภายในของพอร์ตข้อมูล

ข้อผิดพลาด จากค่าตัวต้านทานและตัวเก็บประจุในวงจรทำให้เกิดการหน่วงเวลาไปประมาณ 60 นาโนวินาที จากวงจรในรูปที่ 2.1.3 ทำให้เอาต์พุตของพอร์ตดาต้ามีคุณสมบัติดังนี้

- กระแสซิงค์สูงสุด 24 มิลลิแอมป์
- กระแสซอร์สสูงสุด 2.6 มิลลิแอมป์
- ระดับแรงดันของลอจิก "1" ต่ำสุดเท่ากับ 2.4 โวลต์
- ระดับแรงดันสูงสุดของลอจิก "0" เท่ากับ 0.5 โวลต์

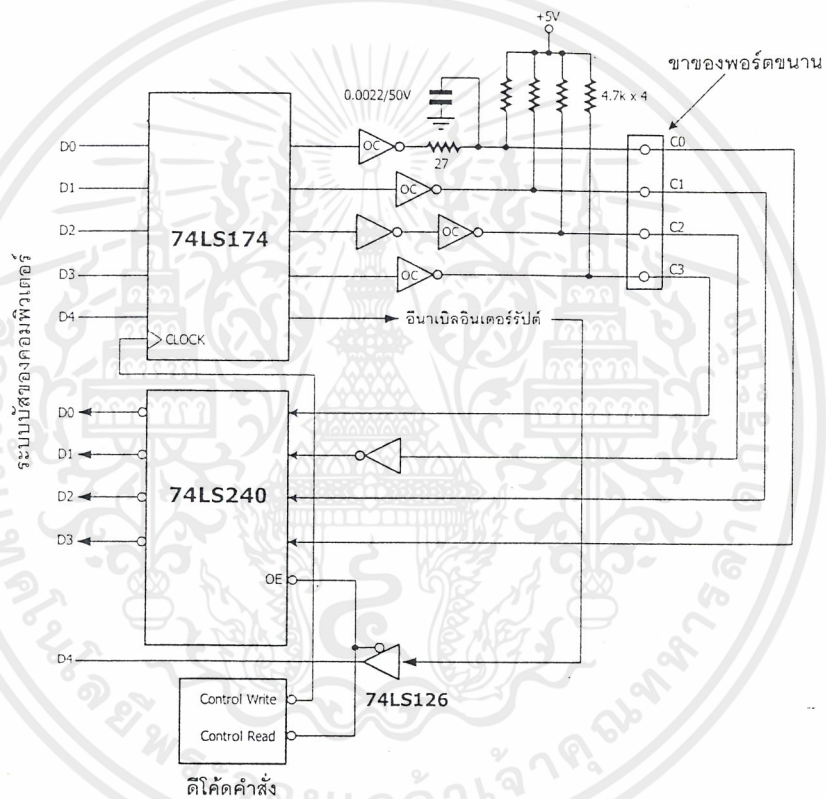
สำหรับบัฟเฟอร์สำหรับการอ่านข้อมูลกลับได้แก่เบอร์ 74LS244 ซึ่งเมื่อต้องการอ่านค่าคอมพิวเตอร์จะส่งสัญญาณดาต้ารีด ออกมาเพื่ออีนาเบิลไอซี 74LS244 สำหรับพอร์ตขนานแบบมาตรฐาน (Standard Parallel Port : SPP) พอร์ตดาต้า จะต้องใช้เพื่อการส่งค่าออกเอาต์พุตเท่านั้น แต่สำหรับพอร์ตขนานที่มีการสื่อสารสองทิศทาง (Bidirectional Parallel Port) สามารถอ่านค่าจากพอร์ตดาต้าได้ด้วยแต่ก่อนที่จะอ่านค่าต้องจำไว้เสมอว่าจะต้องป้อนค่าเอาต์พุตให้มีลอจิก "1" ทั้งหมดก่อน

2.1.1.2 พอร์ตคอนโทรล (Control Port)

พอร์ตคอนโทรลใช้สำหรับคอมพิวเตอร์ควบคุมเครื่องพิมพ์ จากตารางที่ 2.1.2 จะเห็นว่าพอร์ตคอนโทรลประกอบไปด้วยบิตเอาต์พุต 4 บิตที่ต่อออกไปยังเครื่องพิมพ์ ส่วนบิตอีนาเบิลอินเทอร์รัปต์ไม่ได้ถูกต่อออกไป รูปที่ 2.1.4 แสดงบล็อกไดอะแกรมของพอร์ตคอนโทรล เอาต์พุตของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอร์ตกอนโททรล มีอินเวอร์เตอร์แบบคอลเล็กเตอร์เปิดต่อรวมอยู่ โดยเอาต์พุตเหล่านี้จะถูกพูลอัปไว้ด้วยตัวต้านทานค่า 4.7 กิโลโอห์มสำหรับบิต C2 จะผ่านอินเวอร์เตอร์ถึงสองตัวทำให้ที่เอาต์พุตของบิต C2 ไม่มีการกลับสถานะลอจิก



รูปที่ 2.1.4 วงจรภายในของพอร์ตกควบคุม

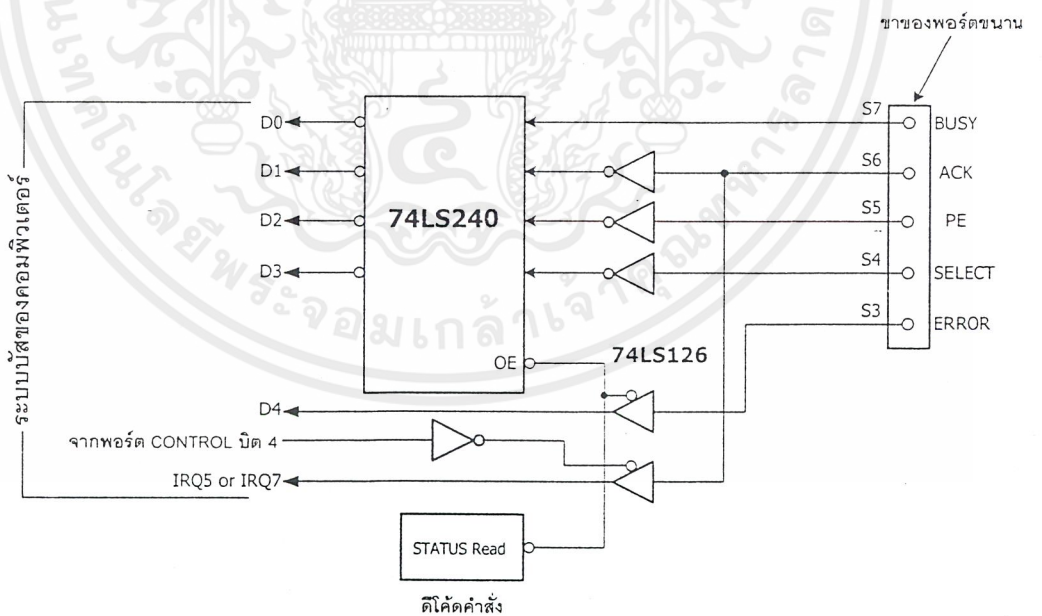
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานะของพอร์ตคอนโทรล สามารถอ่านกลับได้โดยการใช้บัฟเฟอร์ 74LS240 ซึ่งเอาต์พุตของ 74LS240 มีอินเวอร์เตอร์อยู่ภายใน ทำให้ค่าที่อ่านได้ตรงกับค่าที่ส่งออกไป การควบคุมการอ่านและเขียนข้อมูลกับพอร์ตคอนโทรล เป็นแบบคอนเล็กเตอร์เปิด ดังนั้นผู้ใช้งานสามารถใส่พอร์ตนี้ในการอ่านค่าสัญญาณอินพุตจากภายนอกได้ โดยก่อนที่จะอ่านค่าจะต้องทำให้ขาพอร์ตที่ต้องการอ่านค่ามีลอจิก “1” เสียก่อน

2.1.1.3 พอร์ตสเตตัส (Status Port)

พอร์ตสเตตัส เป็นพอร์ตที่คอมพิวเตอร์ใช้สำหรับการอ่านค่าสถานะจากเครื่องพิมพ์ รูปที่

2.1.5 แสดงรายละเอียดภายในของพอร์ตสเตตัส จะสังเกตได้ว่ามีขาสัญญาณอยู่ทั้งหมด 5 สัญญาณด้วยกันและจะเรียกชื่อเป็น S3, S4, S5, S6 และ S7 ซึ่งตัวเลขนั้นหมายถึงตำแหน่งบิตของขาเหล่านี้ภายในรีจิสเตอร์สเตตัสนั่นเอง สำหรับบิต S7 จะมีชื่อแตกต่างจากบิตอื่นๆ ที่เมื่อสัญญาณจากภายนอกส่งเข้ามาแล้วจะไม่ผ่านอินเวอร์เตอร์ ในขณะที่ขาอื่นๆ ผ่านอินเวอร์เตอร์ทั้งหมด ดังนั้นเมื่อข้อมูลผ่านจากขาอินพุตไปยัง 74LS240 ซึ่งเอาต์พุตมีการกลับสถานะทำให้บิต S7 เป็นบิตเดียวที่มีการกลับสถานะ นอกจากนี้ในการใช้งานถ้าต้องการให้มีการสร้างสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากขอบขาขึ้นของขา S6 สามารถกำหนดค่าได้จากพอร์ตคอนโทรลบิต 4



รูปที่ 2.1.5 แสดงวงจรภายในของพอร์ตสถานะ

2.1.2 การนำพอร์ตขนานไปใช้งาน

สำหรับพอร์ตขนานแบบมาตรฐาน ผู้ใช้งานสามารถนำพอร์ตอินพุต 5 บิต (พอร์ตสเตตัส) พอร์ตเอาต์พุต 4 บิต (พอร์ตคอนโทรล) และพอร์ตเอาต์พุตอีก 8 บิต (พอร์ตดาต้า) ไปใช้งานได้โดยตรง โดยที่ 4 บิตของพอร์ตเอาต์พุตหรือพอร์ตคอนโทรลนั้นสามารถดัดแปลงให้ใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตขนาด 4 บิตได้ด้วยดังนั้นผู้ใช้งานจึงสามารถนำสัญญาณจากพอร์ตขนานที่มีมากถึง 17 เส้น ไปใช้งานในการควบคุมโดยใช้ระดับสัญญาณ TTL

2.1.3 การเขียนโปรแกรมติดต่อกับพอร์ตขนานด้วยวิซวลเบสิก (Visual BASIC)

การเขียนโปรแกรมด้วยวิซวลเบสิก ชุดคำสั่งส่วนใหญ่จะมีรูปแบบใกล้เคียงกับคิวเบสิก (QBASIC) แต่วิซวลเบสิกจะไม่มีคำสั่งสำหรับการติดต่อกับพอร์ตโดยตรงคือ คำสั่ง Inp() และคำสั่ง Out เหมือนกับคิวเบสิกดังนั้นเพื่อให้สามารถติดต่อกับพอร์ตขนานได้จึงจำเป็นต้องเพิ่มโปรแกรมบางตัวเข้าไป โดยโปรแกรมที่เพิ่มเข้าไปนี้จะอยู่ในรูปของ DLL (Dynamic Linked Library)

ไฟล์ DLL นี้จะมีอยู่ 2 ไฟล์คือ inpout.dll และ inpout32.dll โดย inpout.dll นั้นใช้สำหรับระบบปฏิบัติการ 16 บิตหรือวินโดวส์ 3.1 นั่นเอง ส่วน inpout32.dll จะใช้สำหรับระบบปฏิบัติการที่เป็น 32 บิตซึ่งก็คือวินโดวส์ 95 หรือวินโดวส์ 98

สำหรับตำแหน่งที่ใช้เก็บไฟล์ inpout.dll หรือ inpout32.dll นั้นจะต้องเก็บไว้ที่ไดเรกทอรี SYSTEM ซึ่งอยู่ในไดเรกทอรีที่เก็บโปรแกรมวินโดวส์ โดยส่วนใหญ่จะมีชื่อเป็น Windows การกำหนดค่าในโปรแกรมเพื่อเรียกใช้งานไฟล์ DLL มีรูปแบบการกำหนดค่าดังนี้ สำหรับระบบปฏิบัติการ 16 บิต

```
Declare Function Inp% Lip "InpOut.DLL" Alias "Inp16" (ByVal PortAddress%)
```

```
Declare Sub Out Lip "InpOut.DLL" Alias "Out16" (ByVal PortAddress%, ByVal ByteToWrite%)
```

สำหรับระบบปฏิบัติการ 32 บิต

```
Public Declare Function Inp Lib "inpout32.dll" _
```

```
Alias "Inp32" (ByVal PortAddress As Integer) As Integer
```

```
Public Declare Sub Out Lib "inpout32.dll" _
```

```
Alias "Out32" (ByVal PortAddress As Integer, ByVal Value As Integer)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4 บอร์ดเชื่อมต่อพอร์ตขนาน (P-BOARD)

วงจรถวายของบอร์ดเชื่อมต่อพอร์ตขนาน แสดงในรูปแบบที่ 2.1.7 โดยเริ่มจากคอนเน็กเตอร์ K002 แบบ DB-25 ตัวเมียอันเป็นจุดที่ใช้ต่อเชื่อมกับพอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์ ซึ่งได้รับการจัดสรรออกเป็น 3 ส่วนคือ

2.1.4.1 พอร์ตคาต้ามีตำแหน่งอยู่ที่ขา 2 ถึงขา 9 ใช้ทำหน้าที่เป็นขาเอาต์พุต สัญญาณข้อมูลถูกส่งเข้าสู่ไอซีบัฟเฟอร์เบอร์ 74HC1 เพื่อขยายกระแสให้กับขาเอาต์พุต D0-D7 ทั้ง 8 ขา นอกจากนี้ยังทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันความเสียหายที่อาจจะเกิดกับพอร์ตขนานอีกด้วย เอาต์พุตจากไอซี 74HC541 จะส่งออกไปยังคอนเน็กเตอร์คาต้าบัส (DATA BUS) ซึ่งมีการจัดขาตามมาตรฐาน UIC-10 และส่งออกไปรวมกับคอนเน็กเตอร์พีบัส (P-BUS)

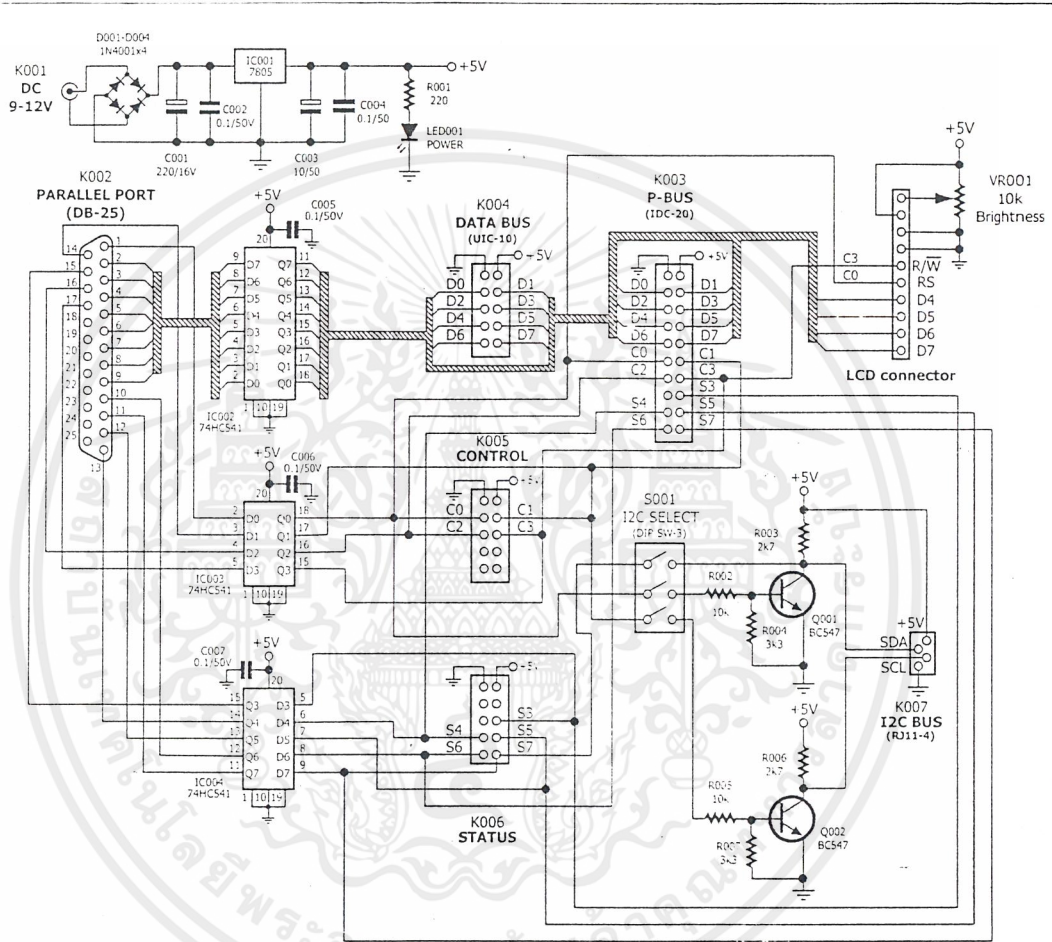
2.1.4.2 พอร์ตคอนโทรลใช้ตำแหน่งขา 1, 14, 16 และ 17 ทำหน้าที่เป็นขาเอาต์พุตเช่นกัน โดยต่อเข้ากับไอซี 74HC541 เพื่อทำหน้าที่ขยายกระแสและป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับพอร์ตขนาน แล้วต่อสายเอาต์พุตไปเข้าคอนเน็กเตอร์คอนโทรลจะเห็นได้ว่าใช้เฉพาะขา C0-C3 เท่านั้น พร้อมกันนั้นยังส่งต่อไปรวมกันที่คอนเน็กเตอร์พีบัสด้วย

นอกจากนี้พอร์ตคอนโทรลยังถูกใช้งานเพื่อเป็นขาเอาต์พุตสำหรับการติดต่อสื่อสารด้วยระบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี (I²C) ด้วย โดยจะใช้ขา C1 ในการสร้างสัญญาณส่งข้อมูล (SDA) ใช้ขา S7 ซึ่งอยู่ในส่วนของพอร์ตสแตตัสรับข้อมูลจากสัญญาณส่งข้อมูล การใช้งานระบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี จะเลือกผ่านคิปลิวต์ เนื่องจากต้องการให้สามารถใช้งานขาพอร์ตคอนโทรลและพอร์ตสแตตัสในงานปกติได้ เมื่อไม่มีการใช้งาน ระบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี

วงจรถวายของส่วนเชื่อมต่อระบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีของบอร์ดเชื่อมต่อพอร์ตขนานจะใช้ทรานซิสเตอร์ 2 ตัวต่อในลักษณะคอนเล็กเตอร์เปิด ซึ่งในช่วงที่ไม่ได้ป้อนลอจิก “1” ให้ ทรานซิสเตอร์จะไม่ทำงาน และเอาต์พุตของขา SDA และ SCL จะมีลอจิก “1” จากตัวต้านทานพูลอัปค่า 2.7 กิโลโอห์ม ที่ต่อเอาไว้ ซึ่งจะเรียกสภาวะนี้ว่า บัสว่าง และเมื่อต้องการติดต่อกับบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีจะต้องป้อนลอจิก “1” ให้ทรานซิสเตอร์ทำงาน และให้เอาต์พุตของบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีออกมาเป็น “0” เนื่องจากทรานซิสเตอร์จะทำการลัดวงจรขาเอาต์พุตลงกราวด์

2.1.4.3 พอร์ตสแตตัส ใช้ตำแหน่งขา 15, 13, 12, 10 และ 11 ของพอร์ตขนาน โดยขาเหล่านี้

ทำหน้าที่เป็นอินพุต ดังนั้นไอซีบัพเฟอร์ที่นำมาต่อด้วยจะเป็นการรับสัญญาณอินพุตจากภายนอก และส่งสัญญาณไปให้กับพอร์ตขนาน ซึ่งตรงกันข้ามกับ 2 พอร์ตแรก โดยไอซีบัพเฟอร์ที่ใช้ยังเป็นเบอร์ 74HC541 ส่วนอินพุตของพอร์ตสเตตัสจะต่อเชื่อมกับคอนเน็กเตอร์สเตตัสที่มีการจัดขาตาม



รูปที่ 2.1.6 วงจรสมมูลของบอร์ดเชื่อมต่อพอร์ตขนาน

มาตรฐาน UIC-10 เช่นกัน โดยใช้งานเพียง 5 ตำแหน่งเท่านั้นคือ S3, S4, S5, S6 และ S7 โดยขาที่ S7 ทำหน้าที่เป็นขาอินพุตให้กับบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีด้วย โดยขาของพอร์ตสเตตัสทั้งหมดหลังจากผ่านบัพเฟอร์แล้วจะ ไปรวมกันอยู่ที่คอนเน็กเตอร์พีบีส

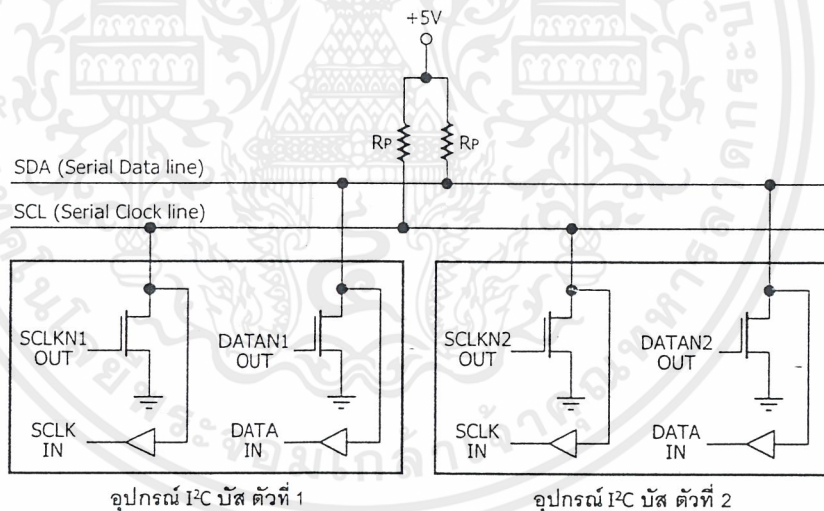
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 บอร์ดขยายพอร์ตผ่านระบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี

ระบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่าง ไอซี ได้รับการพัฒนาขึ้นโดยฟิลิปส์ (Philips) ด้วยจุดมุ่งหมายหลักคือ ต้องการให้ไอซีหรือ โมดูลสามารถติดต่อสั่งงานและควบคุมภายใต้สายสัญญาณเพียง 2 เส้น เส้นหนึ่งคือสายข้อมูล อีกเส้นหนึ่งคือสายควบคุมสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการกำหนดจังหวะการทำงาน การต่อร่วมกันของอุปกรณ์บนบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี I2C ทำได้ง่ายมาก เพียงต่อสายข้อมูลและสายสัญญาณสัญญาณนาฬิกา ของอุปกรณ์แต่ละตัวขนานหรือพ่วงกันไป ส่วนการกำหนดแอดเดรสหรือตำแหน่งสำหรับติดต่ออุปกรณ์แต่ละตัว จะใช้รหัสข้อมูลและการกำหนดสถานะลอจิกที่ขาแอดเดรสของอุปกรณ์แต่ละตัว

สายข้อมูลบนบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีมีชื่อเรียกอย่างเป็นทางการว่า สายข้อมูลอนุกรม หรือ SDA (Serial Data line) ส่วนสายสัญญาณนาฬิกามีชื่อเรียกว่า สายสัญญาณนาฬิกาอนุกรม หรือ SCL (Serial Clock line)

2.1.6 คุณสมบัติโดยทั่วไปของบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี



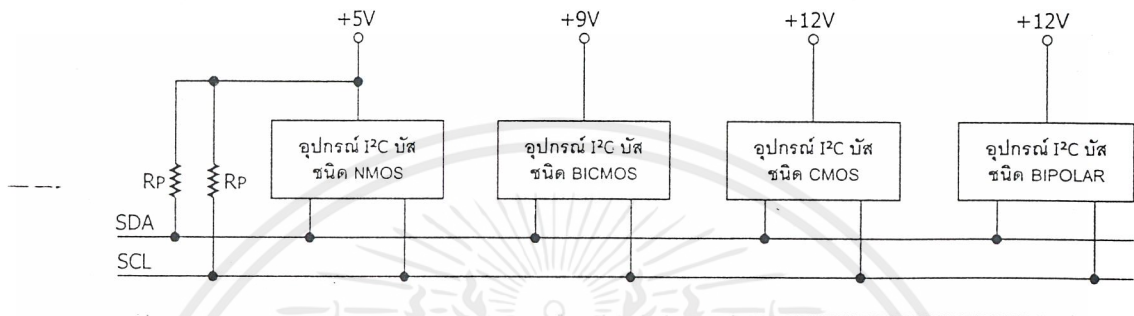
รูปที่ 2.1.7 วงจรเอาต์พุตของอุปกรณ์บนระบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี

สายส่งข้อมูลอนุกรมและสายสัญญาณนาฬิกาอนุกรมเป็นสายสัญญาณ 2 ทิศทาง (bi-direction line) ต้องมีการต่อตัวต้านทานพูลอัพกับแรงดัน +5 โวลต์ไว้ตลอดเวลา เพื่อให้สายมีสถานะลอจิกสูงในขณะที่ไม่มีการติดต่อใช้งาน ทั้งยังช่วยในการป้องกันสัญญาณรบกวนที่อาจมีเข้ามาในสายสัญญาณทั้งสอง วงจรเอาต์พุตของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่บนบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี ต้องมี

ลักษณะเป็นวงจรทรานซิสเตอร์เปิด (open-drain) หรือคอลลเล็กเตอร์เปิด (open-collector)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราการถ่ายถอดข้อมูลบนบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีสูงถึง 100 กิโลบิตต่อวินาที ในโหมดปกติ (standard mode) และสูงถึง 400 กิโลบิตต่อวินาทีในโหมดความเร็วสูง (fast mode) อุปกรณ์ที่ต่อร่วมอยู่บนบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีจะต้องมีความจุไฟฟ้ารวมที่เกิดขึ้น

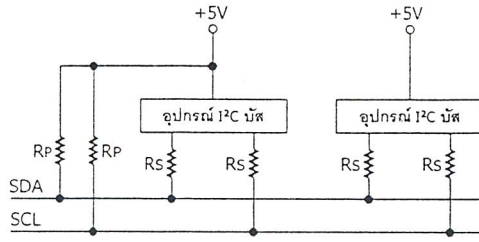


รูปที่ 2.1.8 การต่อพ่วงอุปกรณ์ระบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีที่ใช้ไฟเลี้ยงไม่เท่ากัน

ระหว่างสายส่งข้อมูลอนุกรมและสายสัญญาณนาฬิกาอนุกรมไม่เกิน 400 พิโคฟารัด การเข้าถึงอุปกรณ์บนบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีใช้ข้อมูลสำหรับการเข้าถึง 2 แบบคือ 7 บิต (7-bit addressing) หรือ 10 บิต (10-bit addressing)

ข้อเด่นอีกประการหนึ่งของบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี คือ สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ใช้ไฟเลี้ยงไม่เท่ากันให้สามารถติดต่อกันได้ โดยอุปกรณ์บนบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีตัวหนึ่งอาจใช้ไฟเลี้ยง +5 โวลต์ ในขณะที่อีกตัวหนึ่งใช้ไฟเลี้ยง +12 โวลต์ การต่อร่วมกันบนบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี สามารถกระทำได้ในลักษณะเดียวกับกรณีที่อุปกรณ์ทั้งสองใช้ไฟเลี้ยงเท่ากัน กล่าวคือ ให้ต่อสายส่งข้อมูลอนุกรมและสายสัญญาณนาฬิกาอนุกรมของอุปกรณ์แต่ละตัวเข้าด้วยกัน และต้องต่อตัวต้านทานพูลอัป (Rp) เข้ากับแรงดัน +5 โวลต์ ไว้ด้วยเสมอ ดังในรูปที่ 2.1.8

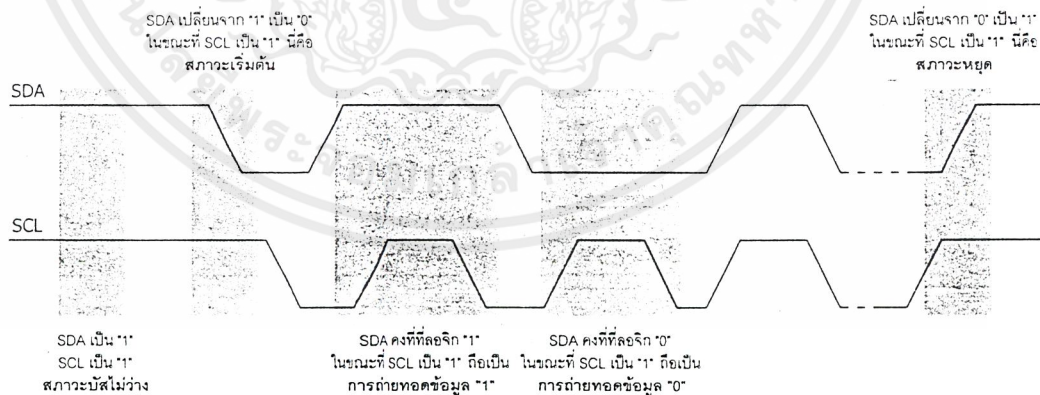
ในกรณีที่มีแรงดันไฟกระชากขนาดใหญ่ปะปนเข้ามาในบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีที่ขา SDA และ SCL ของอุปกรณ์แต่ละตัวต้องต่อตัวต้านทานอนุกรมกับขา SDA และ SCL เรียกว่า RS ก่อนเข้าสู่บัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี



รูปที่ 2.1.9 การต่อตัวต้านทานอนุกรมกับขาสัญญาณของอุปกรณ์บนระบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี เพื่อลดสัญญาณรบกวน

2.1.7 หลักการของบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี

บัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีประกอบด้วยสายสัญญาณ 2 เส้น ดังที่ได้กล่าวมาแล้วคือ สายส่งข้อมูลอนุกรมและสายสัญญาณนาฬิกาอนุกรมอุปกรณ์ที่ต่อพ่วงบนบัสสามารถมีได้มากมาย ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดรูปแบบของการติดต่อบนบัส หรือเรียกว่า โปรโตคอล (protocol) เพื่อให้ผู้ใช้งานทราบว่า ขณะนี้อุปกรณ์ใดติดต่อกันอยู่ และอุปกรณ์ใดเป็นตัวรับหรือตัวส่ง ต่อไปนี้จะขออธิบายลักษณะ หน้าที่ และนิยามของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่บนบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี เพื่อเป็นข้อตกลงพื้นฐานก่อนที่จะอธิบายการทำงานของบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีต่อไป



รูปที่ 2.1.10 ไคอะแกรมเวลาแสดงสถานะต่างๆ บนระบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่าง ไอซี

อุปกรณ์ที่เป็นผู้สร้างข้อมูลหรือส่งข้อมูล เรียกว่า ตัวส่ง (transmitter) อุปกรณ์ที่เป็นผู้รับข้อมูล เรียกว่า ตัวรับ (receiver) ในอุปกรณ์บนบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีสามารถเป็น ได้ทั้งตัว

รับและตัวส่ง บางอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นตัวรับเพียงอย่างเดียว จะไม่มีอุปกรณ์ใดบนบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งเพียงอย่างเดียว อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมจังหวะการติดต่อบนบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี เรียกว่า *มาสเตอร์ (master)* อุปกรณ์ที่ถูกควบคุมหรืออุปกรณ์ที่ต่อพ่วงเข้าไปบนบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี เรียกว่า *สเลฟ (slave)*

ข้อกำหนด 2 ประการสำคัญของการติดต่อบนบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี คือ

(1) การถ่ายทอดข้อมูลจะเกิดขึ้นได้เมื่อบัสว่างเท่านั้น

(2) ในระหว่างการถ่ายทอดข้อมูล เมื่อใดก็ตามที่สายสัญญาณนาฬิกาอนุกรมมีสถานะลอจิกสูง สายข้อมูลต้องรักษาข้อมูลไว้ อย่าให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นเด็ดขาด มิฉะนั้น สัญญาณที่เกิดขึ้น

จะได้รับการแปลความหมายเป็นสัญญาณควบคุมแทน

สภาวะที่เกิดขึ้นบนบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี มีด้วยกัน 5 สภาวะ ดังนี้

2.1.7.1 บัสว่าง (Bus not busy) สภาวะนี้เกิดขึ้นเมื่อสถานะลอจิกบนสายส่งข้อมูลอนุกรมและสายสัญญาณนาฬิกาอนุกรมเป็นลอจิกสูงทั้งคู่ นั่นหมายความว่า การถ่ายทอดข้อมูลสามารถเริ่มต้นขึ้นได้

2.1.7.2 เริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูล (start data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสายส่งข้อมูลอนุกรมมีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจากสูงไปต่ำ ในขณะที่สายสัญญาณนาฬิกาอนุกรม มีสถานะลอจิกสูง เรียกสภาวะที่เกิดขึ้นนี้ว่า *สภาวะเริ่มต้น (START)*

2.1.7.3 หยุดการถ่ายทอดข้อมูล (stop data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสายส่งข้อมูลอนุกรมมีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจากต่ำไปสูง ในขณะที่สายสัญญาณนาฬิกาอนุกรม มีสถานะลอจิกสูง เรียกสภาวะที่เกิดขึ้นนี้ว่า *สภาวะหยุด (STOP)*

2.1.7.4 ข้อมูลดำรงอยู่บนบัส (data valid) สภาวะนี้เกิดขึ้นถัดจากสภาวะเริ่มต้น โดยสถานะลอจิกที่เกิดขึ้นบนสายส่งข้อมูลอนุกรมก็คือสายข้อมูลที่ทำการถ่ายทอด เมื่อสายสัญญาณนาฬิกาอนุกรมเป็นลอจิกสูง สถานะที่สายส่งข้อมูลอนุกรมต้องคงที่ เพื่อให้อุปกรณ์รับรู้ข้อมูลในจังหวะนั้นว่า เป็น “0” หรือ “1” ข้อมูลอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ในขณะที่สายสัญญาณนาฬิกาอนุกรมเป็นลอจิกต่ำ แต่เมื่อใดก็ตามที่ต้องการให้เกิดการถ่ายทอดข้อมูลอย่างสมบูรณ์ สภาวะลอจิกที่ขา SDA ต้องคงที่ตลอดช่วงเวลาที่ยาสัญญาณนาฬิกาอนุกรมมีสถานะลอจิกสูง หากเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะลอจิกในขณะที่สายสัญญาณนาฬิกาอนุกรมมีสถานะลอจิกสูงอยู่นั้น อุปกรณ์มาสเตอร์ที่ทำการควบคุมการถ่ายทอดข้อมูลจะแปลความหมายเป็นสภาวะหยุดหรือสภาวะเริ่มต้นก็ได้ ทำให้ข้อมูลที่ทำการถ่ายตานั้นเกิดความผิดพลาดขึ้น

2.1.7.5 รับรู้ข้อมูล (acknowledge) เกิดขึ้นหลังจากที่การถ่ายทอดข้อมูลจากตัวส่งมายังตัวรับเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ โดยตัวส่งจะทำการส่งข้อมูลมา 1 บิตเรียกว่า *บิตรับรู้ (acknowledge bit)* มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

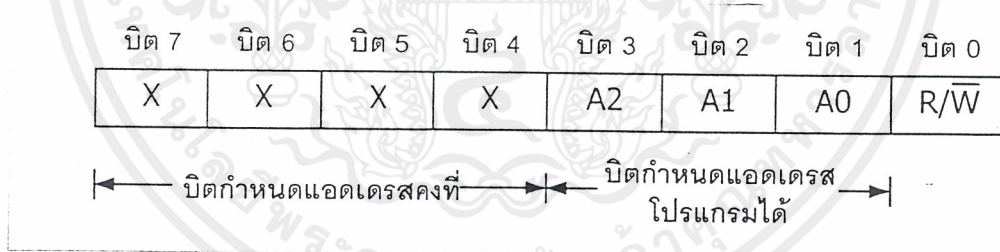
สถานะเป็นลอจิกสูง หลังจากข้อมูลมาครบถ้วน ส่วนอุปกรณ์มาสเตอร์จะทำการส่งสัญญาณรับรู้พิเศษซึ่งสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกา เพื่อตอบสนองกับบิตรับรู้ที่ส่งมาจากตัวส่ง ทางด้านตัวรับจะรับรู้ที่มีสถานะลอจิกต่ำลงบนบัส อุปกรณ์สเลฟที่ถูกอ้างถึงในการติดต่อหรือกำลังติดต่ออยู่ในขณะนั้นก็จะกำเนิดบิตรับรู้เพื่อตอบสนองให้ทราบว่าได้รับข้อมูลในแต่ละไบต์เรียบร้อยแล้ว

ในรูปที่ 2.1.10 เป็นไดอะแกรมเวลาที่แสดงถึงการเกิดสถานะต่างๆ บนบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีไม่ว่าจะเป็นสถานะบัสว่าง, เริ่มต้น, ถ่ายทอดข้อมูล, รับรู้ และหยุดการถ่ายทอดข้อมูล

2.1.8 การทำงานบนบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี

ก่อนที่จะเริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ต่างๆ ที่ต่อบนบัสต้องมีการอ้างถึงเสียก่อน โดยการอ้างถึงอุปกรณ์บนบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีนั้นจะใช้อ้างถึงแบบ 7 บิต หรือ 10 บิต ในกรณีที่มีอุปกรณ์ต่อบนบัสไม่มากใช้การอ้างถึงแบบ 7 บิตก็เพียงพอ แต่ถ้ามีอุปกรณ์ต่อบนบัสมากกว่า 127 แอดเดรส จำเป็นต้องใช้การอ้างถึงแบบ 10 บิต หลังจากติดต่อกับอุปกรณ์แต่ละตัวได้เรียบร้อยแล้วก็จะเริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูลกันต่อไป

ดังนั้นหัวใจสำคัญในอันดับแรกของการทำงานบนบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี คือ การอ้างถึงอุปกรณ์แต่ละตัวต่อไปนี้จะอธิบายละเอียดถึงการอ้างถึงทั้ง 2 รูปแบบ



รูปที่ 2.1.11 รูปแสดงของข้อมูลกำหนดแอดเดรสของอุปกรณ์บนระบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี

2.1.8.1 การอ้างถึงแบบ 7 บิต (7-bit addressing)

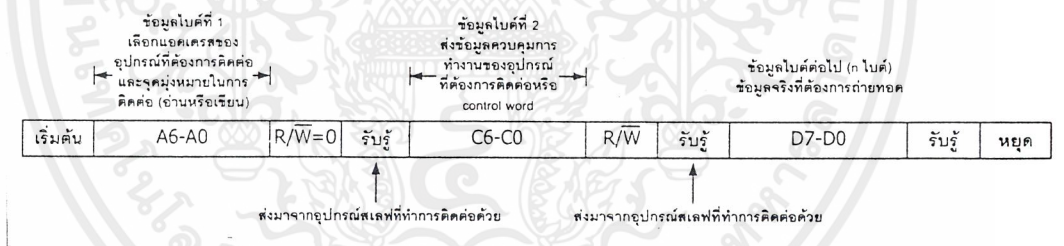
ข้อมูลไบต์แรกที่เกิดขึ้นหลังจากสถานะเริ่มต้น คือ ข้อมูลที่ใช้ในการอ้างถึงอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อหรือ ข้อมูลกำหนดแอดเดรส โดยมีรูปแสดงในรูปที่ 2.1.11 ใน 7 บิตบนรวมทั้งบิต MSB ด้วยจะเป็นข้อมูลแอดเดรสของอุปกรณ์สเลฟที่ต้องการติดต่อ โดยแบ่งเป็นบิตกำหนดแอดเดรสคงที่ (fix address bit) จำนวน 4 บิต ซึ่งข้อมูลนี้อุปกรณ์แต่ละตัวจะถูกกำหนดมาจากผู้ผลิต ไม่

สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ ถัดมาอีก 3 บิตเป็นบิตแอดเดรสที่สามารถโปรแกรมได้ (programmable address bit) โดยผู้ใช้งานต้องกำหนดสถานะลอจิกให้แก่ขา A0-A2 ของอุปกรณ์ที่มีการเชื่อมต่อแบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีส่วนในบิต LSB เป็นบิตใช้กำหนดการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับอุปกรณ์สเลฟตัวนั้นๆ หากบิต LSB เป็น “0” หมายถึงต้องการเขียนข้อมูลไปยังอุปกรณ์นั้น ถ้าเป็น “1” จะเป็นการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์สเลฟ

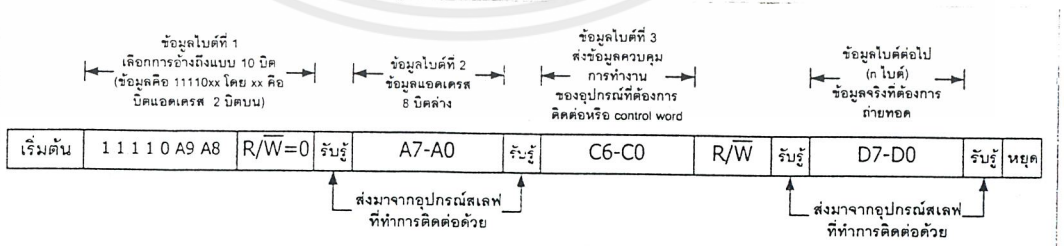
ข้อมูลในไบต์ต่อมาคือ ข้อมูลควบคุม (control byte) ในอุปกรณ์แต่ละตัวมีการกำหนดข้อมูลควบคุมที่แตกต่างกันไป ยกตัวอย่าง ไอซีขยายพอร์ตมีข้อมูลควบคุมที่ใช้กำหนดว่า บิตใดเป็นอินพุต ในขณะที่ใช้ไอซี ADC/DAC ต้องการข้อมูลควบคุมเพื่อกำหนดให้ทำงานเป็นวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลและวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอะนาลอก เป็นต้น

ข้อมูลในไบต์ต่อมาคือ ข้อมูลที่มีการถ่ายทอดจริง

หลังจากที่มีการถ่ายทอดข้อมูลในแต่ละไบต์ อุปกรณ์สเลฟที่ได้รับการติดต่อต้องส่งสัญญาณรับผู้ตอบกลับมาด้วยทุกครั้ง เพื่อให้ขบวนการถ่ายทอดข้อมูลสามารถดำเนินต่อไปได้ ในรูปที่ 2.1.12 แสดงรูปแบบข้อมูลอนุกรมที่เกิดขึ้นในการติดต่อบนบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีของการอ้างอิงแบบ 7 บิต



รูปที่ 2.1.12 รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการอ้างอิงแบบ 7 บิตของระบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี



รูปที่ 2.1.13 รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการอ้างอิงแบบ 10 บิตของระบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี

2.1.8.2 การอ้างอิงแบบ 10 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการอ้างอิงนี้ ยังคงใช้รูปแบบข้อมูลอนุกรมที่เหมือนกับแบบ 7 บิต หากแต่จะมีข้อมูลเพิ่มเติมขึ้นมาเล็กน้อย โดยในข้อมูล ไบต์แรกหลังจากเกิดสถานะเริ่มต้น ต้องกำหนดให้ 5 บิตบนมีข้อมูลเป็น 11110 ส่วนอีก 2 บิตถัดมาเป็นบิตแอดเดรสของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อ ในบิต LSB ของข้อมูลไบต์แรกยังคงเป็นการกำหนดว่า ต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับอุปกรณ์สเลฟตัวที่ต้องการติดต่อด้วย ข้อมูลไบต์ต่อมาเป็นข้อมูลแอดเดรสในไบต์ที่ 2 ของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อด้วย ข้อมูลไบต์ถัดไปจึงเป็นข้อมูลควบคุม ข้อมูลหลังจากนั้นก็จะเป็นข้อมูลจริงที่ใช้ในการติดต่อ

เช่นเดียวกับการอ้างอิงแบบ 7 บิต หลังจากถ่ายถอดข้อมูลครบทุกไบต์ ต้องมีสถานะรับรู้เกิดขึ้น เพื่อให้กระบวนการถ่ายถอดข้อมูลสามารถดำเนินต่อไปได้ ในรูปที่ 2.1.13 แสดงรูปแบบข้อมูลอนุกรมของการอ้างอิงแบบ 10 บิต

2.1.9 อุปกรณ์ที่ใช้การเชื่อมต่อแบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี

ในปัจจุบันบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ด้วยข้อดีที่ชัดเจนคือ ใช้สายสัญญาณเพียง 2 เส้นเท่านั้น และการขยายระบบควบคุมที่มีจำนวนอินพุตเอาต์พุต และหน่วยความจำจำกัดสามารถทำได้ง่ายขึ้นด้วยระบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี เมื่อเป็นเช่นนี้จึงมีอุปกรณ์ต่อรวมที่ใช้การเชื่อมต่อแบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่าง ไอซีเกิดขึ้นมากมายจากหลายผู้ผลิต ดังมีตัวอย่างต่อไปนี้

2.1.9.1 ไอซีขยายพอร์ตอินพุตเอาต์พุต (I/O expander) : PCF8574, PCF8582, PCF8584

2.1.9.2 ไอซีหน่วยความจำอีพรอมอนุกรม (Serial EEPROM) : 24Cxx, PCF8570, PCF72/73, PCF8582

2.1.9.3 ไอซี ADC/DAC : PCF 8591

2.1.9.4 ไอซี รีลไทม์คล็อก (Real-time clock: RTC) : PCF8583, PCF8593, PCF8598, 41C56C

2.1.9.5 ไอซี LCD โมดูล (LCD driver) : PCF8466, PCF8576, PCF8577/78, PCF8579

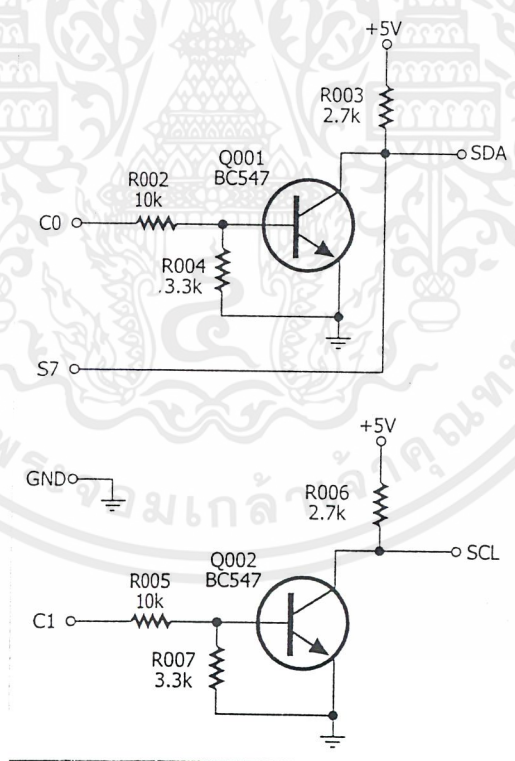
2.1.9.6 ไอซีกำเนิดสัญญาณ DTMF (DTMF generator) : PCD3311/12

2.1.10 การต่ออุปกรณ์ระบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีกับพอร์ตขนานผ่านบอร์ดเชื่อมต่อกับพอร์ตขนาน

เพื่อให้สายสัญญาณของพอร์ตขนานสามารถติดต่อกับอุปกรณ์ที่มีการเชื่อมต่อเป็นบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีจะต้องสร้างวงจรเชื่อมต่อขนาดเล็กขึ้นมาเพื่อให้เอาต์พุตที่จะติดต่อด้วย เป็นแบบคอลเล็กเตอร์เปิด

ทรานซิสเตอร์ Q001 และ Q002 ได้รับการจัดวงจรให้มีลักษณะเป็นวงจรมอเตอร์แบบคอลเล็กเตอร์เปิดตามข้อกำหนดของวงจรเอาต์พุตของบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีโดย Q001 ใช้สำหรับถ่ายทอดสัญญาณของสายส่งข้อมูลอนุกรมในขณะที่ Q002 ทำหน้าที่ถ่ายทอดสัญญาณของสายสัญญาณนาฬิกาอนุกรมไฟเลี้ยงของวงจรคือ +5 โวลต์ จึงสามารถใช้ทรานซิสเตอร์ NPN แบบมาตรฐานเบอร์ใดก็ได้ ที่สามารถตอบสนองความถี่สูงสุดถึง 100 กิโลเฮิร์ต

สำหรับพอร์ตเชื่อมต่อพอร์ตขนานที่ใช้ในโครงงานนี้ ได้จัดเตรียมวงจรสำหรับเชื่อมต่อกับอุปกรณ์บนระบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีไว้ด้วยกันแล้ว ข้อมูลของคอมพิวเตอร์จะถ่ายทอดสู่สายส่งข้อมูลอนุกรมของบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีผ่านทางขา C0 และรับข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์ด้วยขา S7 ส่วนสัญญาณนาฬิกาจะถูกส่งออกมาทางขา C1 เพื่อเป็นสายสัญญาณนาฬิกาอนุกรมสำหรับระบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี ซึ่งวงจรในส่วนบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีของบอร์ดเชื่อมต่อพอร์ตขนาน แสดงในรูปที่ 2.1.14



รูปที่ 2.1.14 วงจรเชื่อมต่อกับระบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีของบอร์ดเชื่อมต่อพอร์ตขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.11 การเขียนโปรแกรมเพื่อสร้างสัญญาณต่างๆ สำหรับบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี เพื่อให้ง่ายต่อการเรียกใช้งาน ดังนั้นการติดต่อกับบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี โดยใช้พอร์ตขนานจึงต้องเขียนโปรแกรมย่อยเพื่อสร้างสถานะต่างๆ ของระบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี ดังมีโปรแกรมย่อยตัวอย่างต่อไปนี้

สัญญาณ START

Private Sub I2CStart()

Out &H37A, Inp(&H37A) Or 1

Out &H37A, Inp(&H37A) Or 2

Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFE

Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFD

End Sub

สัญญาณ STOP

Private Sub I2CStop()

Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFE

Out &H37A, Inp(&H37A) Or 2

Out &H37A, Inp(&H37A) Or 1

End Sub

ข้อมูลลอจิก "1"

Private Sub Send1()

Out &H37A, Inp(&H37A) Or 1

Out &H37A, Inp(&H37A) Or 2

Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFD

End Sub

ข้อมูลลอจิก "0"

Private Sub send0()

Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFE

Out &H37A, Inp(&H37A) Or 2

Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFD

End Sub

สัญญาณ Acknowledge

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Private Sub Ack()

Out &H37A, Inp(&H37A) Or 1

Out &H37A, Inp(&H37A) Or 2

Out &H37A, Inp(&H37A) And &HFD

End Sub

เมื่อเวลาใช้งานต้องนำโปรแกรมย่อยต่างๆ เหล่านี้มาต่อเชื่อมกัน ดังแสดงเป็นโปรแกรมย่อยของการส่งข้อมูล 8 บิตได้ดังนี้

โปรแกรมนี้จะวนลูปทั้งสิ้น 8 รอบเพื่อตรวจสอบค่าในบิตต่างๆ ว่าเป็น 0 หรือ 1 จากนั้นเรียกโปรแกรมย่อย Send0 และ Send1 สำหรับส่งข้อมูลลอจิก 0 หรือลอจิก 1 ออกไปยังบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี

2.1.12 การขยายจำนวนพอร์ตอินพุตเอาต์พุตด้วย PCF8574 และ PCF8574A

สำหรับการใช้งานอินพุตเอาต์พุตจำนวนมากนั้น ขาของพอร์ตขนานอาจจะไม่มากพอที่จะนำไปใช้ในการควบคุมโดยตรง จึงจำเป็นต้องต่ออุปกรณ์ภายนอกเพิ่มเติมเพื่อขยายจำนวนพอร์ตอินพุตเอาต์พุต ไอซีขยายพอร์ตผ่านระบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีเบอร์ PCF8574 และ PCF8574A ที่สามารถขยายพอร์ตอินพุตเอาต์พุตได้ตัวละ 8 ช่อง และสามารถต่อพ่วงกันได้มากถึง 8 ตัว ทำให้สามารถต่อพอร์ตอินพุตเอาต์พุตได้มากถึง 64 ช่อง จึงถูกเลือกมาใช้ โดย PCF8574 และ PCF8574A มีการทำงานเหมือนกันทุกประการ ต่างกันเพียงข้อมูลแอดเดสประจำตัวเท่านั้น

ข้อมูลเบื้องต้นของ PCF8574 และ PCF8574A มีดังนี้

2.1.12.1 ทำงานที่ระดับแรงดันตั้งแต่ 2.5 โวลต์ ถึง 6 โวลต์

2.1.12.2 กินกระแสในสถานะสแตนด์บายต่ำเพียง 10 ไมโครแอมป์

2.1.12.3 ใช้การเชื่อมต่อแบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี

2.1.12.4 มีเอาต์พุตอินเทอร์รัปต์แบบเดรนเปิด

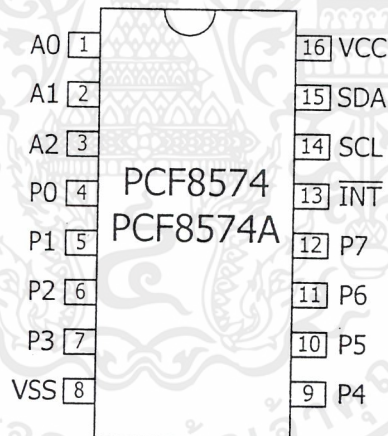
2.1.12.5 เอาต์พุตสามารถแลตซ์ค่าได้ ขับกระแสได้ 100 ไมโครแอมป์ ถ้าต้องการขับ LED โดยตรงต้องต่อตัวต้านทานพูลอัพค่า 4.7 กิโลโอห์ม-10 กิโลโอห์มเข้ากับพอร์ตที่กำหนดให้เป็นเอาต์พุต

2.1.12.6 สามารถกำหนดตำแหน่งแอดเดรสของไอซีทางฮาร์ดแวร์ด้วยขา A0-A2 ทำให้สามารถต่อพ่วงกันได้ถึง 8 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดขาของไอซี PCF8574/8574A แสดงในรูปที่ 2.1.14 หน้าี่การทำงานของแต่ละขาแสดงในตารางที่ 2.1.3 ขาพอร์ตทั้ง 8 ขาของ PCF8574A สามารถกำหนดให้เป็นอินพุตหรือเอาต์พุตได้โดยอิสระ ลักษณะวงจรภายในของพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแสดงในรูปที่ 2.1.15 เมื่อจ่ายไฟให้กับ PCF8574 และ PCF8574A ครั้งแรกขาพอร์ตทั้ง 8 ขาจะมีลอจิกเป็น “1” ซึ่งจะเป็นการจ่ายกระแสมาจากแหล่งจ่ายกระแสที่ภายในตัวไอซี ทำให้มีกระแสในขณะลอจิก “1” นี้เพียง 100 ไมโครแอมป์เท่านั้น ในกรณีที่ต้องการให้มีการจ่ายกระแสสูงๆ จำเป็นต้องต่อตัวต้านทานพูลอ์ปเอาไว้ที่ขาพอร์ตเหล่านี้ด้วย

เมื่อต้องการให้ขาพอร์ตเหล่านี้ทำหน้าที่เป็น อินพุตจะต้องส่งสัญญาณให้ขาเหล่านี้มีลอจิก “1” เสียก่อน เมื่อขาอินพุตได้รับสัญญาณจากภายนอกป้อนเข้ามา ไอซี PCF8574A จะสร้างสัญญาณอินเทอร์รัปต์ (INT) ป้อนให้คอมพิวเตอร์รับรู้แทนการต้องคอยตรวจสอบขาอินพุตอยู่ตลอดเวลา สัญญาณอินเทอร์รัปต์นี้จะถูกรีเซตเมื่อมีการอ่านค่าข้อมูลหรือมีการเปลี่ยนค่าของอินพุตไปสู่ค่าเดิม

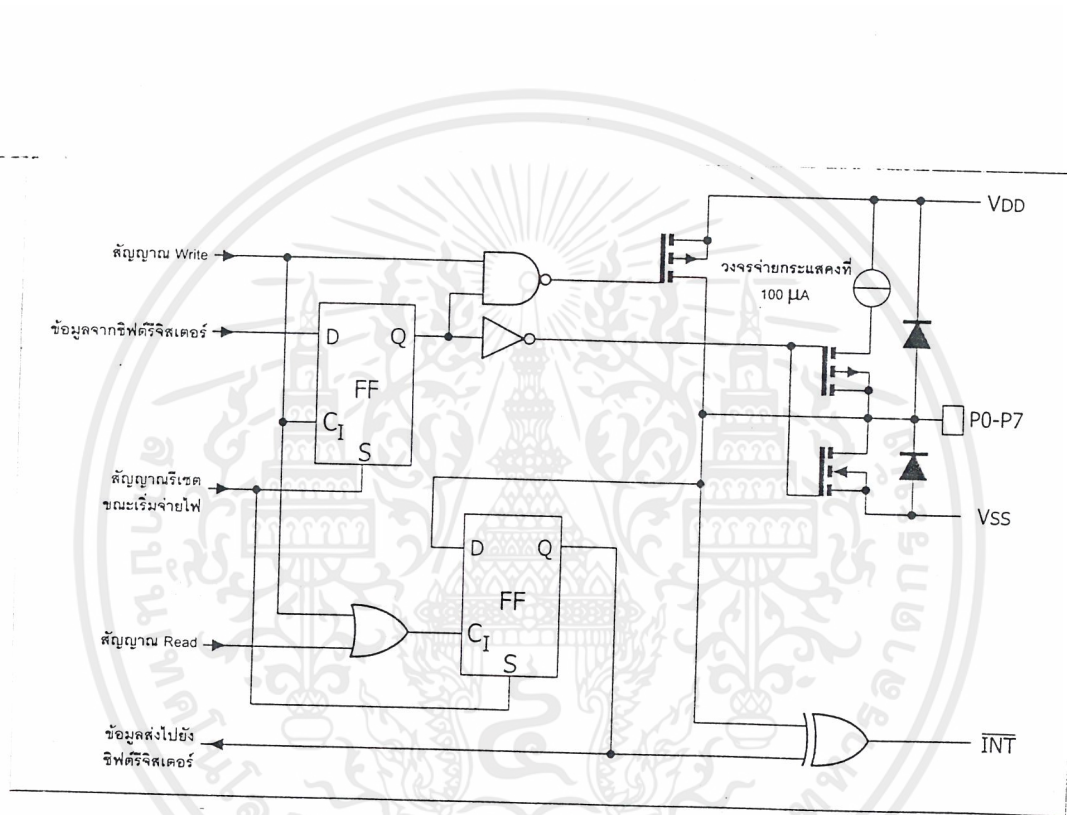


รูปที่ 2.1.15 การจัดขาของ PCF8574/8574A

ชื่อ	ตำแหน่งขา	หน้าที่
A0	1	อินพุตแอสแตเบิลตัวที่ 1
A1	2	อินพุตแอสแตเบิลตัวที่ 2
A2	3	อินพุตแอสแตเบิลตัวที่ 3
P0	4	พอร์ตอินพุตเอาต์พุต 2 ทิศทางบิต 0
P1	5	พอร์ตอินพุตเอาต์พุต 2 ทิศทางบิต 1
P2	6	พอร์ตอินพุตเอาต์พุต 2 ทิศทางบิต 2
P3	7	พอร์ตอินพุตเอาต์พุต 2 ทิศทางบิต 3
VSS	8	กราวด์
P4	9	พอร์ตอินพุตเอาต์พุต 2 ทิศทางบิต 4
P5	10	พอร์ตอินพุตเอาต์พุต 2 ทิศทางบิต 5
P6	11	พอร์ตอินพุตเอาต์พุต 2 ทิศทางบิต 6
P7	12	พอร์ตอินพุตเอาต์พุต 2 ทิศทางบิต 7
INT	13	ขาเอาต์พุตอินเตอร์รัปต์(ทำงานที่ลอจิก 0)
SCL	14	ขาสัญญาณนาฬิกาสำหรับ I ² C บัส
SDA	15	ขาข้อมูลสำหรับ I ² C บัส
VDD	16	ไฟเลี้ยง

ตารางที่ 2.1.3 แสดงหน้าที่ของขาต่อใช้งาน ไอซีเบอร์ PCF8574/8574A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1.16 รายละเอียดวงจรขาพอร์ตของไอซี PCF8574/8574A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.13 การเขียนโปรแกรมควบคุม PCF8574A ด้วยวิซวลเบสิก

เนื่องจาก PCF8574 และ PCF8574A มีการเชื่อมต่อเป็นแบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี ดังนั้นการติดต่อจึงต้องอ้างถึงโปรแกรมน้อยดังกล่าวไปแล้วในตอนต้น โดยจะต้องส่งข้อมูลแอดเดรสเพื่อติดต่อกับ PCF8574A ดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
0	1	1	1	A2	A1	A0	R/W

----- ในกรณีติดต่อกับ PCF8574 ต้องส่งข้อมูลดังนี้

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
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 จะให้สามารถขยายพอร์ตอินพุตเอาต์พุตได้มากถึง 128 จุด โดยการใช้ PCF8574 ร่วมกับ PCF8574A

ตัวอย่างโปรแกรมย่อย Sendout แสดงให้เห็นถึงการส่งค่าไปยังเอาต์พุตของ PCF8574A โดยมีลำดับขั้นตอนดังนี้

2.1.13.1 ส่งสัญญาณสตาร์ท (START)

2.1.13.2 ส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรสโดยในที่นี้จะกำหนดแอดเดรสของ PCF8574A ไว้ที่ 000 (ขา A0, A1, A2 ต่อดึงกราวด์ทั้งหมด) และให้ทำงานในโหมดเขียนข้อมูล โดยการป้อนลอจิก "0" ให้แก่บิต R/W

2.1.13.3 รอรับสัญญาณแเอคหรือรอรับการตอบกลับจาก OCF8574A

2.1.13.4 ส่งข้อมูลไปยังเอาต์พุตของ PCF8574A โดยการกำหนดค่าไปยังตัวแปร B

2.1.13.5 รอรับสัญญาณแเอคอีกครั้ง

2.1.13.6 ส่งสัญญาณสตอป (STOP)

โปรแกรมย่อย Sendout เพื่อส่งข้อมูล 8 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Private Sub Sendout (B As Integer)

Call I2Cstart	'Start
Call Send8BIT(&H70)	'Send Address Word
Call Ack	'Acknowledge
Call Send8BIT (B)	'Send Data
Call Ack	'Acknowledge
Call I2Cstop	'Stop

End Sub

ถ้าไอซีที่ใช้เป็นเบอร์ PCF8574 จะต้องเปลี่ยนแปลงค่าในบรรทัด Call Send8BIT (&H70) เป็น Call Send8BIT (&H40) แทน เนื่องจากข้อมูลกำหนดแอดเดรสคนละตำแหน่งกัน

2.1.14 การเชื่อมต่อกับสัญญาณอะนาลอกของพอร์ตขนานผ่านระบบบัลเบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี

ปกติแล้วข้อมูลในการติดต่อกับพอร์ตขนานของคอมพิวเตอร์นั้นจะเป็นสัญญาณดิจิทัลทั้งสิ้น แต่เมื่อนำมาเชื่อมกับอุปกรณ์ภายนอกแล้ว ย่อมต้องเชื่อมต่อและประมวลผลกับสัญญาณอะนาลอกด้วย ในการเชื่อมต่อกับสัญญาณอะนาลอกต้องใช้ไอซีพิเศษที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลหรือที่เรียกว่า ไอซี ADC (Analog to Digital Converter) ซึ่งจะใช้เชื่อมต่อกับพอร์ตขนาน เพื่อให้พอร์ตขนานสามารถอ่านค่าสัญญาณอะนาลอกจากภายนอกเข้ามาประมวลผลได้ โดยใช้ไอซีเบอร์ PCF8591 ซึ่งมีรูปแบบการเชื่อมต่อแบบบัลเบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี

2.1.15 ข้อมูลเบื้องต้นของ PCF8591

PCF8591 เป็นไอซีทำหน้าที่แปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลและแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอกในตัวเดียวกัน เป็นผลงานของฟิลิปส์ เซมิคอนดักเตอร์ ผู้พัฒนาระบบบัลเบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีนั่นเอง ด้วยความสามารถที่รวมเอาวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัลและวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอกเข้าไว้ในไอซีเพียงตัวเดียว ทำให้สามารถนำ PCF8591 ไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง โดยคุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญของ PCF8591 มีดังนี้

2.1.15.1 ทำงานด้วยความละเอียดของข้อมูลดิจิทัลขนาด 8 บิต

2.1.15.2 มีวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัล (ADC) ขนาด 8 บิต 4 ช่อง

2.1.15.3 มีวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอก (DAC) ขนาด 8 บิต 1 ช่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.15.4 ทำงานโดยใช้แหล่งจ่ายไฟชุดเดียว ตั้งแต่ 2.5-6 โวลต์

2.1.15.5 กินกระแสไฟฟ้าขณะอยู่ในสภาวะสแตนด์บายต่ำ

2.1.15.6 ติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านระบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี

2.1.15.7 สามารถเลือกตำแหน่งแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์จากขา A0, A1, A2 ทำให้สามารถต่อพ่วงกันได้สูงสุดถึง 8 ตัว จึงขยายจำนวนช่องอินพุตของสัญญาณอะนาล็อกได้สูงสุดถึง 32 ช่อง และช่องเอาต์พุตของสัญญาณอะนาล็อกจากวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาล็อกสูงสุดถึง 8 ช่อง

2.1.15.8 อัตราการสุ่มข้อมูล (sampling) ขึ้นอยู่กับความเร็วของสัญญาณนาฬิกาบนบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี

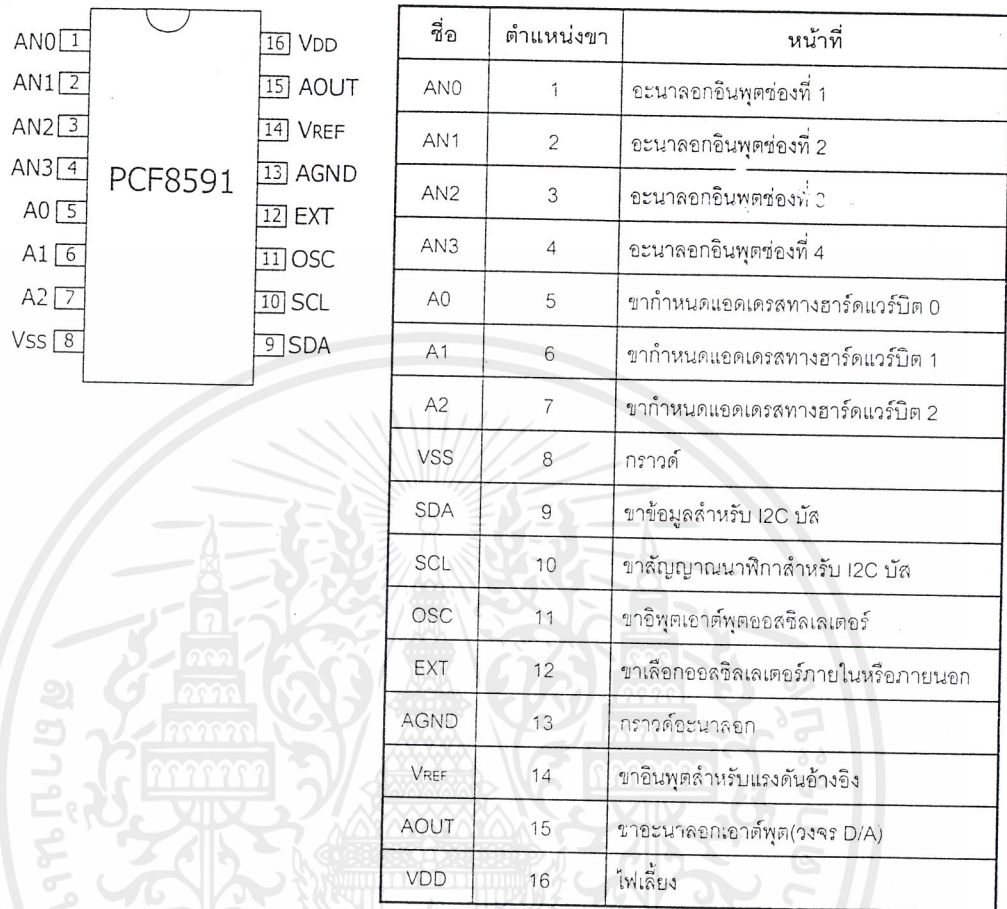
2.1.15.9 วงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัล (ADC) สามารถเลือกการทำงานเป็นแบบแยกช่องหรือทำงานเป็นวงจรดิฟเฟอเรนเชียลได้ ในกรณีที่กำหนดเป็นดิฟเฟอเรนเชียล จำนวนช่องอินพุตจะลดลงเหลือ 2 ช่อง

2.1.15.10 การอ่านค่าสามารถกำหนดให้เลื่อนช่องอินพุตโดยอัตโนมัติได้

2.1.15.11 สามารถรับสัญญาณอะนาล็อกระดับแรงดันตั้งแต่ V_{ss} ไปจนถึง V_{cc}

2.1.15.12 วงจรแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัลเป็นแบบซิกเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชัน PCF8591 สามารถทำหน้าที่เป็น ไอซีแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 8 บิต 4 ช่อง และทำหน้าที่เป็นไอซีแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาล็อกได้ในเวลาเดียวกัน ด้วยการควบคุมผ่านระบบบัส I2C ทำให้สามารถต่อพ่วง ไอซี PCF8591 ได้สูงสุดถึง 8 ตัว รองรับการอ่านค่าสัญญาณอะนาล็อกอินพุตได้สูงสุดถึง 32 ช่อง และสามารถส่งสัญญาณอะนาล็อกเอาต์พุตสูงสุดได้ถึง 8 ช่อง ด้วยการกำหนดแอดเดรสจากขา A0, A1 และ A2 การจัดขาและรายละเอียดตำแหน่งขาของ PCF8591 แสดงในรูปที่ 2.1.16

รายละเอียดฟังก์ชันต่างๆของ PCF8591



รูปที่ 2.1.17 การจัดขาและตารางชื่อขาสัญญาณของ PCF8591

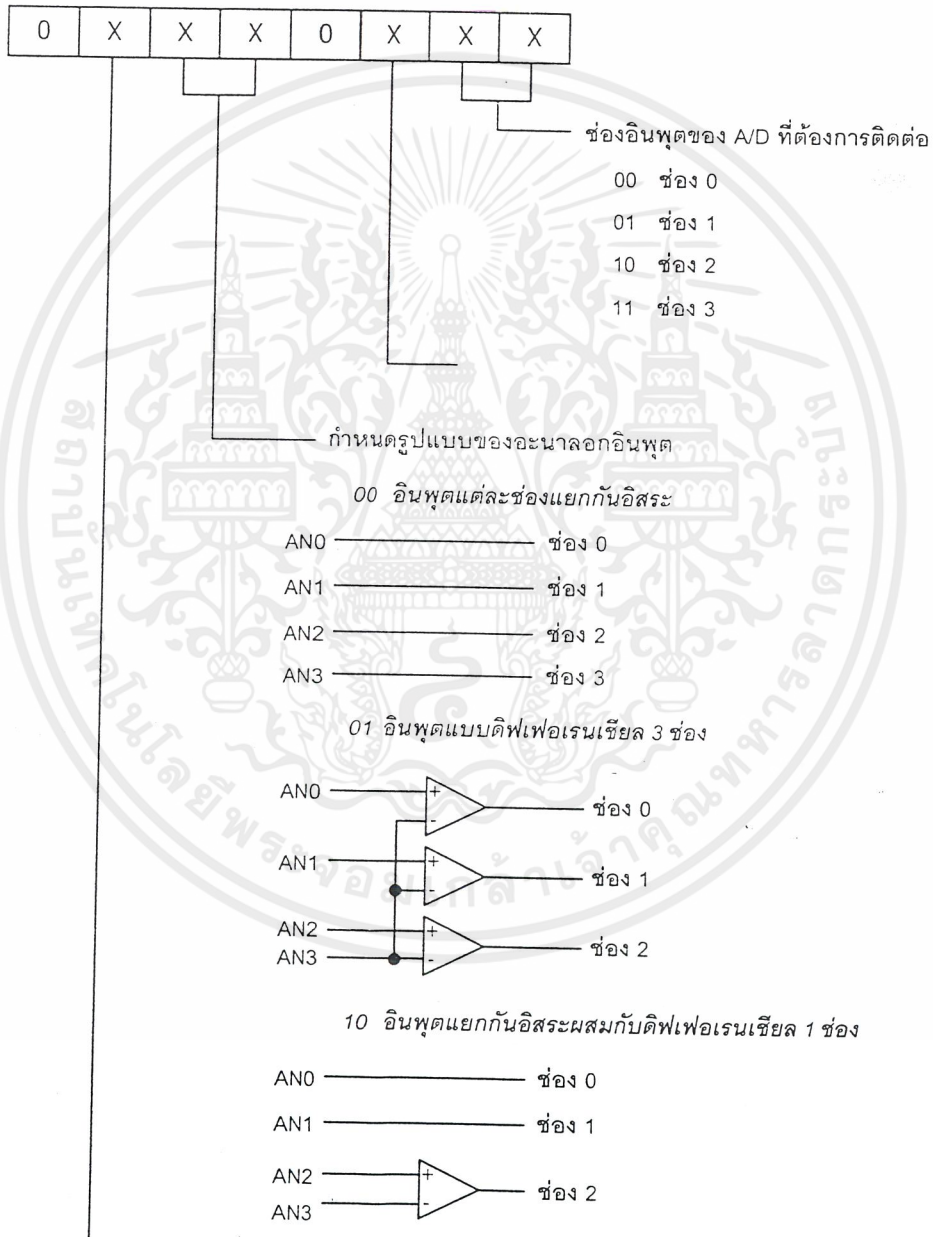
2.1.16 ตำแหน่งแอดเดรสของ PCF8591

ในระบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี การติดต่อกับอุปกรณ์แต่ละตัวต้องระบุแอดเดรสของอุปกรณ์เหล่านั้นอย่างชัดเจน ถ้าเป็นการอ้างอิงแบบ 7 บิต ข้อมูลกำหนดแอดเดรส 4 บิตบนจะเป็นค่าแอดเดรสเฉพาะของอุปกรณ์นั้นๆ ที่กำหนดมาจากผู้ผลิต ผู้ใช้งานไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ สำหรับไอซี PCF8591 จะมีค่าเท่ากับ 1001 (ฐานสอง) ข้อมูล 3 บิตถัดมาจะเป็นค่าของแอดเดรสที่ผู้ใช้งานสามารถกำหนดได้ทางฮาร์ดแวร์เพื่อเลือกไอซี PCF8591 ที่ต้องการติดต่อกับในกรณีที่มีการต่อใช้งาน PCF8591 มากกว่า 1 ตัว ส่วนบิต LSB ใช้ในการกำหนดว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับไอซีตัวนั้นๆ โดยมีรูปแบบการกำหนดค่าดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการ อ่านข้อมูลจากชิปที่กำหนดแอดเดรสไว้เป็น 000 จะต้องป้อนข้อมูลแอดเดรสเท่ากับ &H91 เป็นต้น

2.1.16.1 ข้อมูลควบคุมหลังจากส่งข้อมูลกำหนดให้แก่แอดเดรส PCF8591 แล้ว ต้องส่งข้อมูลควบคุมตามไปด้วยเพื่อกำหนดคุณสมบัติของวงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิตอลและวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอะนาลอกภายใน PCF8591 โดยมีรายละเอียดของข้อมูลในแต่ละบิตดังในรูปที่ 2.1.18



รูปที่ 2.1.18 รายละเอียดข้อมูลควบคุมการทำงานของ PCF8591

บิต 6 ของข้อมูลควบคุมใช้สำหรับการอินาเบิลขาอะนาล็อกเอาต์พุต เมื่อต้องการอินาเบิลต้องกำหนดให้บิตนี้เป็น “1”

บิต 4 และบิต 5 ของข้อมูลควบคุมใช้สำหรับการกำหนดรูปแบบของสัญญาณอะนาล็อกอินพุตที่ป้อนให้แก่ PCF8591

บิต 2 ใช้สำหรับเลือกรูปแบบการอ่านข้อมูลจากขาอินพุตอะนาล็อกว่าจะเป็นการอ่านจากเพียงอินพุตเดียวหรืออ่านแบบเรียงลำดับทุกอินพุต ถ้าต้องการเลือกให้อ่านแบบเรียงลำดับต้องกำหนดให้บิตนี้เป็น “1”

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

ข้อมูลควบคุมทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ควบคุมภายใน PCF8591

เมื่อจ่ายไฟให้แก่ PCF8591 ครั้งแรก บิตต่างๆ ข้อมูลภายในรีจิสเตอร์ควบคุมจะถูกกำหนดให้เป็น “0”

2.1.17 ออสซิลเลเตอร์

วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน PCF8591 จะสร้างสัญญาณนาฬิกาสำหรับการแปลงสัญญาณอะนาล็อกเป็นดิจิทัล เมื่อต้องการใช้วงจรออสซิลเลเตอร์ภายใน ขา EXT ต้องต่อลงกราวด์ ถ้าต้องการใช้ออสซิลเลเตอร์จากภายนอกขา EXT ต้องต่อเข้ากับไฟบวก แล้วป้อนสัญญาณนาฬิกาเข้าที่ขา OSC ของ PCF8591 โดยความถี่ของสัญญาณนาฬิกาสูงสุดที่ป้อนให้กับออสซิลเลเตอร์เท่ากับ 1.25 เมกกะเฮิร์ต

2.2 โครงสร้างของระบบ

สามารถแบ่งโครงสร้างของระบบออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

2.2.1 ส่วนตรวจจับ (Sensor)

2.2.2 หน่วยประมวลผลกลางและควบคุม

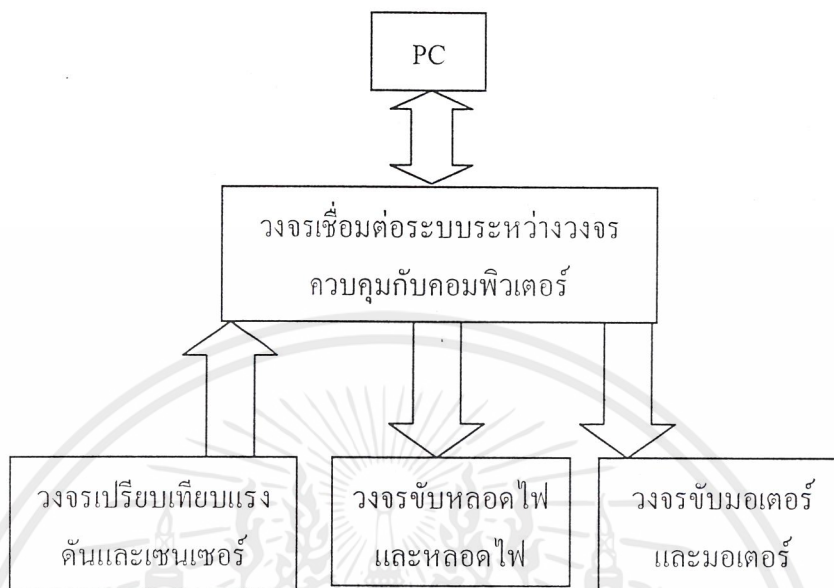
ได้แก่คอมพิวเตอร์และการ์ดอินเตอร์เฟซที่ออกแบบขึ้นเพื่อใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของรถบนราง

2.2.3 วงจรขับมอเตอร์

เป็นวงจรที่ควบคุมการหมุนของมอเตอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำให้รถซึ่งวิ่งอยู่บนราง ซึ่งรายละเอียดของวงจรขับมอเตอร์และโครงสร้างจะกล่าวต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.4 วงจรขับหลอดไฟ



รูปที่ 2.2.1 แสดงโครงสร้างของระบบ

2.3 หลักการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง (DC Motor)

มอเตอร์กระแสตรงเป็นทรานควอเตอร์แรงบิด ซึ่งมีการออกแบบให้มีคุณลักษณะพิเศษคือ แรงบิดของเพลลาของมอเตอร์กระแสตรงจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสอาเมเจอร์ แรงบิดของเพลลาของมอเตอร์กระแสตรงจะได้จากผลระหว่างสนามแม่เหล็กและขดลวดตัวนำ หลักการนี้แสดงได้ในรูป 2.3.1 ในที่นี้กระแสที่ไหลในขดลวดตัวนำจะสร้างฟิลด์ที่ประกอบด้วยเส้นแรงแม่เหล็ก ϕ และขดลวดตัวนำเหล่านั้นอยู่ห่างจากศูนย์กลางการหมุนเท่ากับ r ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดของเพลลาและกระแสเท่ากับ

$$T = K\phi I \quad (2.3.1)$$

เมื่อ T คือ แรงบิดของเพลลา มีหน่วยเป็น นิวตัน-เมตร

ϕ คือ เส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เวเบอร์

I คือ กระแส มีหน่วยเป็น แอมแปร์

K คือ ค่าคงที่

ดังนั้นแรงบิดของเพลลาจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับผลคูณของเส้นแรงแม่เหล็กและกระแส เมื่อขดลวดตัวนำเคลื่อนที่ในสนามแม่เหล็กก็จะทำให้เกิดโวลต์เตจตกคร่อมตัวมันเอง โวลต์เตจนี้จะ

เป็นสัดส่วนกับความเร็วของมอเตอร์ และด้านการไหลของกระแส ความสัมพันธ์ระหว่างโวลต์เตจย้อนกลับนี้และความเร็วของเพลามอเตอร์คือ

$$E = K\phi\omega \quad (2.3.2)$$

เมื่อ E คือ โวลต์เตจย้อนกลับ emf มีหน่วยเป็น โวลต์

ϕ คือ เส้นแรงแม่เหล็ก มีหน่วยเป็น เวเบอร์

ω คือ ความเร็วเชิงมุมของมอเตอร์ มีหน่วยเป็น เรเดียน/วินาที

สมการ 2.3.1 และ 2.3.2 เป็นสมการที่แสดงถึงหลักการพื้นฐานของมอเตอร์



รูปที่ 2.3.1 แสดงถึงการเกิดแรงบิดในมอเตอร์กระแสตรง

2.3.1 การแยกประเภทของมอเตอร์กระแสตรง

มอเตอร์กระแสตรงสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายประเภท ขึ้นอยู่กับลักษณะและวิธีการสร้างสนามแม่เหล็กของตัวมอเตอร์ และขึ้นอยู่กับพื้นฐานการออกแบบโครงสร้างของอาเมเจอร์ การแบ่งประเภทตามลักษณะการจ่ายสนามแม่เหล็กแยกออกได้เป็น 2 แบบ คือ

2.3.1.1 มอเตอร์กระแสตรงแบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้

2.3.1.2 มอเตอร์กระแสตรงแบบเส้นแรงแม่เหล็กมีค่าคงที่

ถ้าเราจะพิจารณาแยกประเภทตามลักษณะการออกแบบโครงสร้างอาเมเจอร์สามารถแยกได้เป็น 3 แบบคือ

2.3.1.3 มอเตอร์กระแสตรงแบบอาเมเจอร์เป็นแกนเหล็ก

2.3.1.4 มอเตอร์กระแสตรงแบบอาเมเจอร์ที่มีขดลวดพันอยู่บนพื้นผิว

2.3.1.5 มอเตอร์กระแสตรงแบบอาเมเจอร์เป็นขดลวดหมุน

นอกจากนี้ยังมีมอเตอร์กระแสตรงชนิดพิเศษอีกแบบหนึ่งคือ แบบไม่มีแปรงถ่าน (brushless dc motor) ซึ่งมีหลักการทางเทคโนโลยีเหมือนกับมอเตอร์กระแสตรงชนิดแปรงถ่าน ยกเว้นการคอมมิวเตชันกระทำโดยเทคนิคทางอิเล็กทรอนิกส์แทนที่จะกระทำโดยวิธีทางเชิงกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

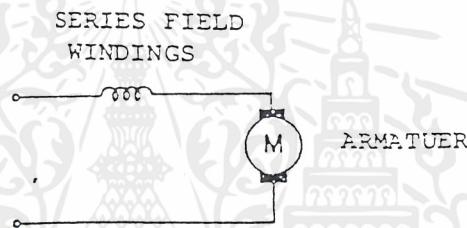
2.3.1.1 มอเตอร์กระแสตรงแบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้

มอเตอร์กระแสตรงแบบปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้ยังแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ

2.3.1.1.1 ขดลวดอาเมเจอร์

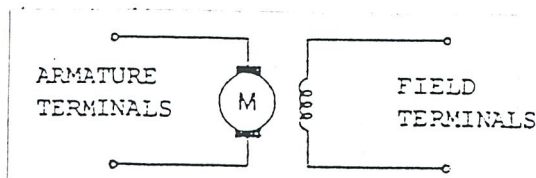
2.3.1.1.2 แบบขดลวดสนามแม่แบบขดลวดสนามแม่เหล็กต่ออนุกรมกับเหล็กแยกกระตุ้น

ตัวอย่างของมอเตอร์แบบขดลวดสนามแม่เหล็กต่ออนุกรมดังแสดงในรูป 2.3.2 มอเตอร์แบบนี้จะมีเส้นแรงแม่เหล็กเป็นสัดส่วนกับกระแส ดังนั้น เส้นแรงของสนามแม่เหล็กจึงสามารถปรับค่าได้ และเราได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วและแรงบิดเป็นนอนลิเนียร์ ดังในรูป 2.3.3 มอเตอร์ต่อดังกล่าวจะใช้งานในภาวะเฉพาะเมื่อต้องการแรงบิดสูงที่ความเร็วต่ำ และแรงบิดต่ำที่ความเร็วสูง เช่น ระบบการขับเคลื่อนของรถลาก



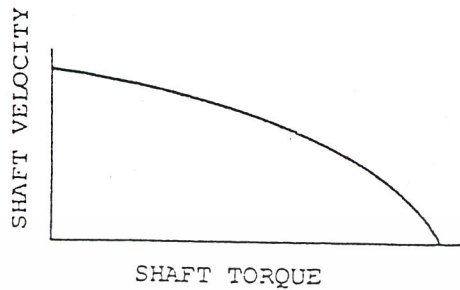
รูปที่ 2.3.2 มอเตอร์กระแสตรงแบบอาร์เมเจอร์ต่ออนุกรมกับขดลวดสนามแม่เหล็ก

มอเตอร์กระแสตรงแบบขดลวดสนามแม่เหล็กกระตุ้นหรือนิยมเรียกกันว่า มอเตอร์ชานาน (shunt motor) มอเตอร์แบบนี้สามารถปรับเส้นแรงแม่เหล็กได้อย่างอิสระต่อกระแสของอาเมเจอร์ ยังผลให้สามารถควบคุมพารามิเตอร์ของมอเตอร์ให้มีค่าคงที่ได้ตลอดช่วงพิสัยที่กว้าง มักจะใช้งานในกรณีระบบบังคับการเคลื่อนที่ต้องการแรงบิดสูง แสดงตัวอย่างของมอเตอร์แบบนี้ได้ดังรูปที่ 2.3.3 คุณสมบัติระหว่างแรงบิดกับความเร็วของชั้นที่มอเตอร์ภายใต้ภาวะการกระตุ้นสนามแม่เหล็กคงที่และอาเมเจอร์โวลต์เตจคงที่แสดงได้ดังรูปที่ 2.3.4



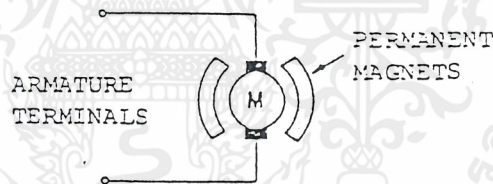
รูปที่ 2.3.3 มอเตอร์กระแสตรงแบบแยกปรับสนามแม่เหล็กได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3.4 แสดงคุณสมบัติระหว่างความเร็วและแรงบิดของชั้นท์มอเตอร์ภายใต้ภาวะอามเจอร์ โวลต์เตจคงที่และการกระตุ้นสนามแม่เหล็กคงที่

2.3.1.2 มอเตอร์กระแสตรงแบบเส้นแรงแม่เหล็กคงที่ ระบบการกระตุ้นฟิลด์ของมอเตอร์ โดยทั่วไปในปัจจุบันมักจะใช้เป็นแบบแม่เหล็กถาวร แสดงดังในรูป 2.3.5



รูปที่ 2.3.5 มอเตอร์กระแสตรงแบบฟิลด์แม่เหล็กถาวร

ในระบบนี้เส้นแรงของฟิลด์มีค่าคงที่ ดังนั้นอัตราส่วนระหว่างกระแสอามเจอร์และแรงบิดจะมีค่าคงที่ ดังนั้นสมการ 2.1 เขียนให้ง่ายขึ้นเป็น

$$T = K_t I$$

และสมการ 2.2 ได้เป็น

$$E = K_c \omega$$

ระบบนี้จะให้ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสอามเจอร์ แรงบิด และความเร็วอยู่ในลักษณะดีเนียร์ สมการทางไฟฟ้าของมอเตอร์กระแสตรงแบบนี้เขียนได้เป็น

$$V = K_c \omega + L di/dt + R_i$$

เมื่อ V คือ โวลต์เตจที่ป้อนให้กับมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

K_c คือ ค่าคงที่ของโวลต์เตจย้อนกลับ

L คือ อินдукแตนซ์ของอาเมเจอร์

R คือ ความต้านทานของขั้วมอเตอร์

สมการไดนามิกของมอเตอร์ คือ

$$T_g = Jd\omega/dt + B\omega + T_f + T_L$$

เมื่อ T_g คือ แรงบิดที่กำเนิดโดยอาเมเจอร์

J คือ ผลรวมของโมเมนต์ของแรงเฉื่อยของมอเตอร์และโหลด

B คือ สัมประสิทธิ์ของวิสคอสแดมพ์ปีง.

T_f คือ แรงบิดเสียดทานภายใน

T_L คือ แรงบิดโหลด

สมการต่าง ๆ ของมอเตอร์แบบแยกกระตุ้นฟิลด์จะเหมือนกับแบบกระตุ้นฟิลด์คงที่ อย่างไรก็ตามข้อดีของมอเตอร์แบบ ฟิลด์แม่เหล็กถาวรซึ่งเหนือกว่าแบบมอเตอร์แบบมีโครงสร้างของฟิลด์ด้วยการพันของขดลวดคือ ไม่มีกำลังสูญเสียในฟิลด์ มีประสิทธิภาพสูงกว่าและมีขนาดเล็กกว่าเมื่อเทียบกับมอเตอร์ที่มีขนาดของกำลังม้าเท่ากัน นอกจากนี้ความสัมพัทธ์เชิงเส้นในสมการ 2.3.1 ยังให้ค่าของกระแสอาเมเจอร์ที่สูงกว่ามอเตอร์กระแสตรงแบบฟิลด์เป็นขดลวดการประยุกต์ใช้งานเหมาะสมกับระบบที่ต้องการแรงบิดของโหลดสูง

2.3.1.3 มอเตอร์กระแสตรงแบบอาเมเจอร์มีขดลวดพันอยู่บนพื้นผิว

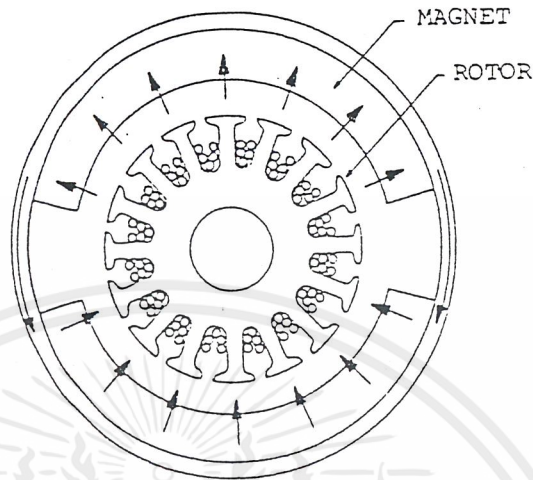
รูปที่ 2.3.6 แสดงถึงการออกแบบของโรเตอร์ที่มีขดลวดพันอยู่บนพื้นผิวโดยไม่มีสลอต (slot) ทำให้ได้อินдукแตนซ์ของโรเตอร์ต่ำกว่าแบบแกนเหล็ก ข้อเสียคือ ทำให้ขนาดของมอเตอร์แบบนี้ใหญ่ขึ้นและราคาแพงกว่าแบบแกนเหล็กด้วย

2.3.1.4 มอเตอร์กระแสตรงแบบอาเมเจอร์เป็นขดลวดหมุน

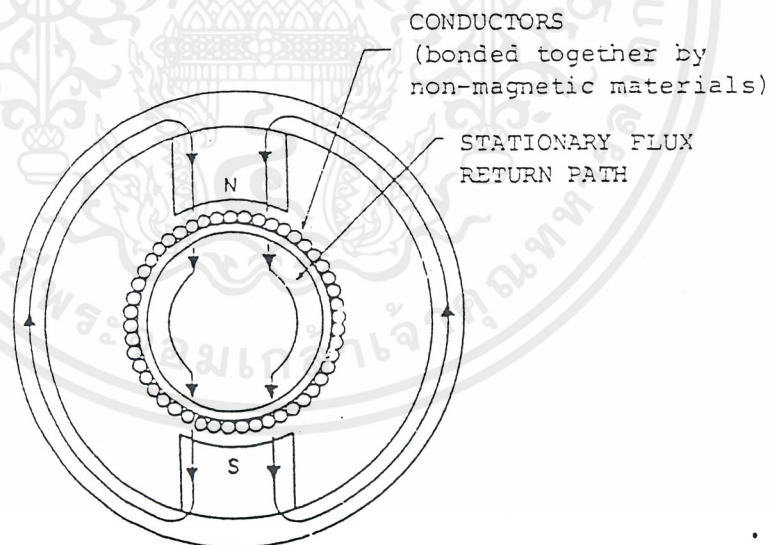
มอเตอร์แบบขดลวดหมุนนี้ได้รับการออกแบบเพื่อให้มีโมเมนต์ของแรงเฉื่อยน้อยมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.3.7 และรูปหน้าตัดซึ่งมองด้านข้างของมอเตอร์ดังกล่าวแสดงในรูป 2.3.8 นอกจากนี้ในรูป 2.3.9 และในรูป 2.3.10 เป็นรูปถ่ายของอาเมเจอร์แบบเป็นขดลวดเคลื่อนที่ และรูปลักษณะโครงสร้างภายนอก

แม่เหล็กมอเตอร์แบบนี้มีช่องว่างอากาศ (air gap) ระหว่างแม่เหล็กมากกว่ามอเตอร์ทั้งสองแบบที่กล่าวมาแล้ว ดังนั้นจำเป็นต้องออกแบบให้โครงสร้างของแม่เหล็กให้ใหญ่ขึ้นเพื่อให้ได้ช่องว่างของอากาศระหว่างเส้นแรงแม่เหล็กที่เท่ากันของมอเตอร์ทั้งสองแบบดังกล่าว ดังนั้นราคาของมอเตอร์แบบนี้จึงมีราคาแพง นอกจากนี้โครงสร้างของโรเตอร์มีความจุความร้อนต่ำมาก ถ้าหาก

เกิดโอเวอร์โหลตก็จะทำให้มอเตอร์เสียได้ง่ายและโรเตอร์ลักษณะนี้จะมีค่าอินดักแตนซ์ต่ำมาก คือ น้อยกว่า 10 ไมโครเฮนรี

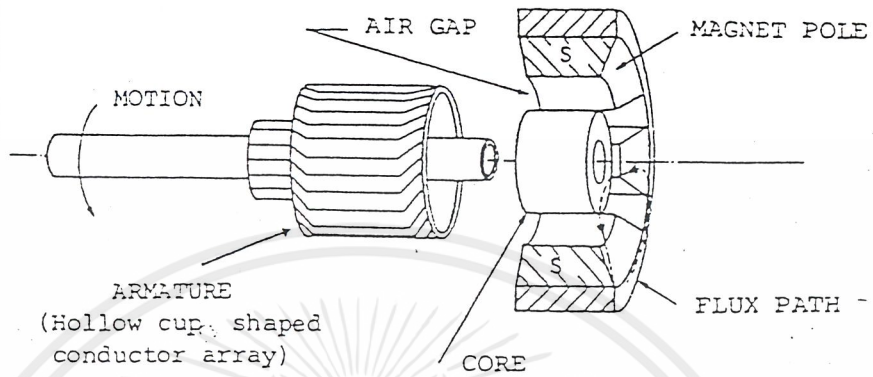


รูปที่ 2.3.6 แสดงรูปหน้าตัดของมอเตอร์กระแสตรงแบบมีขดลวดบนพื้นผิวและฟิลด์เป็นแบบแม่เหล็กถาวร

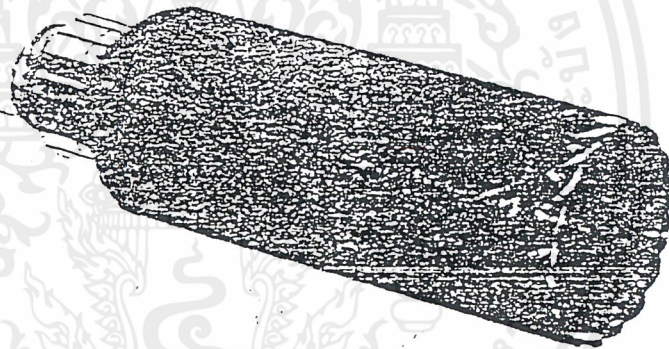


รูปที่ 2.3.7 หน้าตัดมอเตอร์กระแสตรงแบบมีโรเตอร์เป็นขดลวดเคลื่อนที่และฟิลด์ที่เป็นแม่เหล็กถาวร

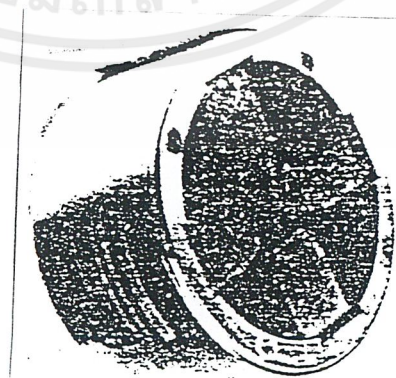
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3.8 รูปหน้าตัดซึ่งมองด้านข้างของมอเตอร์กระแสตรงแบบ โรเตอร์เป็นขดลวดเคลื่อนที่

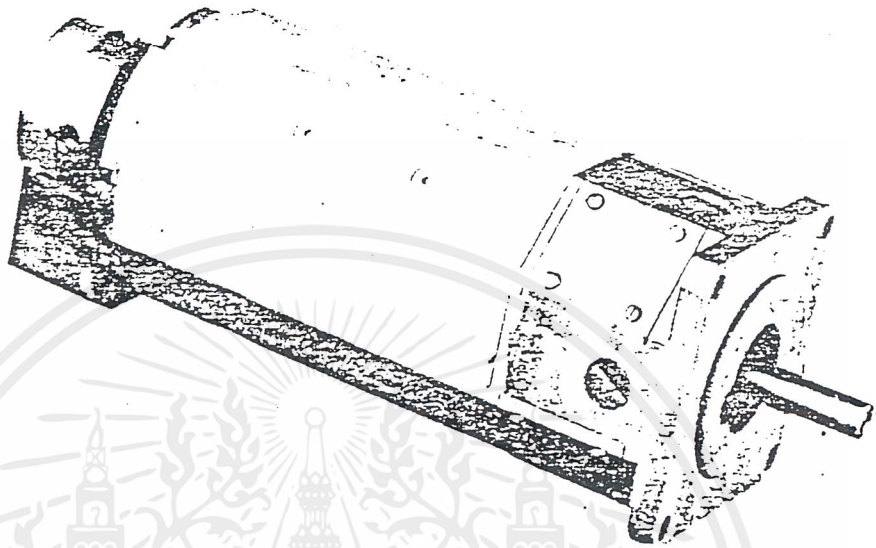


รูปที่ 2.3.9 อาเมเจอร์แบบเป็นขดลวดเคลื่อนที่ซึ่งมีรูปร่างเป็นถ้วยตรงกระบอกและเพลลาเอาต์พุตทำด้วยเซรามิกอลูมิเนียมเพื่อให้ทนต่อแรงดึงสูง

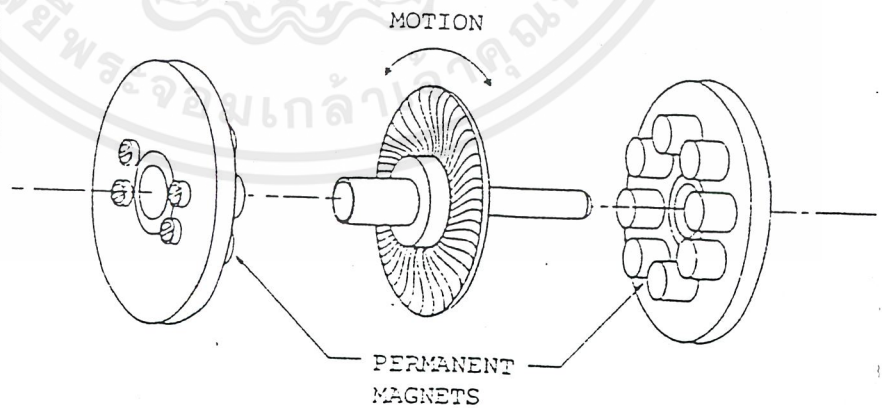


รูปที่ 2.3.10 แสดงรูปร่างและ โครงสร้างแม่เหล็กของมอเตอร์แบบขดลวดเคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3.11 แสดงถึงมอเตอร์กระแสตรงแบบโรเตอร์เป็นขดลวดหมุนมีรูปร่างเป็นจาน



รูปที่ 2.3.12 มอเตอร์กระแสตรงแบบโรเตอร์เป็นขดลวดหมุนชนิดที่ใช้ในงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในรูปที่ 2.3.11 แสดงถึงมอเตอร์แบบขดลวดเคลื่อนที่อีกลักษณะหนึ่งซึ่งมีโครงสร้างของมอเตอร์เป็นรูปร่างจาน ซึ่งทำขึ้นจากขดลวดตัวนำซ้อนกันหลาย ๆ ชั้น ซึ่งเรามักจะเรียกกันว่า “printed motor” ตัวอย่างอีกอันหนึ่งของมอเตอร์แบบขดลวดเคลื่อนที่แสดงในรูป 2.3.12 ซึ่งเป็นมอเตอร์ขนาด 7 แรงม้า ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้งานกับเครื่องมือกลได้ดี สามารถให้แรงบิดได้สูงถึง 100 (ฟุต-ปอนด์)ft-lb และพลังกระแสได้ถึง 800 แอมป์ ในปัจจุบันมอเตอร์กระแสตรงแบบโรเตอร์เป็นขดลวดหมุนนี้ให้คุณสมบัติการทำงานที่ดีเยี่ยม เหมาะสำหรับเป็นตัวขับเคลื่อนในระบบการบังคับตำแหน่งและยังให้อัตราส่วนระหว่างแรงบิดและแรงเฉื่อยได้สูง และมีค่าอินดักแตนซ์ต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับมอเตอร์แบบอื่น ๆ นอกจากนั้นความสามารถในการเพิ่มอัตราเร่งยังกระทำได้สูง 10^6 เรเดียน/วินาที²

2.3.1.5 มอเตอร์กระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่าน

มอเตอร์กระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่านต่างจากมอเตอร์กระแสตรงที่กล่าวมาแล้วคือ คอมมิวเตชันกระแสอาเมเจอร์จะใช้วิธีทางอิเล็กทรอนิกส์ โครงสร้างของมอเตอร์แบบนี้จะมีโครงสร้างเป็นแม่เหล็กยึด “back iron “ และขดลวดคอมมิวเตชันจะอยู่ภายนอกส่วนของตัวโรเตอร์ ดังแสดงในรูป 2.3.13 (เปรียบเทียบกับมอเตอร์กระแสตรงโดยทั่วไปแล้วจะมีโครงสร้างที่มีส่วนประกอบกลับกัน) การประยุกต์ใช้งานของมอเตอร์กระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่านนี้มักจะใช้กับระบบที่ต้องการโมเมนต์ของแรงเฉื่อยต่ำ เนื่องจากโครงสร้างโรเตอร์แบบนี้สร้างขึ้นด้วยสารแม่เหล็กชนิดพิเศษเพื่อให้เป็นมอเตอร์ชนิดที่ให้โมเมนต์แรงเฉื่อยต่ำ



รูปที่ 2.3.13 รูปหน้าตัดของมอเตอร์กระแสตรงแบบไม่มีแปรงถ่านและ โรเตอร์เป็นแม่เหล็กถาวร

2.4 ตัวตรวจจับแบบต่างๆ (SENSOR)

หรือเซนเซอร์ (SENSOR) ซึ่งมันจะทำการเปลี่ยนแปลงความรู้สึกต่างๆ ที่ได้รับให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้าซึ่งอาจเป็นแรงดันหรือกระแสก็ได้ และส่งให้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อตีความหมายและนำเอาผลดังกล่าวไปใช้งานได้ตามความต้องการ

ตัวตรวจจับในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในส่วนของอินพุตที่ทำหน้าที่เป็นส่วนรับรู้ความรู้สึกต่างๆ เราเรียกว่า ตัวตรวจจับแบบง่ายๆ พื้นฐานที่เราคุ้นเคยกันดี เช่น สวิตช์กลไก, สวิตช์แม่เหล็ก, เซลล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รับแสง, โฟโตทรานซิสเตอร์, ออปโตคัปเปอเรอร์, ตัวตรวจจับตำแหน่ง, ตัวตรวจจับแรง, ตัวตรวจจับอุณหภูมิ, ตัวตรวจจับเสียง เป็นต้น ตัวตรวจจับต่างๆ เหล่านี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนสถานภาพทางฟิสิกส์ให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ให้สามารถทำงานได้ตามต้องการ ดังจะได้กล่าวถึงรายละเอียดของตัวตรวจจับแต่ละชนิดให้ได้เข้าใจกันต่อไป

2.4.1 สวิตช์กลไก (MECHANICAL SWITCHES)

สวิตช์กลไกที่เราพบเห็นและใช้กันมาตลอดก็จัดเป็นตัวตรวจจับชนิดหนึ่งด้วยสวิตช์กลไกนี้จะรับแรงกระทำจากภายนอกเพื่อไปใช้เป็นแรงกระทำต่อหน้าสัมผัสทางไฟฟ้าให้เปิดหรือปิดตามต้องการในสวิตช์กลไกที่ทำงานแบบชั่วคราว การกระทำของหน้าสัมผัสจะเปิดหรือปิดเพียงชั่วขณะ จากนั้นก็จะกลับคืนสู่ตำแหน่งเดิมของในตอนเริ่มแรก ไมโครสวิตช์มักจะมีขนาดเล็กที่สามารถติดตั้งได้ง่ายและถูกนำไปใช้เป็นสวิตช์ในการบอกตำแหน่งเป็นส่วนใหญ่

สวิตช์กลไกที่ได้กล่าวมานี้ ยังสามารถแบ่งได้สองแบบตามลักษณะการใช้งานได้แก่ แบบที่ใช้ในทางพาณิชย์และแบบที่ใช้ในทางอุตสาหกรรม

แบบที่ใช้ในทางพาณิชย์มักจะถูกใช้ในระบบแสงสว่าง เครื่องใช้ต่างๆ ภายในบ้าน เช่น เครื่องรับวิทยุ เครื่องรับโทรทัศน์ เครื่องคอมพิวเตอร์ เป็นต้น

แบบที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ มักจะใช้งานกับวงจรไฟฟ้าที่มีกระแสไหลผ่านหน้าสัมผัสมากกว่า 5 แอมแปร์ ตัวถังของสวิตช์จะถูกออกแบบและติดตั้งอย่างดีเพื่อป้องกันแรงกระแทกและการสั่นสะเทือนจากภายนอก สวิตช์แบบที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมหลายๆ แบบมักจะมีการซีลด์ป้องกันฝุ่น, ความสกปรก, น้ำมัน, สารเคมีต่างๆ และทนต่อสภาพแวดล้อมที่เลวร้ายได้ โดยเฉพาะอุณหภูมิที่สูงๆ

การสึกกร่อนของหน้าสัมผัสและการเกิดประกายไฟระหว่างหน้าสัมผัส เป็นสองปัญหาใหญ่ของสวิตช์แบบกลไกนี้ วัสดุจำพวกทอง, เงิน, พัลลาเดียม (PALLADIUM), พลาตินัม (PLATINUM), โมลิบดีนัม (MOLYBDENUM) และทังสเตน (TANBSTEN) จึงถูกนำมาใช้เป็นหน้าสัมผัสของสวิตช์เพราะสามารถนำกระแสไฟฟ้าได้ดีและมีค่าความต้านทานต่ำ แต่กระนั้นก็ดีโลหะเหล่านี้เมื่อผ่านการใช้งานไปในระยะเวลาหนึ่ง จะเกิดออกไซด์ (OXIDE) ขึ้นมีลักษณะเป็นชั้นของออกไซด์บางๆ เคลือบบนผิวของหน้าสัมผัสและผิวของโลหะ เป็นผลทำให้คุณสมบัติการนำไฟฟ้าลดต่ำลง

ชนิดโลหะ	ความต้านทาน ($\mu\Omega/cm$)	ความต้านทานการเกิด การออกซิเดชัน	ผลจากการเกิดประกายไฟ
ทอง	2.42	ดีที่สุด	ผิวโลหะเป็นหลุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โมลิตินัม	5.70	ดี	ผิวโลหะเป็นหลุม
พัลลาเดียม	11.00	พอใช้	ด้านทานการเกิดประกายไฟ
พลาตินัม	10.60	ดีมาก	ด้านทานการเกิดประกายไฟ
เงิน	1.63	ดีที่สุด	ผิวโลหะเป็นหลุม
ทังสเทน	5.52	ดี	ด้านทานการเกิดประกายไฟ

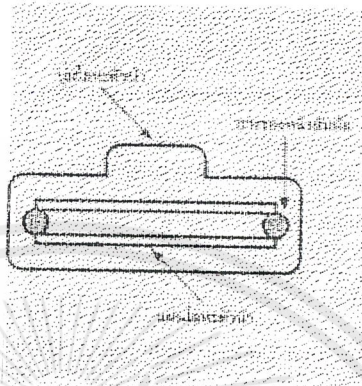
ตารางที่ 2.4.1 คุณสมบัติทางความนำไฟฟ้าของวัสดุที่ใช้ทำหน้าสัมผัสสวิตช์

ในเรื่องของการเกิดประกายไฟบนหน้าสัมผัสของสวิตช์นั้น จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อสวิตช์ดังกล่าวถูกนำไปใช้กับวงจรไฟฟ้าที่มีการใช้กระแสค่อนข้างสูง เมื่อใช้สวิตช์กับโหลดที่ดึงกระแสสูงๆ จะเกิดประกายไฟกระโดดข้ามช่องว่างระหว่างหน้าสัมผัสทั้งสอง เป็นผลทำให้หน้าสัมผัสตรงที่เกิดประกายไฟสึกกร่อนเป็นหลุมได้เนื่องจากความร้อนที่เกิดจากประกายไฟ ในตารางที่ 2.4.1 นั้น แสดงให้เห็นถึงคุณสมบัติต่างๆ ของโลหะหลายๆ ชนิดที่ถูกนำมาใช้สร้างเป็นหน้าสัมผัสของสวิตช์

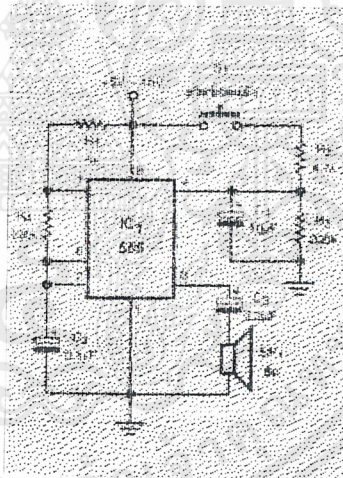
ปัญหาอีกอย่างที่มีมักจะพบเสมอในสวิตช์กลไกก็คือ ปัญหาสัญญาณรบกวนทาง หรือที่เราคุ้นเคยกับคำว่า สวิตช์เบาซ์ (SWITCH BOUCE) จากผลดังกล่าวนี้เมื่อนำสวิตช์มาใช้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยเฉพาะกับวงจรดิจิทัลแล้วจะก่อปัญหาได้อย่างมากมายเลยทีเดียว

2.4.2 สวิตช์อ่อนตัว (FLEX SWITCHES)

สวิตช์อ่อนตัวมีโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 2.4.1 สวิตช์อ่อนตัวนี้สามารถนำไปใช้ในการตรวจจับการสัมผัสหรือความตึงที่เกิดจากแรงได้ ตัวสวิตช์สามารถทำงานได้โดยอาศัยแรงที่กระทำบนพื้นที่รับแรงของสวิตช์การใช้งานสวิตช์แบบนี้ต้อง ระมัดระวังเรื่องของความชื้นและน้ำมันค่อนข้างมากการใช้งานส่วนใหญ่จะเป็นงานประเภทตรวจจับน้ำหนัก และระบบส่งสัญญาณเตือนภัย เป็นต้น



รูปที่ 2.4.1 ภาพตัดแสดง โครงสร้างของสวิตช์อัตโนมัติ



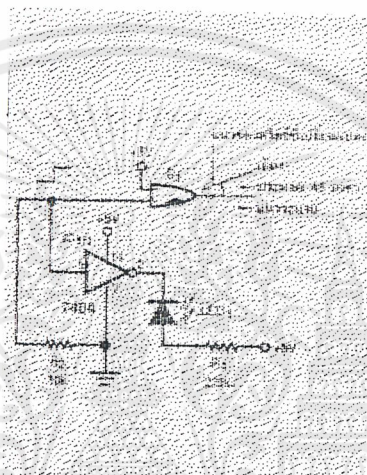
รูปที่ 2.4.2 วงจรประยุกต์ใช้งานของสวิตช์อัตโนมัติ

ในรูปที่ 2.4.2 เป็นวงจรส่งเสียงสัญญาณเตือนภัย โดยมีสวิตช์อัตโนมัติเป็นตัวตรวจจับ เมื่อสวิตช์อัตโนมัติถูกกดจนหน้าสัมผัสภายในสัมผัสกันจะทำให้ไอซี LM 555 (IC1) ทำงานส่งเสียงสัญญาณเตือนออกมาโดยความถี่ของเสียงที่ได้ถูกกำหนดจากค่าของ R4 และ C2 หลังจากที่หน้าสัมผัสจากออกจากกันแล้ว วงจรก็ยังส่งเสียงสัญญาณเตือนต่อไประยะหนึ่ง ระยะเวลาดังกล่าวถูกกำหนดโดยค่าของ R3 และ C1 ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามต้องการและวงจรที่แสดงไว้ก็เป็นตัวอย่างง่ายๆ ตัวอย่างหนึ่งในการประยุกต์ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 สวิตช์ปรอท (MERCURY SWITCHES)

ปรอทเป็นโลหะตัวนำที่ดีเลิศ ปรอทนี้เป็นโลหะชนิดเดียวที่มีสภาพเป็นของเหลว ณ อุณหภูมิห้อง ปรอทถูกนำมาสร้างเป็นสวิตช์อีกชนิดหนึ่งซึ่งเรียกว่า สวิตช์ปรอท โดยปรอทจะถูกรบรรจุอยู่ในหลอดแก้ว และมีหน้าสัมผัสสองหน้าสัมผัส เมื่อโลหะปรอทเคลื่อนที่ไปแตะกับหน้าสัมผัสทั้งสอง ทำให้ความต้านทานลดต่ำลงจนเป็นสวิตช์ปิดวงจร ในหลอดแก้วที่บรรจุปรอทไว้จะบรรจุก๊าซเฉื่อย (ก๊าซออกซิเจน) เอาไว้ เพื่อป้องกันการเกิดออกไซด์และประกายไฟที่หน้าสัมผัสของสวิตช์



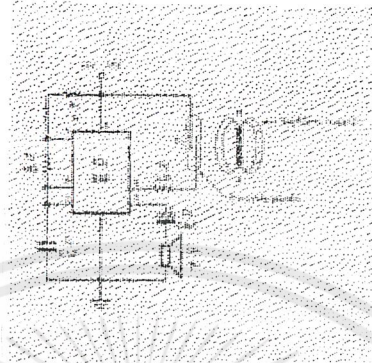
รูปที่ 2.4.3 วงจรประยุกต์ใช้งานสวิตช์ปรอทตรวจจับความเอียง

ในรูปที่ 2.4.3 เป็นตัวอย่างวงจรใช้งานสวิตช์ปรอทในการตรวจจับความเอียงแบบง่ายๆ การทำงานเมื่อสวิตช์ปรอทที่ติดตั้งไว้ในแนวระนาบ (แนวนอน) ตามปกติสวิตช์ปรอทจะเปิดวงจรของอินพุตของอินเวอร์เตอร์เกต (ขา 1 ของ IC1) มีสภาวะลอจิกเป็น 0 เอาต์พุตจึงเป็นลอจิก 1 เป็นผลทำให้ LED1 ไม่สว่าง เมื่อสวิตช์ปรอทที่ติดตั้งไว้เกิดการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งไปจากแนวนอนหรือเกิดการเอียงออกจากแนวระนาบไปในจุดที่กำหนด ปรอทที่ถูกบรรจุอยู่ภายในจะเคลื่อนที่ไปแตะหน้าสัมผัสของสวิตช์จนครบวงจรเป็นสวิตช์ปิด ขาอินพุตของอินเวอร์เตอร์เกตจึงมีสภาวะลอจิกเป็น 1 เอาต์พุตจึงเป็นลอจิก 0 ทำให้ LED1 ติดสว่างขึ้นและเราก็สามารถนำผลอันนี้ไปใช้งานได้ทันที

2.4.4 ตัวตรวจจับแม่เหล็ก (MAGNETIC PROXIMITY SENSOR)

ตัวตรวจจับแม่เหล็กจะทำหน้าในการตรวจจับอำนาจใดๆ ก็ตามที่เข้ามาใกล้ๆ กับตัวตรวจจับในระยะ และความเข้มที่กำหนดจนสามารถรับรู้ได้ ตัวตรวจจับแม่เหล็กหรือเรียกอีกอย่างว่า สวิตช์แม่

เหล็ก (MAGNETIC SWITCH) จะถูกออกแบบไว้ทั้งในลักษณะปกติปิดวงจรและปกติเปิดวงจร เพื่อให้สะดวกในการประยุกต์ใช้งานหลายๆ ลักษณะ



รูปที่ 2.4.4 วงจรเตือนภัยประยุกต์ใช้งานสวิทช์แม่เหล็ก

ตัวอย่างการนำเอาตัวตรวจจับแม่เหล็กมาใช้งานแสดงผังวงจรในรูปที่ 2.4.4 ซึ่งมีลักษณะคล้ายกันกับวงจรในรูปที่ 2.4.2 เพียงแต่อาศัยตัวตรวจจับต่างชนิดกัน การทำงานกล่าวคือเมื่อมีอำนาจแม่เหล็กเข้ามาในบริเวณที่ตัวตรวจจับแม่เหล็กสามารถรับรู้ได้ หน้าสัมผัสของสวิทช์จะปิดวงจร เป็นผลทำให้ไอซี LM555 ถูกอินทิเกรตสามารถทำงานได้และส่งเสียงสัญญาณออกมา ต่อเมื่ออำนาจแม่เหล็กที่เข้ามาจางหายไป เป็นผลทำให้หน้าสัมผัสของสวิทช์เปิดวงจร วงจรจึงหยุดส่งเสียงสัญญาณออกมา อนึ่งความถี่เสียงของวงจรนี้จะถูกกำหนดโดยค่าของ R3 และ C2

2.4.5 อุปกรณ์ตรวจจับทางแสง (OPTO DEVICE)

อุปกรณ์ตรวจจับทางแสงเป็นการนำเอาผลของแสงสว่างมาเปลี่ยนแปลงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เพื่อสามารถนำมาใช้งานในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ได้ อุปกรณ์ตรวจจับทางแสงที่เราคุ้นเคยกันดี ก็มีอยู่หลายชนิด ดังจะได้กล่าวถึงรายละเอียดต่อไปนี้

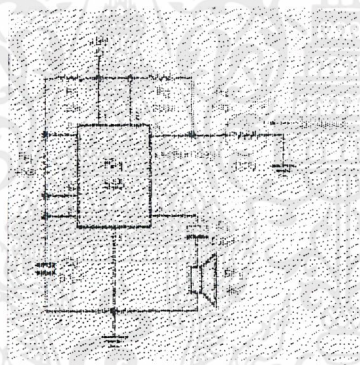
2.4.5.1 โฟโตเซลล์ (PHOTO CELLS)

โฟโตเซลล์เป็นตัวตรวจจับทางแสงแบบพื้นฐานที่มีใช้กัน ตัวตรวจจับแบบนี้มีโครงสร้างที่ทำมาจากสารกึ่งตัวนำมีขั้วต่อใช้งานสองขั้ว เมื่อมีแสงมาตกกระทบกับตัวตรวจจับชนิดนี้จะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าของความต้านทานบนตัวโฟโตเซลล์ตามการเปลี่ยนแปลงของแสงที่

เปลี่ยนไป โฟโตะเซลล์มักจะสร้างมาจากสารแคดเมียมซัลไฟด์ (CADMIUM-SULFIDE : Cds) หรือ แคดเมียมเซเลไนด์ (CADMIUM-SELENTDE : Cds)

โฟโตะเซลล์ที่สร้างจากแคดเมียมเซเลไนด์จะใช้เวลาประมาณ 10 มิลลิวินาที ในการตอบสนองต่อความเข้มของแสงที่เปลี่ยนแปลงไป ส่วนโฟโตะเซลล์ที่สร้างจากสารแคดเมียมซัลไฟด์จะใช้เวลาในการเปลี่ยนแปลงประมาณ 100 มิลลิวินาทีจากผลของการตอบสนองต่อแสงที่ค่อนข้างช้า เช่นนี้ ทำให้การใช้งานเชื่อมต่อกับวงจรดิจิทัลค่อนข้างลำบากมากและมีปัญหาบ้างเล็กน้อย แต่ตัวโฟโตะเซลล์ก็สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้มากตามปริมาณความเข้มของแสงที่เปลี่ยนแปลงไปมากๆ ได้ ทำให้สามารถประยุกต์ใช้งานได้กว้างขวาง

ค่าความต้านทานของโฟโตะเซลล์ขึ้นอยู่กับสารที่นำมาใช้ในการผลิต ส่วนใหญ่แล้วค่าความต้านทานขณะไม่ได้รับแสงอาจจะสูงถึง 1 เมกะโอห์มหรือมากกว่านั้น ส่วนค่าความต้านทานขณะได้รับแสงเต็มที่จะมีค่าประมาณ 250 โอห์มหรือต่ำกว่านั้น



รูปที่ 2.4.5 วงจร VCO ควบคุมด้วยแสงจากการทำงานของโฟโตะเซลล์

จากวงจรในรูปที่ 2.4.5 เป็นวงจรที่นำเอาโฟโตะเซลล์มาประยุกต์ใช้งานในวงจรผลิตความถี่ที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณของแสงที่เปลี่ยนไป ค่าความต้านทานของ R2 และ R4 (โฟโตะเซลล์) จะต่อร่วมกันเป็นวงจรแบ่งแรงดันเพื่อจ่ายแรงดันควบคุมให้กับขา 5 ของ IC1 ซึ่งเป็นขาควบคุมแรงดันเมื่อปริมาณ ของแสงที่ตกกระทบบนตัวโฟโตะเซลล์เพิ่มมากขึ้นความต้านทานของโฟโตะเซลล์จะลดต่ำลง เป็นผลทำให้ความถี่ทางเอาต์พุตของ IC1 มีค่าสูงขึ้น ซึ่งความถี่พื้นฐานนั้นจะถูกกำหนดโดยค่าของ R3 และ C2 ส่วนย่านการเปลี่ยนแปลงของความถี่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามช่วงกว้างของแรงดันควบคุมที่เปลี่ยนแปลงไปมานั่นเอง

ในทางกลับกันถ้าหากปริมาณแสงที่ตกกระทบตัวโฟโตเซลล์ลดลงความต้านทานภายในโฟโตเซลล์จะสูงขึ้น เป็นผลทำให้ความถี่ทางเอาต์พุตของ IC1 มีค่าต่ำลงตามปริมาณแสงที่ลดลงนั้น และถ้าหากทำการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่าง R2 และ R4 จะเป็นผลทำให้การทำงานกลับเป็นตรงกันข้ามทั้งหมด ซึ่งขึ้นอยู่กับการใช้การประยุกต์ใช้งานตามความเหมาะสม

2.4.5.2 โฟโตทรานซิสเตอร์ (PHOTO TRANSISTOR)

โดยสภาวะปกติ สารกึ่งตัวนำจะมีคุณสมบัติที่ไวต่อแสงอยู่แล้ว ดังนั้นเมื่อมีการนำเอาสารกึ่งตัวนำมาสร้างเป็นโฟโตทรานซิสเตอร์ โปรตอนจากแสงจะทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระขึ้น เป็นผลทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระขึ้น เป็นผลทำให้เกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าขึ้นได้ ดังนั้นโฟโตทรานซิสเตอร์เป็นตัวตรวจจับแสงชนิดหนึ่งถูกออกแบบขึ้นจากการเกิดปรากฏการณ์อย่างหนึ่งของสารกึ่งตัวนำ และมีรอยต่อ P-N ระหว่างสารสองชนิดของโฟโตทรานซิสเตอร์ซึ่งรอยต่อนี้มีขนาดใหญ่กว่ารอยต่อ P-N ของทรานซิสเตอร์โดยทั่วไปความแตกต่างจากทรานซิสเตอร์ทั่วไปคือที่ตัวถัง (CASE) ด้านบนของโฟโตทรานซิสเตอร์จะมีช่องสำหรับรับแสงเพื่อส่งไปยังรอยต่อ P-N โดยที่ช่องรับแสงนี้ จะมีวัสดุเคลือบไมก้า (CLEAR MICA) หรือควอตซ์เลนซ์ (QUARTZ LENS) ติดอยู่บนช่องรับแสงดังกล่าว

โฟโตทรานซิสเตอร์ทุกแบบ จะมีโครงสร้างเป็นชนิด NPN สารที่ถูกนำมาใช้ผลิต ได้แก่ ซีลีเนียม, ซิลิกอน, หรือเยอรมันเนียม สารแต่ละชนิดจะมีการตอบสนองต่อสเปกตรัมของคลื่นแสงในย่านที่แตกต่างกันออกไป

โฟโตทรานซิสเตอร์ที่สร้างมาจากสารซีลีเนียม จะตอบสนองต่อสเปกตรัมของคลื่นแสงที่เราสามารถมองเห็นได้ซึ่งมีลักษณะการตอบสนองได้ใกล้เคียงกับสายตาของคนเรา

โฟโตทรานซิสเตอร์ที่สร้างจากสารซิลิกอน จะมีการตอบสนองได้ดีต่อสเปกตรัมของแสงในย่านของแสงอินฟราเรดหรือใกล้เคียง

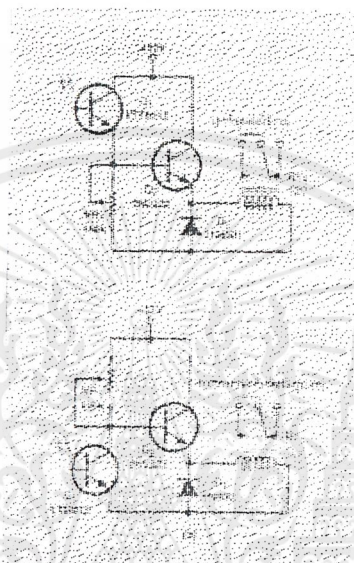
โฟโตทรานซิสเตอร์ที่สร้างจากสารเยอรมันเนียม จะมีการตอบสนองต่อแสงได้ในช่วงที่ค่อนข้างกว้าง ซึ่งรวมถึงย่านของแสงที่สามารถมองเห็นได้ด้วย

การทำงานและการตรวจจับของโฟโตเซลล์มาก ซึ่งสามารถตอบสนองได้รวดเร็วถึง 1 ไมโครวินาทีเดียว ทำให้โฟโตทรานซิสเตอร์ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวางมาก

โฟโตทรานซิสเตอร์สามารถทำงานได้ทั้งเป็นวงจรขยายและวงจรวัดแสง ตัวอย่างประยุกต์ใช้งานเป็นดังรูปที่ 2.4.6 (ก) และ (ข) ในรูปที่ 2.4.6 (ก) โฟโตทรานซิสเตอร์ Q1 ถูกใช้เป็นตัวตรวจจับแสงที่สามารถปรับความไวได้ การทำงานคือเมื่อ Q1 ได้รับความจะทำให้ Q1 ทำงานเป็นผลทำให้มี

แรงดันไบแอสที่ขาเบสของ Q2 รีเลย์ RY1 จึงทำงานต่อวงจรความไวในการทำงานของวงจรสามารถปรับได้ที่ค่าของ VR1

ในทางตรงกันข้าม หากเราเปลี่ยนตำแหน่งกันระหว่าง VR1 และ Q1 ดังรูปที่ 2.4.6 (ข) จะมีการทำงานคือเมื่อแสงตกกระทบ Q1 ทำให้ Q1 ทำงานลัดวงจรขาเบสของ Q2 ลงกราวด์ Q2 จึงหยุดทำงาน รีเลย์ RY1 จึงปล่อยวงจรออก ซึ่งเป็นไปในทางตรงกันข้ามกับวงจรในรูปที่ 2.4.6 (ก)



รูปที่ 2.4.6 วงจรควบคุมด้วยแสงจากการทำงานของโฟโตไดโอด

- ก) วงจรทำงานเมื่อแสงตกกระทบ
- ข) วงจรหยุดทำงานเมื่อมีแสง

2.4.6 อินฟราเรดแอลอีดี (Infrared LED)

อินฟราเรดแอลอีดี ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการกำเนิดแสงในช่วงอินฟราเรด เมื่ออินฟราเรดแอลอีดี นำกระแสอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ผ่านสารกึ่งตัวนำชนิดพิเศษ และเกิดพลังงานขึ้นจากโฟตอน การเกิดพลังงานดังกล่าวเป็นไปในทันทีที่มีกระแสไหลผ่าน

อินฟราเรดแอลอีดี สามารถกำเนิดแสงอินฟราเรดได้สองช่วงความยาวคลื่นคือ อินฟราเรดแอลอีดี ที่สร้างจากสารแกเลียมอาเซไนด์ (Gallium Arsenide: GaAs) จะให้ความยาวคลื่นประมาณ 940 นาโนเมตร และอินฟราเรดแอลอีดี ที่สร้างจากสารแกเลียมอลูมิเนียม-อาเซไนด์ (Gallium Aluminum Arsenide: GaAlAs) จะกำเนิดแสงอินฟราเรดที่ความยาวคลื่นประมาณ 880 นาโนเมตร

รูปที่ 2.4.7 เป็นวงจรใช้งานรีโมทคอนโทรลแบบง่าย โดยรูปที่ 2.4.7 (ก) เป็นวงจรภาคส่งรีโมทคอนโทรลและ รูปที่ 2.4.7 (ข) เป็นวงจรภาครับรีโมทคอนโทรล ในวงจรภาคส่งแหล่งจ่ายไฟ 9

โวลต์ จะจ่ายไฟให้กับอินฟราเรดแอลอีดี มีการจำกัดกระแสด้วย R_1 ค่า 330 โอห์ม และอินฟราเรดแอลอีดีจะเปล่งแสงอินฟราเรดออกมาที่ต่อเมื่อมีการกดสวิตช์ S_1 เป็นการส่ง

ทางด้านวงจรภาครับเมื่อรับแสงอินฟราเรดจากเครื่องส่งกระทบลงบนตัวโฟโตทรานซิสเตอร์ Q_1 จะทำให้ Q_1 ทำงาน เป็นผลทำให้เกิดแรงดันไบแอสที่ขาเบสของ Q_2 ซึ่งเป็นการไบแอสตรงให้กับ Q_2 จึงทำงานเป็นผลทำให้รีเลย์ RY_1 ทำงานดูดสัมผัสเพื่อจ่ายไฟให้กับตัวเองดังนั้นขณะนี้ RY_1 ทำงานแล้วและจะยังคงทำงานต่อไป แม้ว่าแสงอินฟราเรดที่ตกกระทบ Q_1 จะหมดไปแล้วก็ตาม ถ้าหากต้องการให้วงจรหยุดทำงานก็สามารถทำได้โดยการกดสวิตช์ S_1 ก็จะทำให้ RY_1 หยุดทำงานทันที และวงจรก็จะพร้อมรับสัญญาณจากเครื่องส่งรีโมตคอนโทรลอีกครั้งหนึ่ง ขณะที่ R_1 ทำงานอยู่นั้นหากกดภาคส่งให้กับอินฟราเรดตัวส่งอีกครั้งก็จะไม่มีผลต่อวงจรจนกว่าจะมีการหยุดการทำงานก่อน



รูปที่ 2.4.7 วงจรประยุกต์ใช้งานอินฟราเรดแอลอีดี

ก) วงจรภาคส่ง

ข) วงจรภาครับ

2.4.7 ออปโตไอโซเลเตอร์ (Opto Isolator)

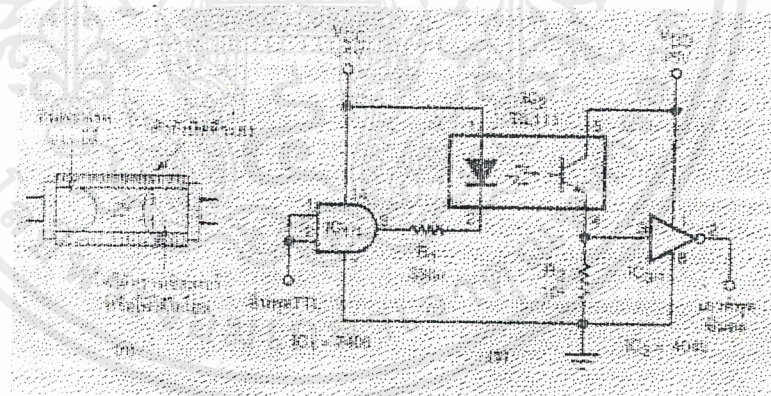
ออปโตไอโซเลเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่มีประโยชน์มาก เนื่องจากมันได้รวมเอาตัวกำเนิดแสงและตัวตรวจจับแสงเข้าไว้ด้วยกันจุดประสงค์หลักของออปโตไอโซเลเตอร์คือการใช้งานเพื่อเป็นการแยกกันทางไฟฟ้า (electrical isolation) ตัวอย่างเช่นการเชื่อมโยงวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อเข้าไปควบคุมงานไฟฟ้ากำลัง เป็นต้น ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันอันตรายและความปลอดภัยสูงสุดจากการที่มีระบบแหล่งจ่ายไฟที่ไม่เหมือนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออปโตไอโซเลเตอร์จะถูก บรรจุอยู่ในตัวถังที่ทึบแสงเพื่อป้องกันการรบกวนของแสงจากภายนอก ออปโตไอโซเลเตอร์อาจรวมเอาอุปกรณ์ตรวจจับแสงดังที่กล่าวมาแล้วจับคู่กันและบรรจุในตัวถังเดียวกันก็ได้ เช่น แสงจากหลอดนีออนกับโฟโตเซลล์ หลอดอินแคนเดสเซนต์กับโฟโตไดโอด และตัวส่งอินฟราเรดกับโฟโตทรานซิสเตอร์ หรือโฟโตไดโอด เป็นต้น

ออปโตไอโซเลเตอร์ที่ใช้ในงานกำลังสูงจะถูกบรรจุในตัวถังที่ใหญ่และค่อนข้างแข็งแรง ส่วนออปโตไอโซเลเตอร์ที่ใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรืองานที่กำลังงานค่อนข้างต่ำและปานกลางจะถูกบรรจุในตัวถังรูปไอซีที่เคยพบเห็นกันมาบ้างแล้วในรูปที่ 2.5.8 (ก) นั้นเป็นโครงสร้างภายในอย่างง่ายของออปโตไอโซเลเตอร์

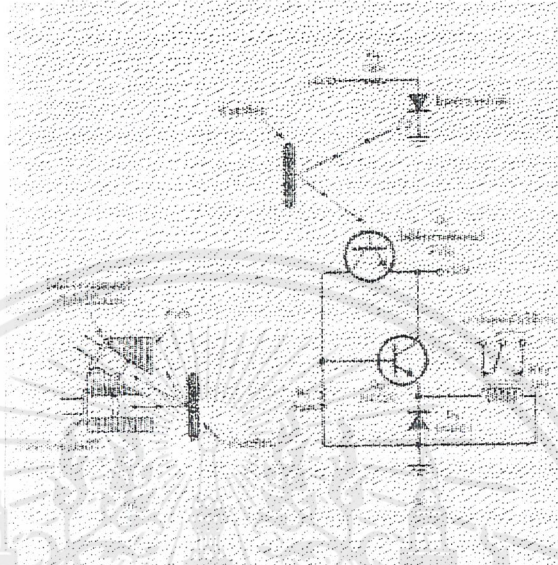
การประยุกต์ใช้งานออปโตไอโซเลเตอร์อย่างง่าย แสดงในรูปที่ 2.5.8 (ข) เป็นการนำออปโตไอโซเลเตอร์เข้ามาเชื่อมต่อเอาต์พุตของไอซี TTL เข้ากับอินพุตของไอซี CMOS โดยสัญญาณเอาต์พุตของ $IC_{1/1}$ จะใช้ขับอินฟราเรดแอลอีดีตัวส่งที่ลอจิก “0” จะทำให้อินฟราเรดแอลอีดีใน IC_2 นำกระแสและส่งแสงอินฟราเรดออกมา โฟโตทรานซิสเตอร์ในออปโตไอโซเลเตอร์เมื่อได้รับแสงจึงทำงาน ทำให้ปรากฏลอจิก “1” ที่อินพุตของ $IC_{3/1}$ เอาต์พุตของ $IC_{3/1}$ จึงมีลอจิกเป็น “0” ในทางกลับกันถ้าเอาต์พุตของ $IC_{1/1}$ มีลอจิกเป็น “1” โฟโตทรานซิสเตอร์ไม่ทำงานอินพุตของ $IC_{3/1}$ มีลอจิกเป็น “0” เอาต์พุตของ $IC_{3/1}$ จึงมีระดับลอจิกเป็น “1” สรุปคือเอาต์พุตของวงจรจะมีสถานะลอจิกตรงข้ามกับอินพุตของวงจร



รูปที่ 2.4.8 ก) โครงสร้างของออปโตไอโซเลเตอร์อย่างง่าย

ข) วงจรประยุกต์ใช้งานออปโตไอโซเลเตอร์

2.4.8 ออปโตไอโซเลเตอร์ชนิดตัวคู่ (Slotted Pair Optoisolator)



รูปที่ 2.4.9 ก) โครงสร้างของออปโตไอโซเลเตอร์แบบคู่

ข) การประยุกต์ใช้งานออปโตไอโซเลเตอร์แบบคู่

ออปโตไอโซเลเตอร์ชนิดนี้จะติดตั้งตัวรับและตัวส่งไว้บนตัวถังเดียวกัน แต่จะเปิดช่องทางของแสงเอาไว้ วิธีการใช้งานจะใช้วัสดุที่ทึบแสงมาปิดแสงตรงช่องว่างดังกล่าว และนำผลดังกล่าวไปใช้งานลักษณะของออปโตไอโซเลเตอร์ชนิดตัวคู่นี้แสดงในรูปที่ 2.4.9 (ก)

ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานออปโตไอโซเลเตอร์ชนิดนี้แสดงดังรูปที่ 2.4.9 (ข) ซึ่งเป็นวงจรเครื่องเคาะรหัสสมอร์ส โดย IC_2 ทำหน้าที่ผลิตความถี่ ซึ่งมีการควบคุมการผลิตความถี่โดย Q_1 และ IC ซึ่งเป็นออปโตไอโซเลเตอร์ชนิดตัวคู่ การทำงานของวงจรที่ทึบแสงมาประกอบเป็นคีย์เคาะรหัสสมอร์ส โดยทำให้ส่วนที่ทึบแสงทำหน้าที่ปิดเปิดแสงแสงบนตัวออปโตไอโซเลเตอร์ให้ทำงานหรือไม่ทำงานตามต้องการ (ตัวรับแสงได้รับแสงหรือไม่ได้รับแสง) ออปโตไอโซเลเตอร์ชนิดนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้มากมาย ตัวอย่างเช่น การนับจำนวนสิ่งของ การนับรอบของเครื่องกลต่างๆ เป็นต้น

2.5.9 ตัวตรวจจับการสะท้อน (Reflector Isolator)

ตัวตรวจจับการสะท้อนก็เป็นออปโตไอโซเลเตอร์ชนิดหนึ่ง หลักการคือจะอาศัยวัสดุหรือชิ้นงานที่ตรวจจับเป็นตัวสะท้อนแสงจากอินฟราเรดแอลอีดีตัวส่งไปยังตัวรับแสงที่เป็นโฟโตทรานซิสเตอร์ การติดตั้งบนตัวถังของตัวตรวจจับการสะท้อนระหว่างอินฟราเรดแอลอีดีและเป็น

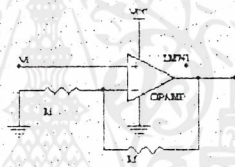
บทที่ 3

การคำนวณและการสร้าง

3.1 วงจรขับมอเตอร์

หลักการการทำงานของวงจรควบคุมมอเตอร์กระแสตรง

เนื่องจากการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ขึ้นอยู่กับระดับสัญญาณแรงดันไฟฟ้า แต่สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ออกมาจากสัญญาณที่ออกจากวงจรเชื่อมต่อบรรยากาศระหว่างวงจรควบคุมกับคอมพิวเตอรืเท่ากับ 5 โวลต์ ในโครงสร้างนี้ต้องการสัญญาณแรงดันไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 15 โวลต์ ดังนั้นจำเป็นต้องมีวงจรขยายสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเพื่อให้ได้ค่าตามต้องการเพื่อให้ได้ค่าตามต้องการ



รูปที่ 3.1.1 แสดงวงจรขยายสัญญาณแรงดันไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.1.1 สามารถที่จะคำนวณหาสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (Vd) ได้จากคุณสมบัติของออปแอมป์ (Op Amp) ทำให้สามารถคำนวณหาสูตรของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่เอาต์พุต

$$V_d = V_i (R_i + R_f) / R_i$$

ดังนั้นเมื่อต้องการแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตเท่ากับ 15 โวลต์ จึงต้องกำหนดค่าของอัตราขยายสัญญาณแรงดันไฟฟ้า (Voltage Gain) ให้เท่ากับ 3 นั่นคือ

$$R_i = 1 \text{ กิโลโห์ม } R_f = 2 \text{ กิโลโห์ม}$$

แต่เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ได้มีค่าต่ำมากจนไม่สามารถที่จะใช้ขับมอเตอร์ได้ ดังนั้นจึงต้องนำวงจรเพิ่มกระแสดังรูปที่ 3.1.2 มาประยุกต์ใช้

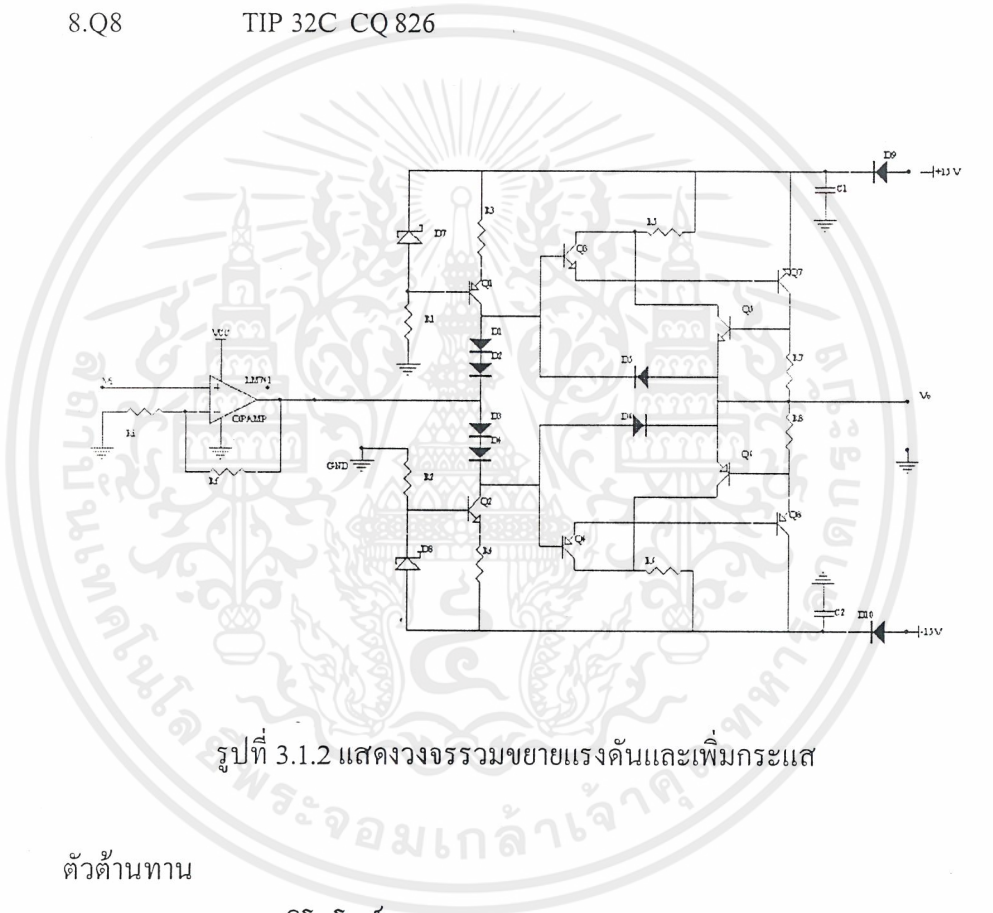
รายการอุปกรณ์

ทรานซิสเตอร์

1.Q1

A 615 GR 71

2.Q2	C 1815 BL 7 J
3.Q3	C 1815 BL 7 J
4.Q4	A 1015 GR 71
5.Q5	C 1815 BL 7 J
6.Q6	A 1015 GR 71
7.Q7	NL 91C TIP 31C
8.Q8	TIP 32C CQ 826



รูปที่ 3.1.2 แสดงวงจรรวมขยายแรงดันและเพิ่มกระแส

ตัวต้านทาน

1.R1	10 กิโลโอห์ม
2.R2	10 กิโลโอห์ม
3.R3	2.7 กิโลโอห์ม
4.R4	2.7 กิโลโอห์ม
5.R5	470 โอห์ม
6.R6	470 โอห์ม
7.R7	1 โอห์ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8.R8	1 โอห์ม
ตัวเก็บประจุ	
1.C1	100ไมโครฟารัด 35 โวลต์
2.C2	100ไมโครฟารัด 35 โวลต์
ไดโอด	
1. D1	1N4148
2. D2	1N4148
3. D3	1N4148
4. D4	1N4148
5.D5	1N4003
6. D5	1N4003
7.D7	2.7 โวลต์ 1 วัตต์
8.D8	2.7 โวลต์ 1 วัตต์
9. D9	1N4003
10. D10	1N4003

วงจรนี้ได้นำหลักการของคาร์ลิงตันคู่ (Darlington Pairs) มาประยุกต์ใช้ ซึ่งคาร์ลิงตันคู่นี้จัดอยู่ในวงจรขยายกำลัง คลาส AB

เนื่องจากค่าของโวลต์เตจเกน มีค่าเท่ากับ 1 ทำให้วงจรที่ได้นี้ไม่ได้ขยายแรงดันไฟฟ้า นั่นคือแรงดันที่อินพุตจะเท่ากับแรงดันที่เอาต์พุต

ฉะนั้นวงจรนี้จึงใช้ขยายกระแสได้อย่างเดียว ซึ่งสามารถหาค่าเกนของกระแสได้ดังนี้

$$\text{กระแส} \quad i_{c3} = h_{fe3} \times i_{b3}$$

$$\text{และ กระแส} \quad i_{b3} = h_{fe3} \times i_{b3}$$

เนื่องจาก ขาอีมีเตอร์ของ Q3 เชื่อมต่อกับขาเบสของ Q7

$$\text{กระแส} \quad i_{b7} = h_{fe3} \times i_{b3}$$

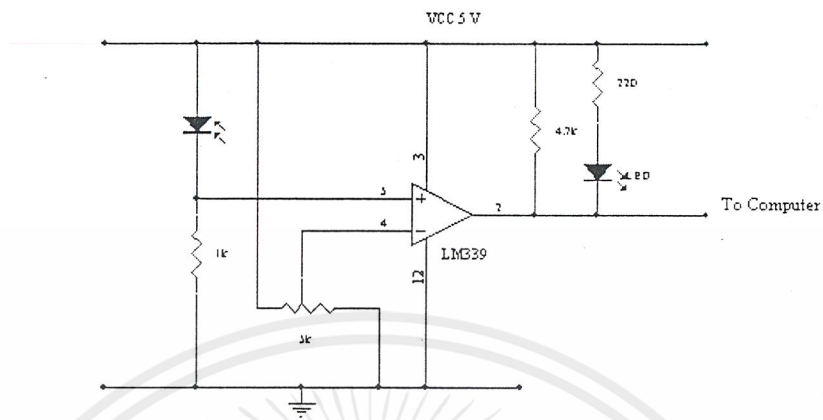
$$\begin{aligned} \text{และ กระแส} \quad i_{c7} &= h_{fe7} \times i_{b7} = h_{fe7} \times (h_{fe3} \times i_{b3}) \\ &= h_{fe3} \times h_{fe7} \times i_{b3} \end{aligned}$$

$$\text{ฉะนั้นเกนของกระแสรวม} \quad h_{fe(\text{total})}$$

$$h_{fe(\text{total})} = i_{c7}/i_{b3} = h_{fe3} \times h_{fe7}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วงจรตรวจจับและเปรียบเทียบแรงดัน (Sensor & Compare Circuit)



รูปที่ 3.2.1 วงจรตรวจจับและเปรียบเทียบแรงดัน

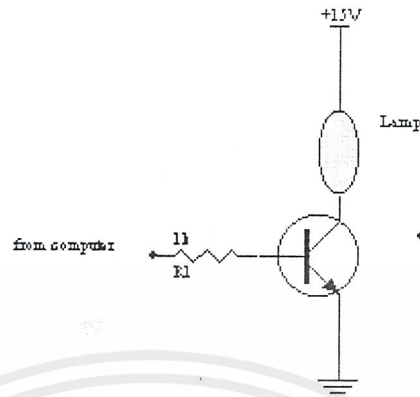
หลักการทํางาน

ตัวตรวจจับอินฟราเรด เมื่อรับรังสีอินฟราเรด (ในโครงการนี้จะใช้หลอดไฟ 12 โวลต์ เป็นภาคส่ง) จะให้สัญญาณแรงดันไฟฟ้าออกมาค่าต่าง ๆ ออกมาซึ่งยังมีค่าน้อยจึงใช้ตัวต้านทาน 1 กิโลโอห์ม มาแบ่งแรงดันเพื่อให้ได้สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ออกมาต่างกันอย่างชัดเจน ซึ่งจะต่ออยู่กับขาบวก (+) ของออปแอมป์เพื่อจะนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับขาลบ (-) ของออปแอมป์ที่ต่ออยู่กับตัวต้านทานปรับค่าได้ 5 กิโลโอห์ม

หากสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ขาบวก (+) ของออปแอมป์มีค่าน้อยกว่า สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ขาลบ (-) เอาต์พุตที่ออกมาจะเท่ากับ 0 โวลต์ (ลอจิก "0") ในทางตรงกันข้ามหากแรงดันที่ขาบวก (+) ของออปแอมป์มีค่ามากกว่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ขาลบ (-) เอาต์พุตที่ออกมาจะเท่ากับ 5 โวลต์ (ลอจิก "1")

3.3 วงจรสำหรับภาคส่ง

ในโครงการนี้ได้มีการออกแบบ โปรแกรมให้มีการควบคุมการเปิดปิดของหลอดไฟโดยใช้หลักการไบแอสให้ทรานซิสเตอร์ทำงานโดยการส่งสัญญาณมาทริกที่ขาเบสของทรานซิสเตอร์ดังรูป

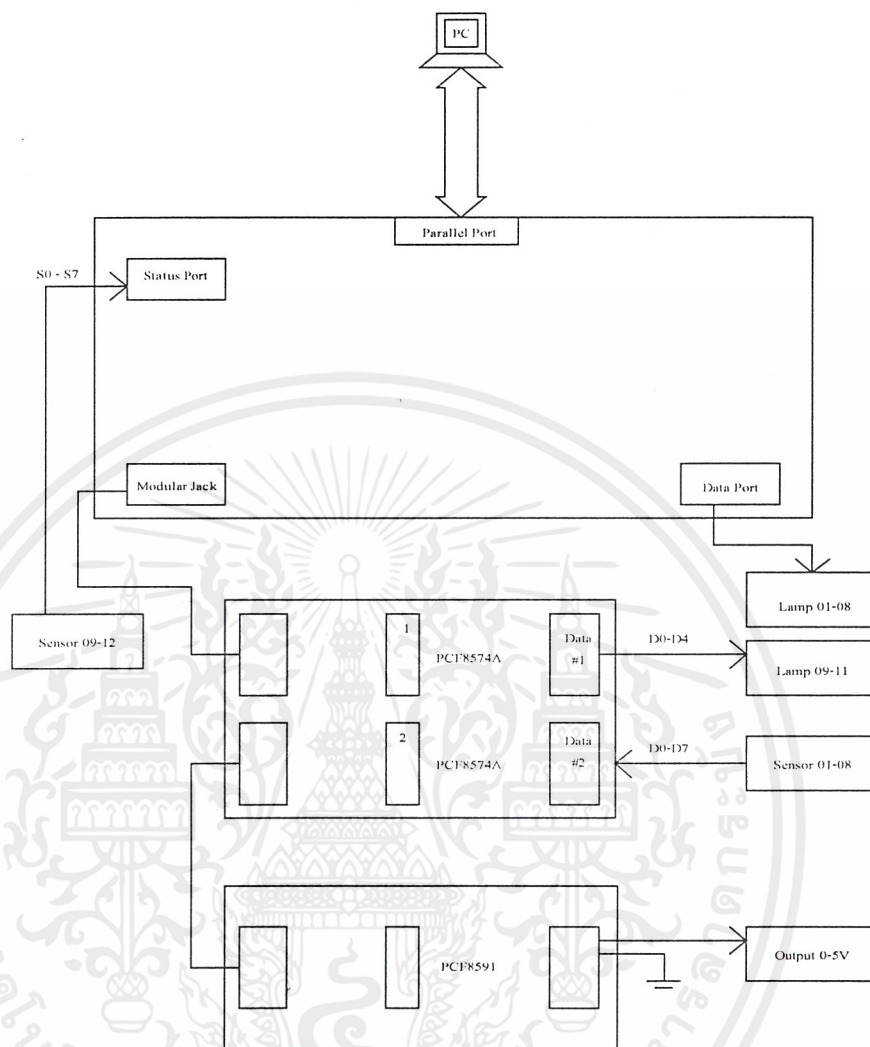


รูปที่ 3.3.1 วงจรควบคุมการเปิดปิดของหลอดไฟ

3.4 การออกแบบเพื่อเลือกพอร์ตของวงจรเชื่อมต่อบรรยากาศระหว่างวงจรควบคุมกับคอมพิวเตอร์

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 2.1 ซึ่งพอร์ตของบอร์ดขนาอนั้นประกอบไปด้วย พอร์ตข้อมูลใช้เอาต์พุต 8 บิต พอร์ตควบคุมใช้เป็นพอร์ต 4 บิต และพอร์ตสถานะใช้เป็นอินพุตข้อมูล 5 บิต

แต่สำหรับโครงงานนี้นั้นประกอบไปด้วยส่วนอินพุตของเซนเซอร์ จำนวน 12 ตัว ส่วนเอาต์พุตหลอดไฟจำนวน 12 ตัว และในการขับเคลื่อนต้องใช้พอร์ตจำนวน 8 บิต เพื่อเปลี่ยนสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอกซึ่งไม่เพียงพอหากใช้บอร์ดขนาอนอย่างเดียว เพราะฉะนั้นจึงต้องใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี และวงจรติดต่อพอร์ตขนาอนกับระบบบัสแบบการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซีแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอก ดังรูป



รูปที่ 3.4.1 แสดงการเชื่อมต่อพอร์ตต่างๆ สำหรับใช้ในโครงงานนี้

โดยให้กำหนดการอ้างอิงแอดเดรสดังนี้

3.4.1 PCF8574A ตัวที่ 1 มีแอดเดรส = &H70

3.4.2 PCF8574A ตัวที่ 2 มีแอดเดรส = &H73

3.4.3 PCF8591 มีแอดเดรส = &H98

3.5 โครงสร้างและการออกแบบทางกล

การออกแบบทางกล เป็นการออกแบบเส้นทาง หรือรางที่สำหรับให้รถวิ่งไปบนเส้นทาง ซึ่งมีทั้งทางโค้ง ทางตรง และทางยกระดับ ให้มีลักษณะเหมือนกับเส้นทางจริงมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบเส้นทาง แบ่งออกได้ดังนี้

3.5.1 ฐานสำหรับใช้วางราง

3.5.2 เส้นทาง หรือราง

3.5.3 ที่ตั้งราง

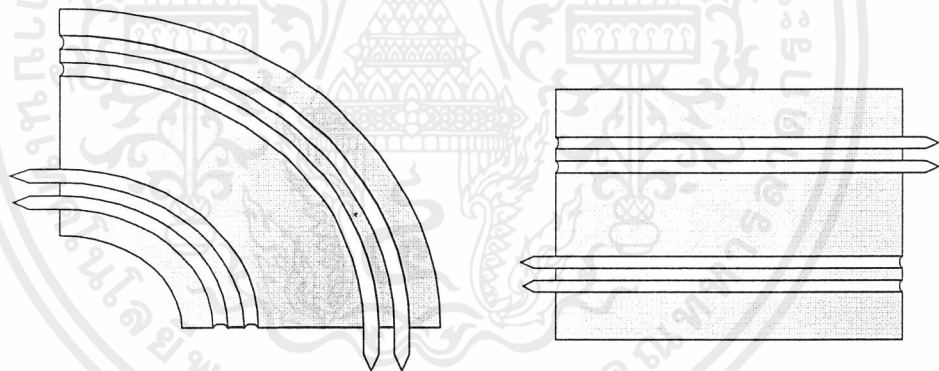
3.5.4 ที่ติดหลอดไฟ

3.5.1 ฐานสำหรับใช้วางราง

ฐานสำหรับใช้วางรางมีขนาด 160 x 180 x 5 เซนติเมตร ทำด้วยไม้อัด ซึ่งหลังจากทำการต่อฐานเสร็จจึงทำการทาสีด้วยสีพ่นอุตสาหกรรม สีขาว

3.5.2 เส้นทาง หรือราง

เส้นทาง หรือราง ทำจากพลาสติกสีดำ บนรางจะมีแถบของตัวนำไฟฟ้า ซึ่งก็คือ เหล็ก 2 แถบ ไว้สำหรับให้กระแสไฟฟ้าวิ่งไปตามราง เมื่อนำรถที่ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กระแสตรงไปวางจึงทำให้รถเคลื่อนที่ไปได้



รูปที่ 3.5.1 แสดงรางรถ ทางตรง และ ทางโค้ง

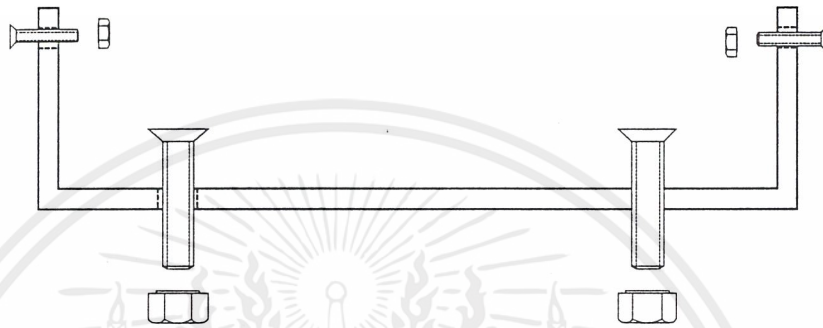
ลักษณะของราง แบ่งเป็น เส้นทางตรง และเส้นทางโค้ง ดังรูป 3.4.1 นำมาเชื่อมต่อกัน

3.5.3 ที่ตั้งราง

ประกอบด้วยเส้นทางในระดับปกติ และเส้นทางยกระดับ เพื่อข้ามเส้นทาง ซึ่งทำมาจากอะลูมิเนียม

3.5.4 ที่ตั้งเส้นทางในระดับปกติ

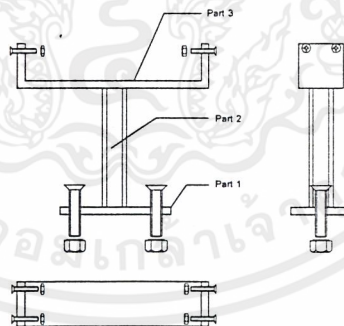
จะใช้ตั้งรางให้สูงจากพื้น 4 เซนติเมตร โดยจะใช้อะลูมิเนียมหนา 2 มิลลิเมตร แล้วตัดเป็นแผ่นขนาด 3x20 เซนติเมตร จากนั้นจึงพับให้เป็นดั่งรูป แล้วจึงทำการเจาะรูเพื่อยึดรางเข้ากับที่ตั้งรางด้วยน็อตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร ส่วนการยึดที่ตั้งกับฐานจะยึดด้วยน็อตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.5.2 แสดงที่ตั้งเส้นทางในลักษณะปกติ

3.5.5 ที่ตั้งเส้นทางยกระดับ

จะเริ่มต้นยกระดับต่อจากเส้นทางในระดับปกติ ซึ่งเส้นทางยกระดับนี้จะเป็นเส้นทางโค้ง โดยจะเริ่มไต่ระดับไปจนถึงเส้นทางตรงเพื่อข้ามเส้นทางในระดับปกติ



รูปที่ 3.5.3 แสดงที่ตั้งเส้นทางยกระดับ

ลักษณะของที่ตั้งเส้นทางยกระดับ แบ่งเป็น 3 ส่วน

ส่วนที่ 1 ใช้สำหรับยึดรางเข้ากับที่ตั้ง โดยการตัดแผ่นอะลูมิเนียมหนา 1.5 มิลลิเมตร แล้วพับดั่งรูป จากนั้นจึงเจาะรูเพื่อยึดรางเข้ากับที่ตั้งด้วยน็อตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร

ส่วนที่ 2 ในส่วนนี้จะเป็นที่อะลูมิเนียมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง ดังรูป ความยาวของท่อขึ้นอยู่กับการยกระดับมีขนาดความยาว

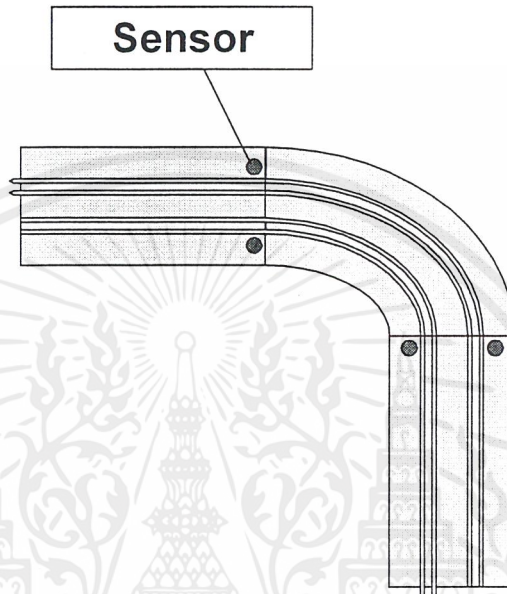
ส่วนที่ 3 ส่วนที่ใช้สำหรับยึดฐานเข้ากับที่ตั้งราง โดยการตัดอะลูมิเนียมหนา 2 มิลลิเมตร แล้วยึดด้วยน็อตขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร

3.5.6 ที่ติดตั้งหลอดไฟ หลอดไฟที่ใช้มีขนาด 12 โวลต์ ไว้ใช้สำหรับส่งรังสีความร้อนให้กับตัวตรวจจับ ซึ่งจะได้อธิบายในหลักการของภาคตรวจจับต่อไป ลักษณะของที่ติดตั้งหลอดไฟจะใช้หลอดพลาสติกสีขาว แล้วจึงติดตั้งหลอดไฟดังรูป 3.5.4



รูปที่ 3.5.4 แสดงการติดตั้งหลอดไฟ

นอกจากนี้ในส่วนของตัวตรวจจับ ในที่นี้ใช้ อินฟราเรดเซนเซอร์ จะต้องมีการยึดติดกับราง โดยยึดแผ่นปรินท์ที่มีวงจรของตัวตรวจจับและตัวตรวจจับภายใต้รางแล้วเจาะรูให้ตัวตรวจจับรับแสงได้ ดังรูปที่ 3.5.5



รูปที่ 3.5.5 แสดงการติดตั้งเซนเซอร์ กับราง

3.6 แนวความคิดในการออกแบบโปรแกรมและโปรแกรม

3.6.1 แนวความคิด

เริ่มต้นสำหรับการคิดทำโครงงานนี้ มีจุดประสงค์ที่จะทำให้รถสามารถวิ่งบนเส้นทางทั้งทางตรงและทางโค้งเพื่อต้องการให้ได้ความเร็วเฉลี่ยสูงสุดโดยไม่ทำให้รถหลุดออกนอกเส้นทาง และต้องการที่จะเลียนแบบให้อยู่ในสภาพตามความเป็นจริงมากที่สุด คือ

3.6.1.1 เซนเซอร์เปรียบเหมือนกับประสาทสัมผัสทางสายตาของคนเราในการขับขี่ที่คอยมองเส้นทางว่าเป็นอย่างไร เพื่อใช้ในการตัดสินใจในการบังคับรถ

3.6.1.2 วงจรจับมอเตอร์ เปรียบเหมือนกับคันเร่งเพื่อบังคับให้รถวิ่งเร็วหรือช้าโดยใช้หน่วยประมวลผลกลางเป็นตัวควบคุม

3.6.1.3 หน่วยประมวลผลกลางเปรียบเหมือนกับสมองของคนในการขับขี่รถที่ใช้ในการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัดสินใจจากการได้รับความรู้สึก ในที่นี้หมายถึง เซนเซอร์ และตัดสินใจว่าจะบังคับรถด้วยความเร็วเท่าใดเมื่อสภาพถนนมีลักษณะแบบต่างๆ ในที่นี้หมายถึง วงจรขับมอเตอร์

3.6.1.4 ในความเป็นจริงสมรรถนะของรถแต่ละคันจะไม่เท่ากัน รถบางคันมีความเร็วสูงสุดมาก น้อยไม่เท่ากัน หรือมีอัตราเร่งต่างกัน ในที่นี้จะต้องมีการทดสอบมอเตอร์ของรถแต่ละคันว่ามีคุณสมบัติอย่างไร แล้วกำหนดคุณสมบัติของรถในโปรแกรมเพื่อให้ผู้ใช้โปรแกรมได้วิเคราะห์ในการเลือกใช้รถเพื่อให้ได้รถที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

3.6.1.5 ในความเป็นจริงรถยนต์จะต้องมีการใช้เชื้อเพลิงในการขับเคลื่อน คือ น้ำมัน ในโครงการนี้ต้องการจะเลียนแบบสภาพจริงให้มากที่สุด โดยจะสมมติในโปรแกรมว่ารถใช้เชื้อเพลิงเป็นน้ำมันและมีอัตราสิ้นเปลืองที่ต่างกันในแต่ละความเร็ว ตัวอย่างเช่น

รถวิ่งด้วยความเร็ว 120 กม./ชม. มีอัตราสิ้นเปลืองน้ำมัน 7 กม./ลิตร

รถวิ่งด้วยความเร็ว 100 กม./ชม. มีอัตราสิ้นเปลืองน้ำมัน 8 กม./ลิตร

รถวิ่งด้วยความเร็ว 80 กม./ชม. มีอัตราสิ้นเปลืองน้ำมัน 9 กม./ลิตร

รถวิ่งด้วยความเร็ว 60 กม./ชม. มีอัตราสิ้นเปลืองน้ำมัน 10 กม./ลิตร

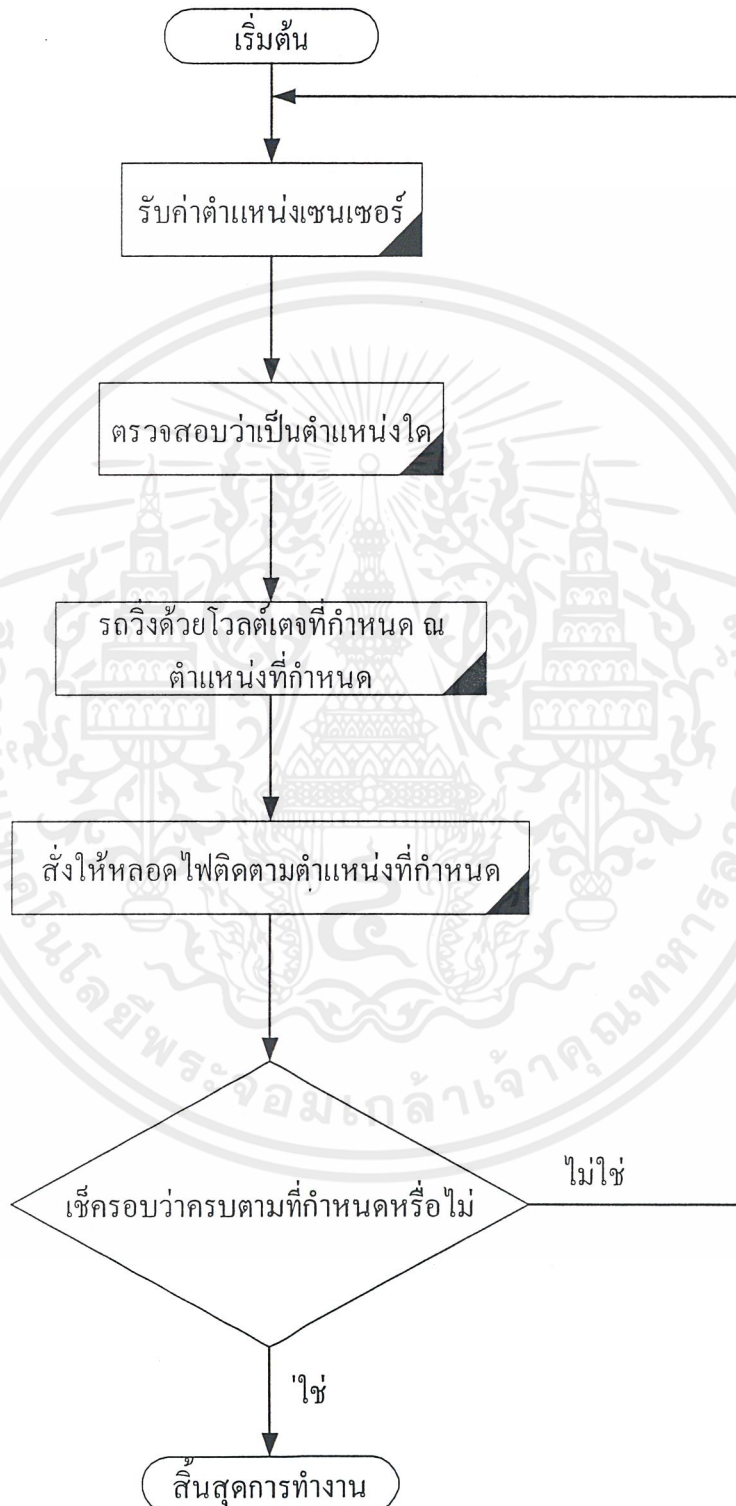
รถวิ่งด้วยความเร็ว 40 กม./ชม. มีอัตราสิ้นเปลืองน้ำมัน 12 กม./ลิตร เป็นต้น

จะเห็นได้ว่าบางทีรถที่มีอัตราเร็วสูงนั้น ในการวิ่งในระยะทางไกลๆ ก็จะต้องมีการหยุดจอดรถเพื่อเติมน้ำมันบ่อยครั้ง ทำให้ต้องเสียเวลากว่ารถที่วิ่งด้วยอัตราเร็วที่ช้ากว่า ซึ่งถือว่าเป็นการลดความเหลือมล้ำของความสามารถของรถลงไปได้

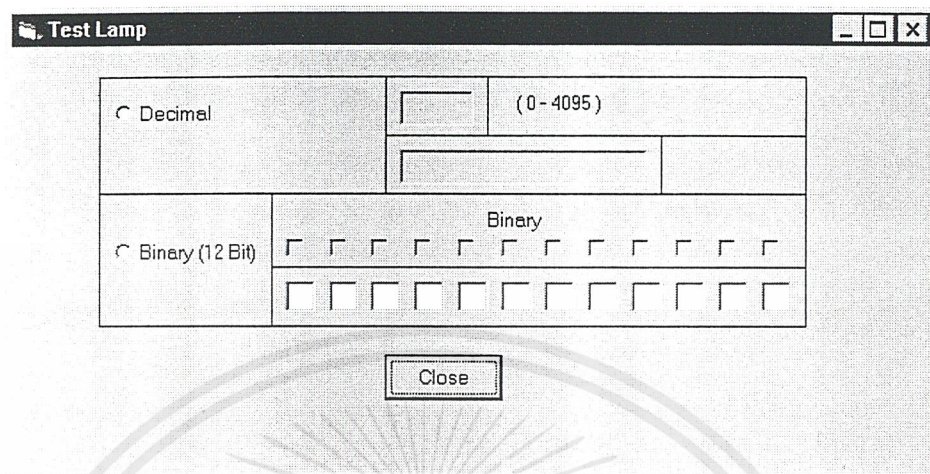
3.6.1.6 ในการออกแบบหน้าจอแสดงผลนั้นต้องเอื้ออำนวยความสะดวกให้ผู้ใช้มากที่สุด

3.6.2 โฟลว์ชาร์ตการทำงาน

รูปที่ 3.6.1 แสดงโฟลว์ชาร์ตการทำงาน

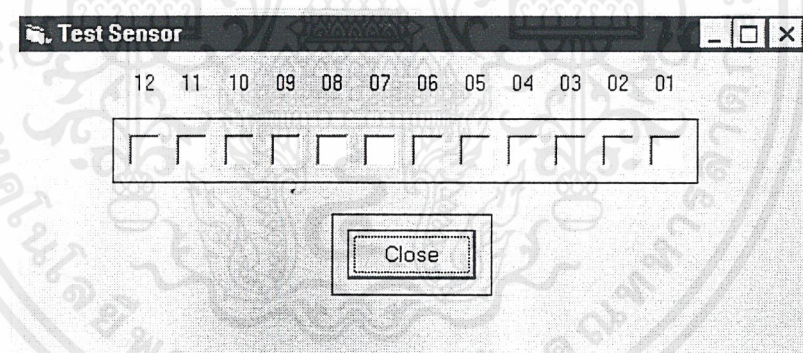


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6.4 ฟอรัมทดสอบหลอดไฟ

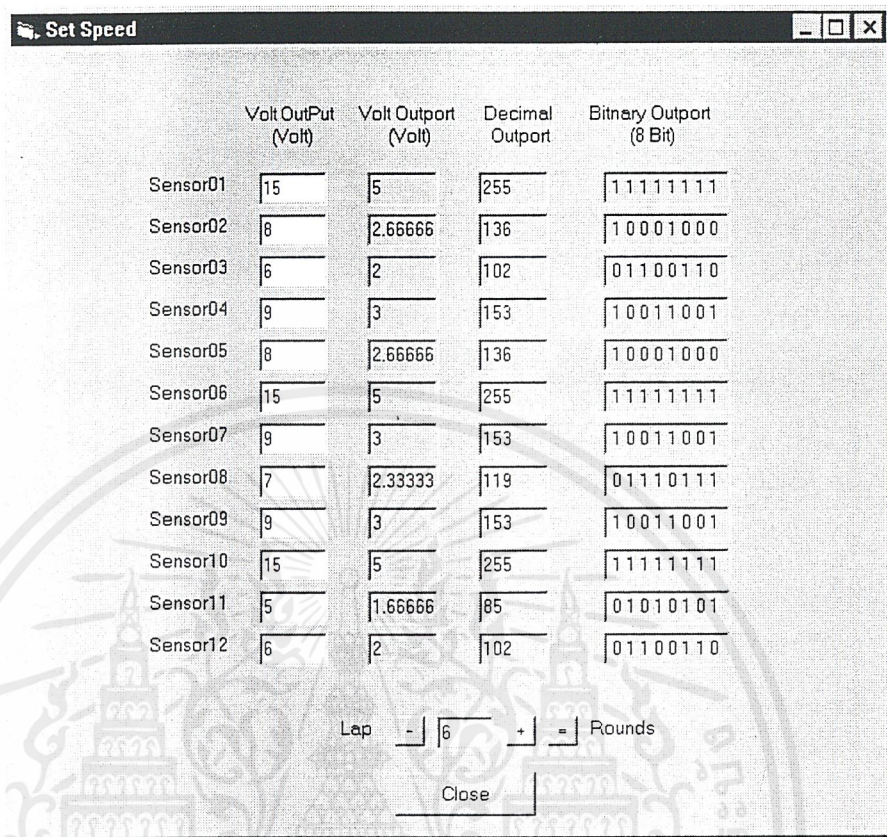
3.6.3.4 ฟอรัมทดสอบเซนเซอร์



รูปที่ 3.6.5 ฟอรัมทดสอบเซนเซอร์

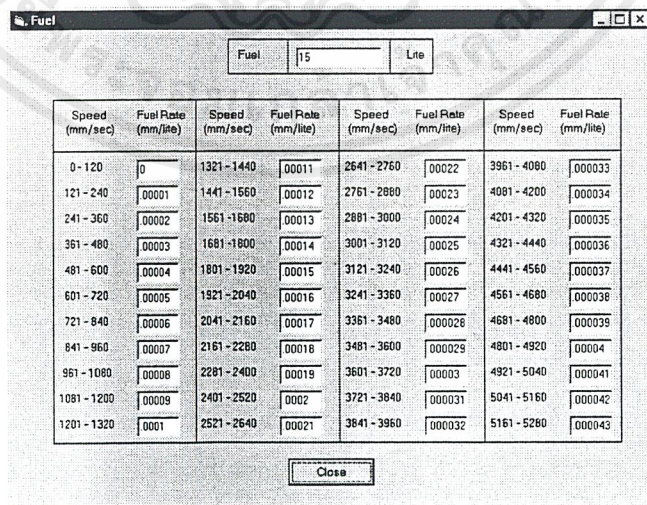
3.6.3.5 ฟอรัมตั้งค่าความเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6.6 โปรแกรมตั้งค่าความเร็ว

3.6.3.6 โปรแกรมตั้งค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง



รูปที่ 3.6.7 โปรแกรมตั้งค่าอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.3.7 ฟอรัมจับหลอดไฟ

	Binary (8 Bit)	Decimal
Sensor01	11111111110	4094
Sensor02	11111111100	4092
Sensor03	11111111000	4088
Sensor04	11111110000	4080
Sensor05	11111100000	4064
Sensor06	11111000000	4032
Sensor07	11110000000	3968
Sensor08	11100000000	3840
Sensor09	11000000000	3584
Sensor10	10000000000	3072
Sensor11	10000000000	2048
Sensor12	11111111111	4095

Close

รูปที่ 3.6.8 ฟอรัมจับหลอดไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองวงจรอิเล็กทรอนิกส์

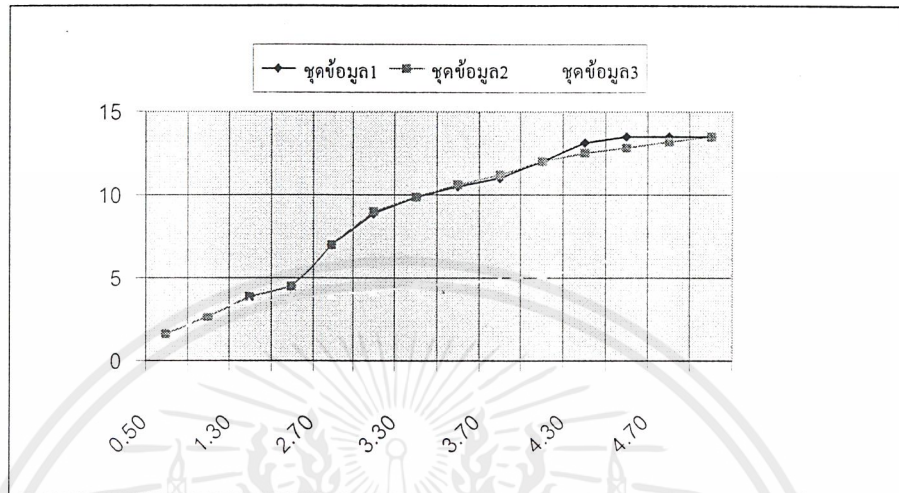
4.1 การทดลองวงจรขั้วมอเตอร์

การเขียนโปรแกรมควบคุมความเร็วของมอเตอร์ที่ส่งออกมาจากพอร์ตของคอมพิวเตอร์ขนาด 8 บิตซึ่งมีค่าต่างกัน 256 ระดับในช่วง 0-15 โวลต์ดังนั้นจึงทำการทดลองโดยป้อนค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ค่าต่างๆ ในสถานะที่มีโหลด (มอเตอร์) และไม่มีโหลดต่ออยู่ด้วย เพื่อศึกษาว่า สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้ตรงตามทฤษฎีหรือไม่

อินพุต (โวลต์)	เอาต์พุตของวงจรขยายแรงดัน(โวลต์)	เอาต์พุตของวงจรขยายกระแส ในสถานะไม่มีโหลด (โวลต์)	เอาต์พุตของวงจรขยายกระแสในสถานะต่อโหลด(โวลต์)
0.5	1.6	1.6	1
1	2.7	3	3.2
1.3	3.9	3.9	3.5
1.5	4.5	4.5	3.8
2.7	7.0	7.0	4
3	9	9	4.2
3.3	9.9	9.9	4.5
3.5	10.5	10.5	4.7
3.7	11	11	4.9
4	12	12	5.12
4.3	13	12.5	5.5
4.5	13.5	12.8	6.5
4.7	13.5	13.2	6.7
5	13.5	13.5	6.9

ตารางที่ 4.1.1 แสดงผลการทดลองวงจรขั้วมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1.1 กราฟแสดงผลการทดลอง

ชุดข้อมูล 1 แสดงค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ของวงจรขยายแรงดัน

ชุดข้อมูล 2 แสดงค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ของวงจรขยายกระแสในสถานะไม่มีโหลด

ชุดข้อมูล 3 แสดงค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต ของวงจรขยายแรงดันในสถานะต่อโหลด

4.2 การทดลองวงจรเซนเซอร์

ในส่วนของวงจรนี้ทำการทดลองว่าเมื่อมีรถตัดผ่านตัวเซนเซอร์แล้ววงจรเปรียบเทียบสัญญาณแรงดันไฟฟ้าทำการส่งค่าเอาต์พุตได้ตรงตามที่กำหนดหรือไม่ นั่นคือ

เมื่อไม่มีรถตัดผ่านตัวเซนเซอร์ เอาต์พุตที่ได้มีค่าเท่ากับ 0 โวลต์ หรือให้ลอจิก "0" ออกมา

เมื่อมีรถตัดผ่านตัวเซนเซอร์ เอาต์พุตที่ได้มีค่าเท่ากับ 5 โวลต์ หรือให้ลอจิก "1" ออกมา

4.3 การทดลองวงจรควบคุมการเปิดปิดของหลอดไฟ

สามารถทดสอบโดยการป้อนสัญญาณแรงดันไฟฟ้า 5 โวลต์ให้กับขาเบสของทรานซิสเตอร์ เหมือนกับเป็นการส่งค่าลอจิก 1 ออกมาจากคอมพิวเตอร์ทำให้หลอดไฟสว่างขึ้น

ถ้าไม่มีการส่งสัญญาณแรงดันไฟฟ้าให้กับขาเบสของทรานซิสเตอร์ ก็เท่ากับว่าเป็นการส่งค่าลอจิก "0" ออกมาจึงไม่ทำให้หลอดไฟสว่างได้

บทที่ 5

บทวิจารณ์และบทสรุป

5.1 บทวิจารณ์

โครงการนี้ประกอบด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์พื้นฐานที่ไม่ซับซ้อนมากนัก เนื่องด้วยขนาดของโครงการที่ใหญ่และต้องการความละเอียดในการจัดทำ จึงเกิดปัญหายุ่งยากมากมายทำให้มีความล่าช้าในการทำงาน

เมื่อโครงการนี้ได้ทำสำเร็จก็จะทำให้มี ประโยชน์เป็นอย่างมากซึ่งเหมาะกับผู้ที่สนใจในการพัฒนาทักษะการเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาทางคอมพิวเตอร์ อาทิเช่น วิซวล ซี (Visual C) ,เดลไฟ (Delphi) หรือวิซวลเบสิก เป็นต้น เขียนโปรแกรมควบคุมได้ตามต้องการ ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าจะกำหนดรูปแบบโครงการนี้อย่างไร

5.2 บทสรุป

โครงการนี้เป็นการพัฒนาอุปกรณ์ของเล่น (รถราง) ให้มีขีดความสามารถในการขับเคลื่อนให้เหมือนจริง โดยการควบคุมจากโปรแกรมที่เขียนขึ้นโดยอาศัยวงจรเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกกับคอมพิวเตอร์ และวงจรจับมอเตอร์ซึ่งใช้ในการขับเคลื่อนรถ ส่วนวงจรเซนเซอร์ วงจรเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า และวงจรควบคุมการเปิดปิดหลอดไฟ เป็นในการตรวจจับรถ

โปรแกรมเขียนขึ้นนี้สามารถใช้ลดหรือเพิ่มความเร็วรถได้ตามเส้นทางที่รถวิ่งผ่าน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM741 Operational Amplifier

General Description

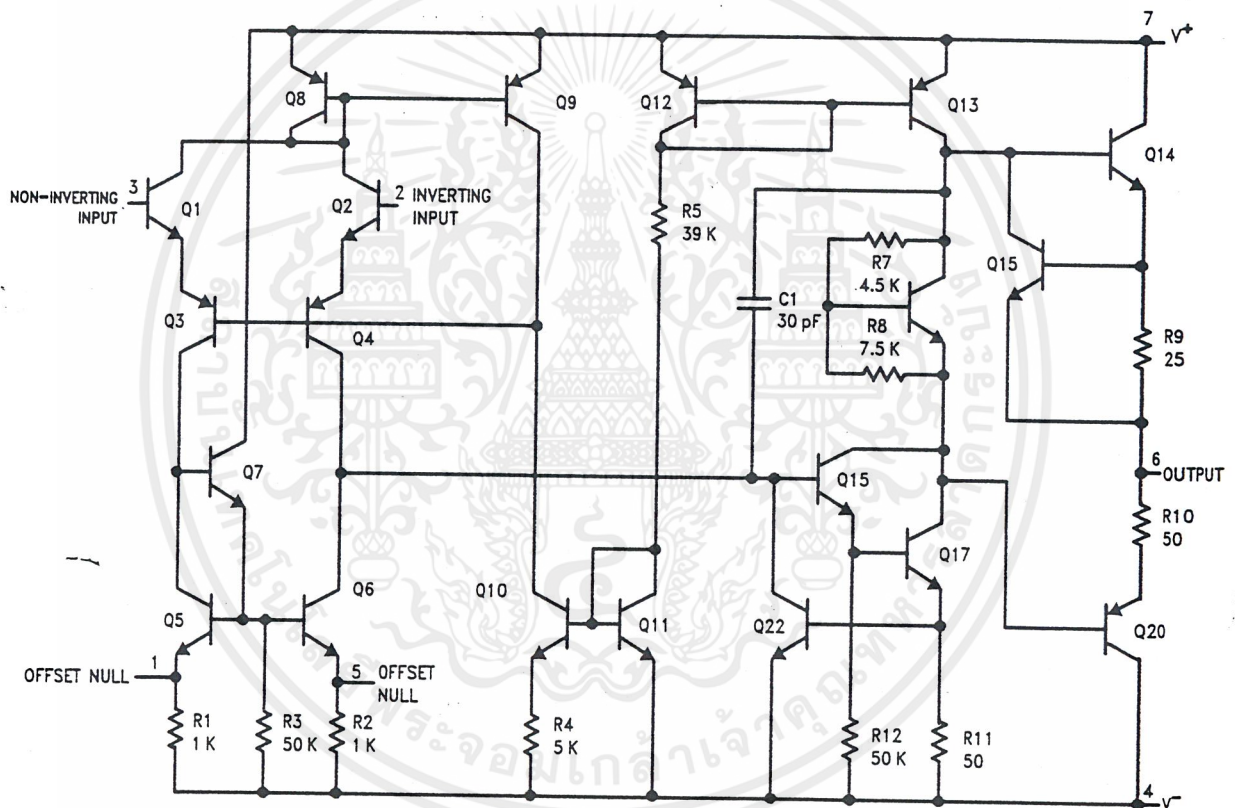
The LM741 series are general purpose operational amplifiers which feature improved performance over industry standards like the LM709. They are direct, plug-in replacements for the 709C, LM201, MC1439 and 748 in most applications.

The amplifiers offer many features which make their application nearly foolproof: overload protection on the input and

output, no latch-up when the common mode range is exceeded, as well as freedom from oscillations.

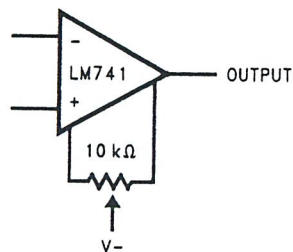
The LM741C/LM741E are identical to the LM741/LM741A except that the LM741C/LM741E have their performance guaranteed over a 0°C to +70°C temperature range, instead of -55°C to +125°C.

Schematic Diagram



TL/H/9341-1

Offset Nulling Circuit



TL/H/9341-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications.
(Note 5)

	LM741A	LM741E	LM741	LM741C
Supply Voltage	±22V	±22V	±22V	±18V
Power Dissipation (Note 1)	500 mW	500 mW	500 mW	500 mW
Differential Input Voltage	±30V	±30V	±30V	±30V
Input Voltage (Note 2)	±15V	±15V	±15V	±15V
Output Short Circuit Duration	Continuous	Continuous	Continuous	Continuous
Operating Temperature Range	-55°C to +125°C	0°C to +70°C	-55°C to +125°C	0°C to +70°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Junction Temperature	150°C	100°C	150°C	100°C
Soldering Information				
N-Package (10 seconds)	260°C	260°C	260°C	260°C
J- or H-Package (10 seconds)	300°C	300°C	300°C	300°C
M-Package				
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	215°C	215°C	215°C	215°C

See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.

	LM741A	LM741E	LM741	LM741C
ESD Tolerance (Note 6)	400V	400V	400V	400V

Electrical Characteristics (Note 3)

Parameter	Conditions	LM741A/LM741E			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$ $R_S \leq 50\Omega$		0.8	3.0		1.0	5.0	2.0	6.0	mV mV	
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $R_S \leq 50\Omega$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$			4.0			6.0		7.5	mV mV	
Average Input Offset Voltage Drift				15						$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$	
Input Offset Voltage Adjustment Range	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20\text{V}$	±10				±15		±15		mV	
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		3.0	30		20	200		20	200	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			70		85	500			300	nA
Average Input Offset Current Drift				0.5						$\text{nA}/^\circ\text{C}$	
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		30	80		80	500		80	500	nA
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$			0.210			1.5			0.8	μA
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20\text{V}$	1.0	6.0		0.3	2.0		0.3	2.0	$\text{M}\Omega$	
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}, V_S = \pm 20\text{V}$	0.5								$\text{M}\Omega$	
Input Voltage Range	$T_A = 25^\circ\text{C}$							±12	±13	V	
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$				±12	±13				V	
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}, R_L \geq 2\text{ k}\Omega$ $V_S = \pm 20\text{V}, V_O = \pm 15\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}, V_O = \pm 10\text{V}$	50				50	200	20	200	V/mV V/mV	
	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}, R_L \geq 2\text{ k}\Omega,$ $V_S = \pm 20\text{V}, V_O = \pm 15\text{V}$ $V_S = \pm 15\text{V}, V_O = \pm 10\text{V}$	32								V/mV V/mV	
	$V_S = \pm 5\text{V}, V_O = \pm 2\text{V}$	10							15	V/mV	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของ National Semiconductor Corporation. การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย.

Electrical Characteristics (Note 3) (Continued)

Parameter	Conditions	LM741A/LM741E			LM741			LM741C			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 20V$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$	± 16									V V
	$V_S = \pm 15V$ $R_L \geq 10\text{ k}\Omega$ $R_L \geq 2\text{ k}\Omega$				± 12 ± 10	± 14 ± 13		± 12 ± 10	± 14 ± 13		V V
Output Short Circuit Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$	10 10	25	35 40		25			25		mA mA
Common-Mode Rejection Ratio	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega, V_{CM} = \pm 12V$ $R_S \leq 50\Omega, V_{CM} = \pm 12V$	80	95		70	90		70	90		dB dB
Supply Voltage Rejection Ratio	$T_{AMIN} \leq T_A \leq T_{AMAX}$, $V_S = \pm 20V$ to $V_S = \pm 5V$ $R_S \leq 50\Omega$ $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$	86	96		77	96		77	96		dB dB
Transient Response Rise Time Overshoot	$T_A = 25^\circ\text{C}$, Unity Gain		0.25	0.8		0.3			0.3		μs %
			6.0	20		5			5		
Bandwidth (Note 4)	$T_A = 25^\circ\text{C}$	0.437	1.5								MHz
Slew Rate	$T_A = 25^\circ\text{C}$, Unity Gain	0.3	0.7			0.5			0.5		V/ μs
Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$					1.7	2.8		1.7	2.8	mA
Power Consumption	$T_A = 25^\circ\text{C}$ $V_S = \pm 20V$ $V_S = \pm 15V$		80	150		50	85		50	85	mW mW
	LM741A $V_S = \pm 20V$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$			165 135							mW mW
LM741E	$V_S = \pm 20V$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$			150 150							mW mW
LM741	$V_S = \pm 15V$ $T_A = T_{AMIN}$ $T_A = T_{AMAX}$					60 45	100 75				mW mW

Note 1: For operation at elevated temperatures, these devices must be derated based on thermal resistance, and T_j max. (listed under "Absolute Maximum Ratings"). $T_j = T_A + (\theta_{JA} P_D)$.

Thermal Resistance	Cerdip (J)	DIP (N)	HO8 (H)	SO-8 (M)
θ_{JA} (Junction to Ambient)	100°C/W	100°C/W	170°C/W	195°C/W
θ_{JC} (Junction to Case)	N/A	N/A	25°C/W	N/A

Note 2: For supply voltages less than $\pm 15V$, the absolute maximum input voltage is equal to the supply voltage.

Note 3: Unless otherwise specified, these specifications apply for $V_S = \pm 15V$, $-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$ (LM741/LM741A). For the LM741C/LM741E, these specifications are limited to $0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$.

Note 4: Calculated value from: BW (MHz) = 0.35/Rise Time(μs).

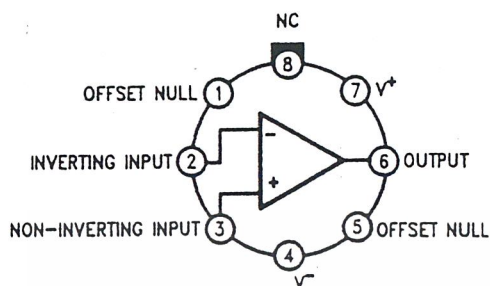
Note 5: For military specifications see RETS741X for LM741 and RETS741AX for LM741A.

Note 6: Human body model, 1.5 k Ω in series with 100 pF.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Connection Diagrams

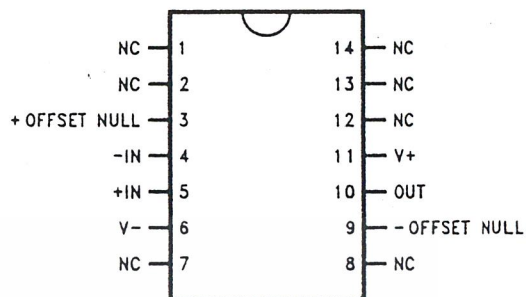
Metal Can Package



TL/H/9341-2

Order Number LM741H, LM741H/883*,
LM741AH/883 or LM741CH
See NS Package Number H08C

Ceramic Dual-In-Line Package



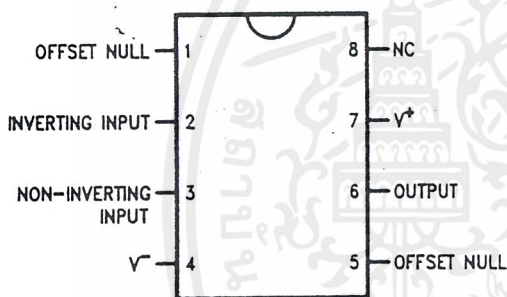
TL/H/9341-5

Order Number LM741J-14/883*, LM741AJ-14/883**
See NS Package Number J14A

*also available per JM38510/10101

**also available per JM38510/10102

Dual-In-Line or S.O. Package



TL/H/9341-3

Order Number LM741J, LM741J/883,
LM741CM, LM741CN or LM741EN
See NS Package Number J08A, M08A or N08E

Ceramic Flatpak



TL/H/9341-6

Order Number LM741W/883
See NS Package Number W10A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

*LM741H is available per JM38510/10101

โปรดอ่านข้อมูลทั้งหมดก่อนใช้ให้ถูกต้องและปฏิบัติตามข้อกำหนดและข้อควรระวังของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM139/LM239/LM339/LM2901/LM3302

Low Power Low Offset Voltage Quad Comparators

General Description

The LM139 series consists of four independent precision voltage comparators with an offset voltage specification as low as 2 mV max for all four comparators. These were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage. These comparators also have a unique characteristic in that the input common-mode voltage range includes ground, even though operated from a single power supply voltage.

Application areas include limit comparators, simple analog to digital converters; pulse, squarewave and time delay generators; wide range VCO; MOS clock timers; multivibrators and high voltage digital logic gates. The LM139 series was designed to directly interface with TTL and CMOS. When operated from both plus and minus power supplies, they will directly interface with MOS logic— where the low power drain of the LM339 is a distinct advantage over standard comparators.

Advantages

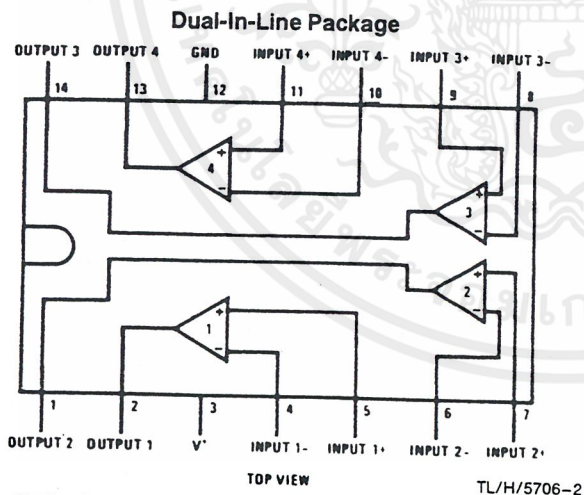
- High precision comparators
- Reduced V_{OS} drift over temperature

- Eliminates need for dual supplies
- Allows sensing near GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation

Features

- Wide supply voltage range
 - LM139 series,
 - 2 V_{DC} to 36 V_{DC} or $\pm 1 V_{DC}$ to $\pm 18 V_{DC}$
 - LM139A series, LM2901
 - 2 V_{DC} to 28 V_{DC} or $\pm 1 V_{DC}$ to $\pm 14 V_{DC}$
- Very low supply current drain (0.8 mA) — independent of supply voltage
- Low input biasing current 25 nA
- Low input offset current ± 5 nA
and offset voltage ± 3 mV
- Input common-mode voltage range includes GND
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Low output saturation voltage 250 mV at 4 mA
- Output voltage compatible with TTL, DTL, ECL, MOS and CMOS logic systems

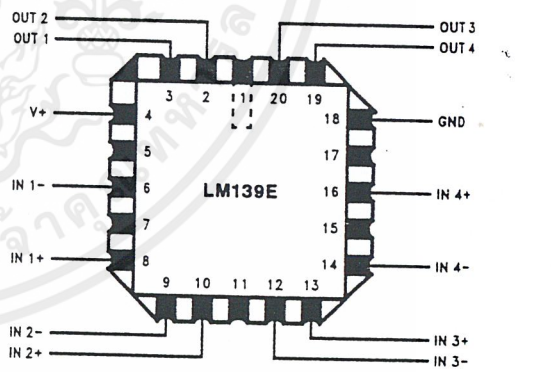
Connection Diagrams



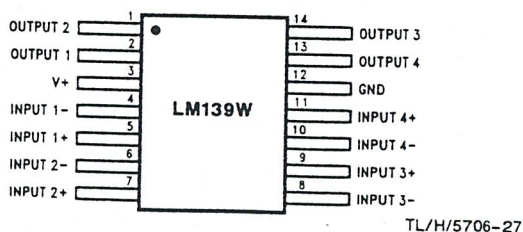
Order Number LM139J, LM139J/883*, LM139AJ, LM139AJ/883**, LM239J, LM239AJ, LM339J,
See NS Package Number J14A
Order Number LM339AM, LM339M or LM2901M
See NS Package Number M14A
Order Number LM339N, LM339AN, LM2901N or LM3302N
See NS Package Number N14A

*Available per JM38510/11201

**Available per SMD# 5962-8873901



Order Number LM139AE/883 or LM139E/883
See NS Package Number E20A



Order Number LM139AW/883 or LM139W/883*
See NS Package Number W14B

Absolute Maximum Ratings

If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the National Semiconductor Sales Office/Distributors for availability and specifications. (Note 10)

LM139/LM239/LM339

LM139A/LM239A/LM339A

LM2901

LM3302

LM139/LM239/LM339

LM139A/LM239A/LM339A

LM2901

LM3302

Parameter	Conditions	LM139A	LM239A, LM339A	LM139	LM239, LM339	LM2901	LM3302	Units
Supply Voltage, V^+		36 V_{DC} or $\pm 18 V_{DC}$	28 V_{DC} or $\pm 14 V_{DC}$	Operating Temperature Range		0°C to +70°C	-40°C to +85°C	
Differential Input Voltage (Note 8)		36 V_{DC}	28 V_{DC}	LM339/LM339A	LM239/LM339A	-25°C to +85°C		
Input Voltage		-0.3 V_{DC} to +36 V_{DC}	-0.3 V_{DC} to +28 V_{DC}	LM239/LM239A	LM2901	-40°C to +85°C		
Input Current ($V_{IN} < -0.3 V_{DC}$), (Note 3)		50 mA	50 mA	LM139/LM139A		-55°C to +125°C		
Power Dissipation (Note 1)		1050 mW	1050 mW	Soldering Information		260°C	260°C	
Molded DIP		1190 mW		Dual-In-Line Package				
Cavity DIP		760 mW		Soldering (10 seconds)				
Small Outline Package				Small Outline Package				
Output Short-Circuit to GND, (Note 2)		Continuous	Continuous	Vapor Phase (60 seconds)		215°C	215°C	
Storage Temperature Range		-65°C to +150°C	-65°C to +150°C	Infrared (15 seconds)		220°C	220°C	
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)		260°C	260°C	See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.		600V	600V	
				ESD rating (1.5 k Ω in series with 100 pF)				

Electrical Characteristics ($V^+ = 5 V_{DC}$, $T_A = 25^\circ C$, unless otherwise stated)

Parameter	Conditions	LM139A	LM239A, LM339A	LM139	LM239, LM339	LM2901	LM3302	Units
Input Offset Voltage (Note 9)		1.0 2.0	1.0 2.0	2.0 5.0	2.0 5.0	2.0 7.0	3 20	mV _{DC}
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$ with Output in Linear Range, (Note 5), $V_{CM} = 0V$	25 100	25 250	25 100	25 100	25 250	25 500	nA _{DC}
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$, $V_{CM} = 0V$	3.0 25	5.0 50	3.0 25	5.0 50	5 50	3 100	nA _{DC}
Input Common-Mode Voltage Range	$V^+ = 30 V_{DC}$ (LM3302), $V^+ = 28 V_{DC}$ (Note 6)	0 $V^+ - 1.5$	0 $V^+ - 1.5$	0 $V^+ - 1.5$	0 $V^+ - 1.5$	0 $V^+ - 1.5$	0 $V^+ - 1.5$	V _{DC}
Supply Current	$R_L = \infty$ on all Comparators, $R_L = \infty$, $V^+ = 36V$, (LM3302), $V^+ = 28 V_{DC}$	0.8 2.0	0.8 2.0	0.8 2.0	0.8 2.0	0.8 2.0	0.8 2.0	mA _{DC}
Voltage Gain	$R_L \geq 15 k\Omega$, $V^+ = 15 V_{DC}$, $V_o = 1 V_{DC}$ to $11 V_{DC}$	50 200	50 200	50 200	50 200	25 100	2 30	V/mV
Large Signal Response Time	$V_{IN} =$ TTL Logic Swing, $V_{REF} = 1.4 V_{DC}$, $V_{RL} = 5 V_{DC}$, $R_L = 5.1 k\Omega$,	300	300	300	300	300	300	ns
Response Time	$V_{RL} = 5 V_{DC}$, $R_L = 5.1 k\Omega$, (Note 7)	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	μs
Output Sink Current	$V_{IN(-)} = 1 V_{DC}$, $V_{IN(+)} = 0$, $V_o \leq 1.5 V_{DC}$	6.0 16	6.0 16	6.0 16	6.0 16	6.0 16	6.0 16	mA _{DC}

Electrical Characteristics ($V^+ = 5 V_{DC}$, $T_A = 25^\circ C$, unless otherwise stated) (Continued)

Parameter	Conditions	LM139A		LM239A, LM339A		LM139		LM239, LM339		LM2901		LM3302		Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Saturation Voltage	$V_{IN(-)} = 1 V_{DC}$; $V_{IN(+)} = 0$, $I_{SINK} \leq 4 \text{ mA}$		250	400		250	400		250	400		250	500	mV _{DC}
Output Leakage Current	$V_{IN(+)} = 1 V_{DC}$; $V_{IN(-)} = 0$, $V_O = 5 V_{DC}$		0.1			0.1			0.1			0.1		nADC

Electrical Characteristics ($V^+ = 5.0 V_{DC}$, Note 4)

Parameter	Conditions	LM139A		LM239A, LM339A		LM139		LM239, LM339		LM2901		LM3302		Units	
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max		Min
Input Offset Voltage	(Note 9)													mV _{DC}	
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$; $V_{CM} = 0V$		4.0			4.0			9.0				40	mV _{DC}	
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$ with Output in Linear Range, $V_{CM} = 0V$ (Note 5)		100			150			100				300	nADC	
Input Common-Mode Voltage Range	$V^+ = 30 V_{DC}$ (LM3302, $V^+ = 28 V_{DC}$) (Note 6)		0			0			$V^+ - 2.0$				0	$V^+ - 2.0$	V _{DC}
Saturation Voltage	$V_{IN(-)} = 1 V_{DC}$; $V_{IN(+)} = 0$, $I_{SINK} \leq 4 \text{ mA}$		700			700			700				700	mV _{DC}	
Output Leakage Current	$V_{IN(+)} = 1 V_{DC}$; $V_{IN(-)} = 0$, $V_O = 30 V_{DC}$ (LM3302, $V_O = 28 V_{DC}$)		1.0			1.0			1.0				1.0	μ ADC	
Differential Input Voltage	Keep all V_{IN} 's $\geq 0 V_{DC}$ (or V^- , if used), (Note 8)		36			36			36				36	V _{DC}	

Note 1: For operating at high temperatures, the LM339/LM339A, LM2901, LM3302 must be derated based on a 125°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 95°C/W which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM239 and LM139 must be derated based on a 150°C maximum junction temperature. The low bias dissipation and the "ON-OFF" characteristic of the outputs keeps the chip dissipation very small ($P_D \leq 100 \text{ mW}$), provided the output transistors are allowed to saturate.

Note 2: Short circuits from the output to V^+ can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 20 mA independent of the magnitude of V^+ .

Note 3: This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the comparators to go to the V^+ voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than $-0.3 V_{DC}$ (at 25°C).

Note 4: These specifications are limited to $-55^\circ C \leq T_A \leq +125^\circ C$, for the LM139/LM139A, with the LM239/LM239A, all temperature specifications are limited to $-25^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$, the LM339/LM339A temperature specifications are limited to $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$, and the LM2901, LM3302 temperature range is $-40^\circ C \leq T_A \leq +85^\circ C$.

Note 5: The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the reference or input lines.

Note 6: The input common-mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V. The upper end of the common-mode voltage range is $V^+ - 1.5V$ at 25°C, but either or both inputs can go to $+30 V_{DC}$ without damage (25V for LM3302), independent of the magnitude of V^+ .

Note 7: The response time specified is a 100 mV input step with 5 mV overdrive. For larger overdrive signals 300 ns can be obtained, see typical performance characteristics section.

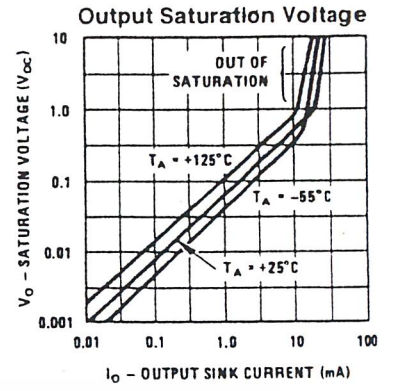
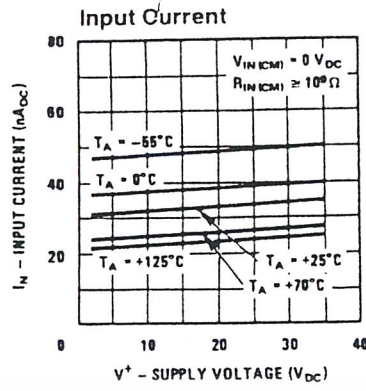
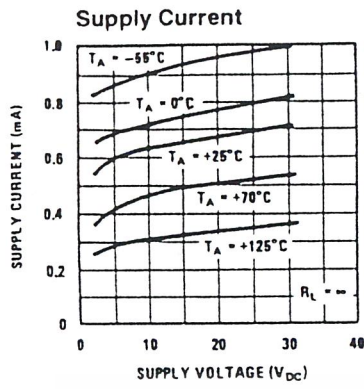
Note 8: Positive excursions of input voltage may exceed the power supply level. As long as the other voltage remains within the common-mode range, the comparator will provide a proper output state. The low input voltage state must not be less than $-0.3 V_{DC}$ (or 0.3 V_{DC} below the magnitude of the negative power supply, if used) (at 25°C).

Note 9: At output switch point, $V_O \approx 1.4 V_{DC}$, $R_S = 0\Omega$, with V^+ from 5 V_{DC} to 30 V_{DC}, and over the full input common-mode range (0 V_{DC} to $V^+ - 1.5 V_{DC}$), at 25°C. For LM3302, V^+ from 5 V_{DC} to 28 V_{DC}.

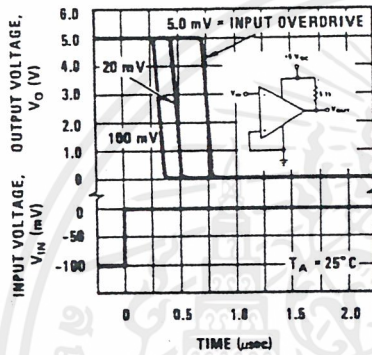
Note 10: Refer to RETS139AX for LM139A military specifications and to RETS139X for LM139 military specifications.

Typical Performance Characteristics LM139/LM239/LM339, LM139A/LM239A/LM339A, LM3302

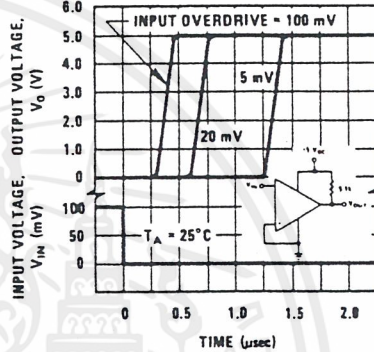
LM139/LM239/LM339/LM2901/LM3302



Response Time for Various Input Overdrives—Negative Transition

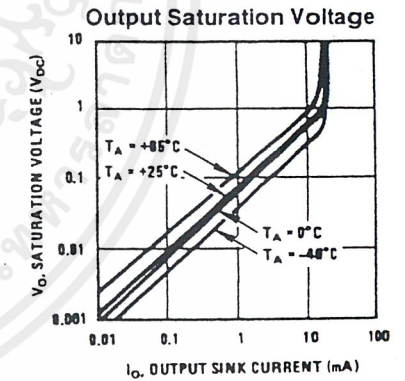
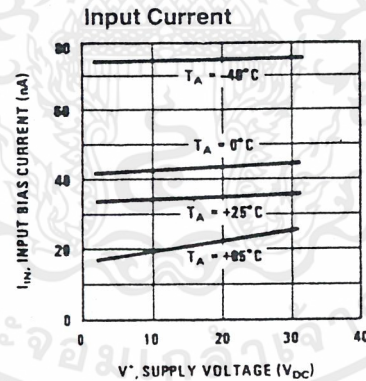
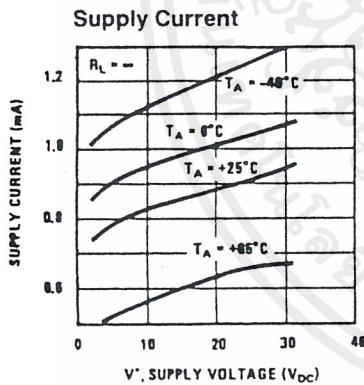


Response Time for Various Input Overdrives—Positive Transition

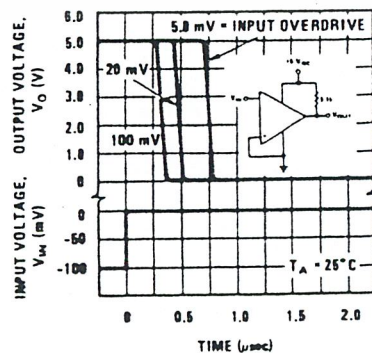


TL/H/5706-6

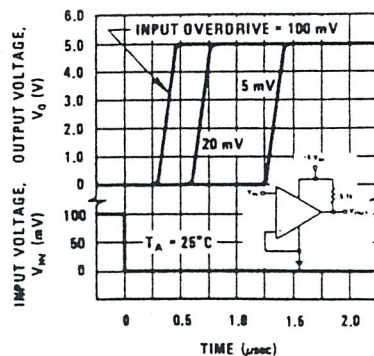
Typical Performance Characteristics LM2901



Response Time for Various Input Overdrives—Negative Transition



Response Time for Various Input Overdrives—Positive Transition



TL/H/5706-7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Application Hints

The LM139 series are high gain, wide bandwidth devices which, like most comparators, can easily oscillate if the output lead is inadvertently allowed to capacitively couple to the inputs via stray capacitance. This shows up only during the output voltage transition intervals as the comparator changes states. Power supply bypassing is not required to solve this problem. Standard PC board layout is helpful as it reduces stray input-output coupling. Reducing this input resistors to $< 10\text{ k}\Omega$ reduces the feedback signal levels and finally, adding even a small amount (1 to 10 mV) of positive feedback (hysteresis) causes such a rapid transition that oscillations due to stray feedback are not possible. Simply socketing the IC and attaching resistors to the pins will cause input-output oscillations during the small transition intervals unless hysteresis is used. If the input signal is a pulse waveform, with relatively fast rise and fall times, hysteresis is not required.

All pins of any unused comparators should be grounded.

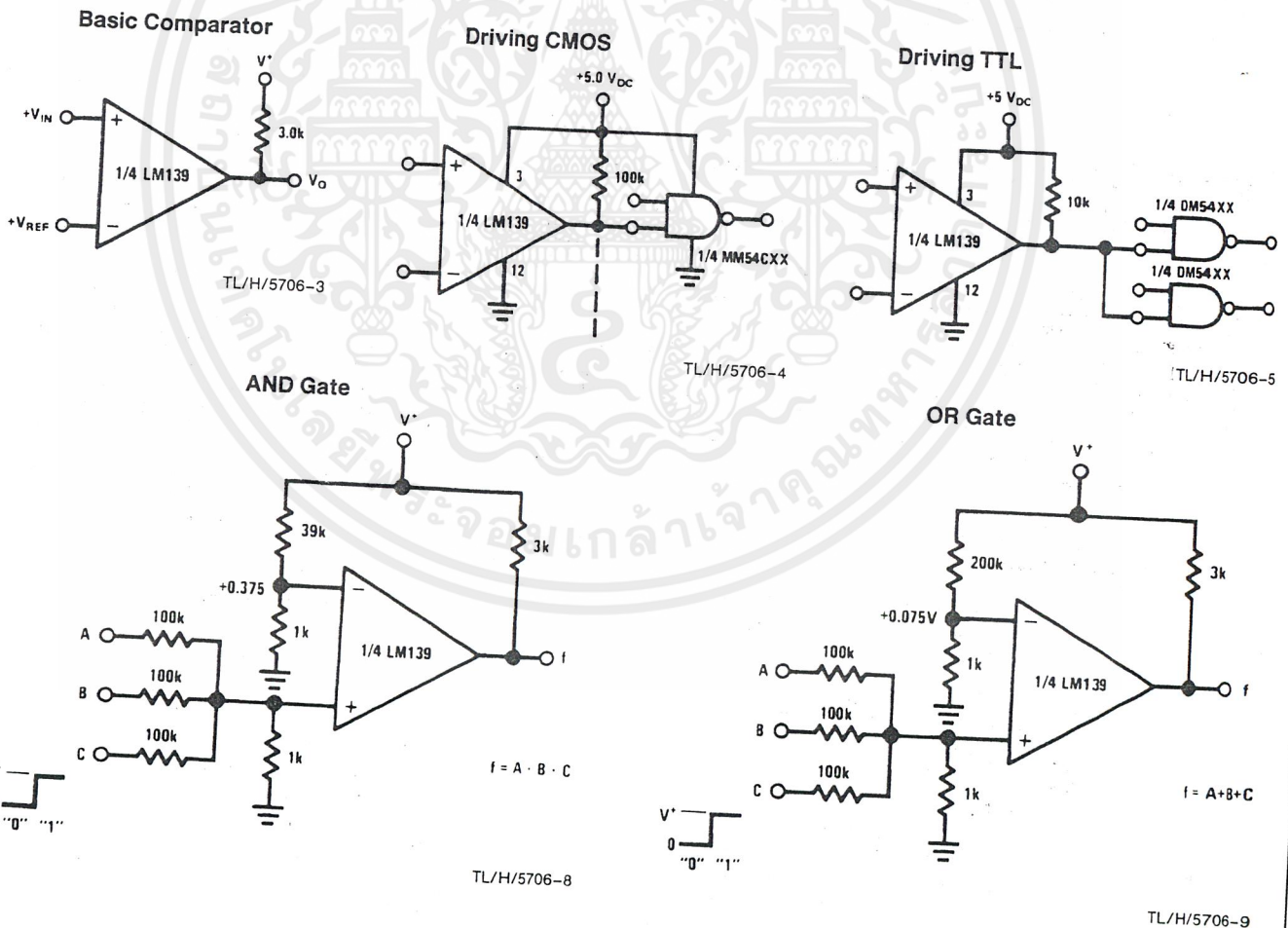
The bias network of the LM139 series establishes a drain current which is independent of the magnitude of the power supply voltage over the range of from 2 V_{DC} to 30 V_{DC} .

It is usually unnecessary to use a bypass capacitor across the power supply line.

The differential input voltage may be larger than V^+ without damaging the device. Protection should be provided to prevent the input voltages from going negative more than $-0.3\text{ V}_{\text{DC}}$ (at 25°C). An input clamp diode can be used as shown in the applications section.

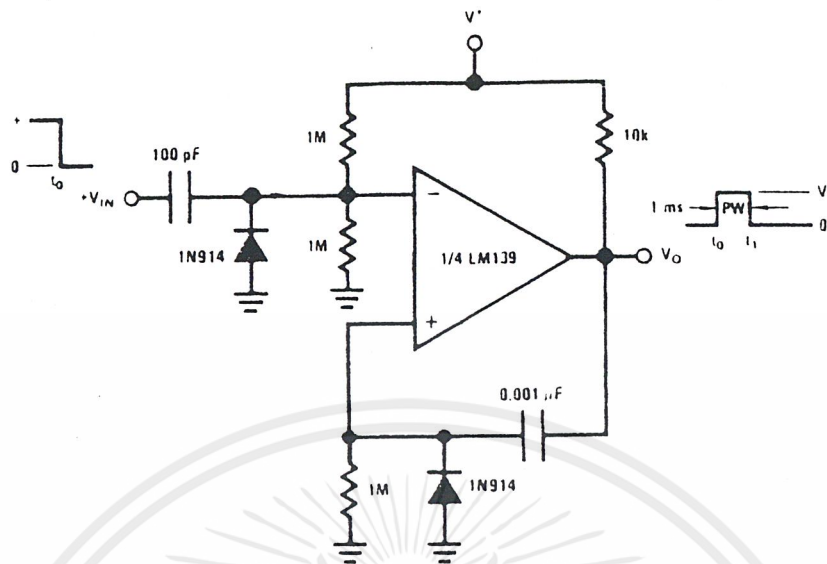
The output of the LM139 series is the uncommitted collector of a grounded-emitter NPN output transistor. Many collectors can be tied together to provide an output OR'ing function. An output pull-up resistor can be connected to any available power supply voltage within the permitted supply voltage range and there is no restriction on this voltage due to the magnitude of the voltage which is applied to the V^+ terminal of the LM139A package. The output can also be used as a simple SPST switch to ground (when a pull-up resistor is not used). The amount of current which the output device can sink is limited by the drive available (which is independent of V^+) and the β of this device. When the maximum current limit is reached (approximately 16 mA), the output transistor will come out of saturation and the output voltage will rise very rapidly. The output saturation voltage is limited by the approximately $60\Omega\text{ R}_{\text{SAT}}$ of the output transistor. The low offset voltage of the output transistor (1 mV) allows the output to clamp essentially to ground level for small load currents.

Typical Applications ($V^+ = 5.0\text{ V}_{\text{DC}}$)



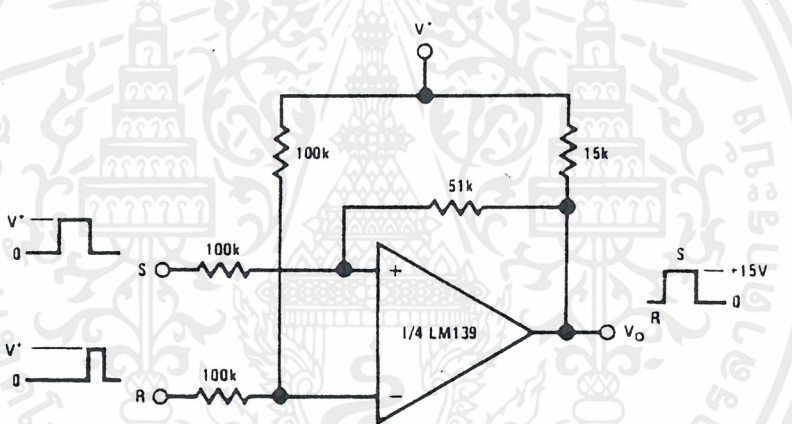
Typical Applications ($V^+ = 15 V_{DC}$) (Continued)

One-Shot Multivibrator



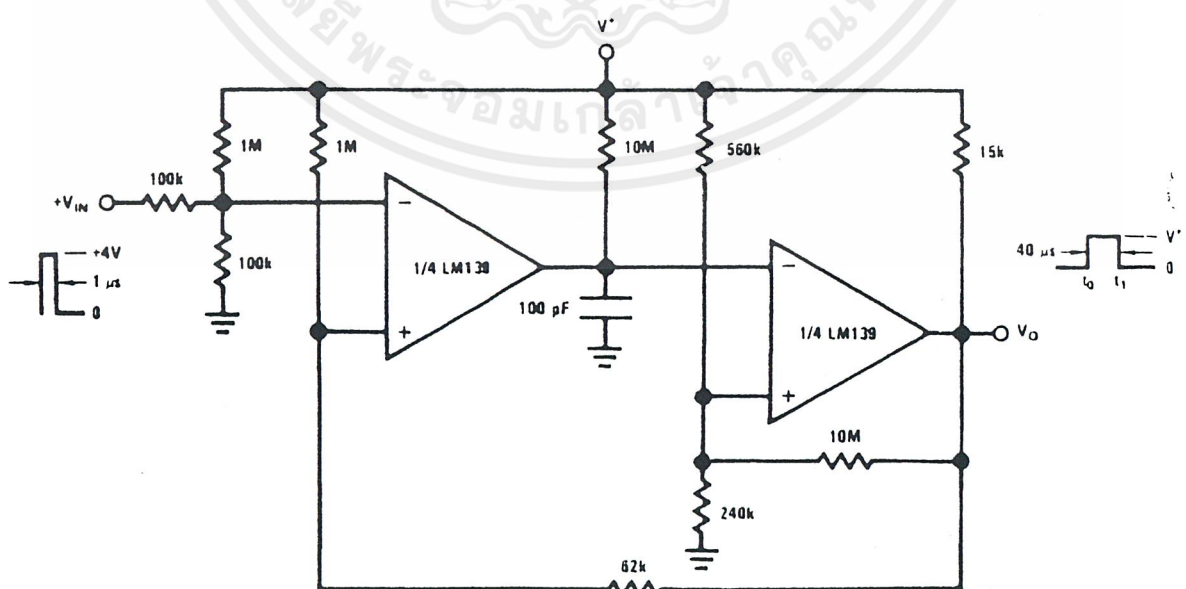
TL/H/5706-10

Bi-Stable Multivibrator



TL/H/5706-11

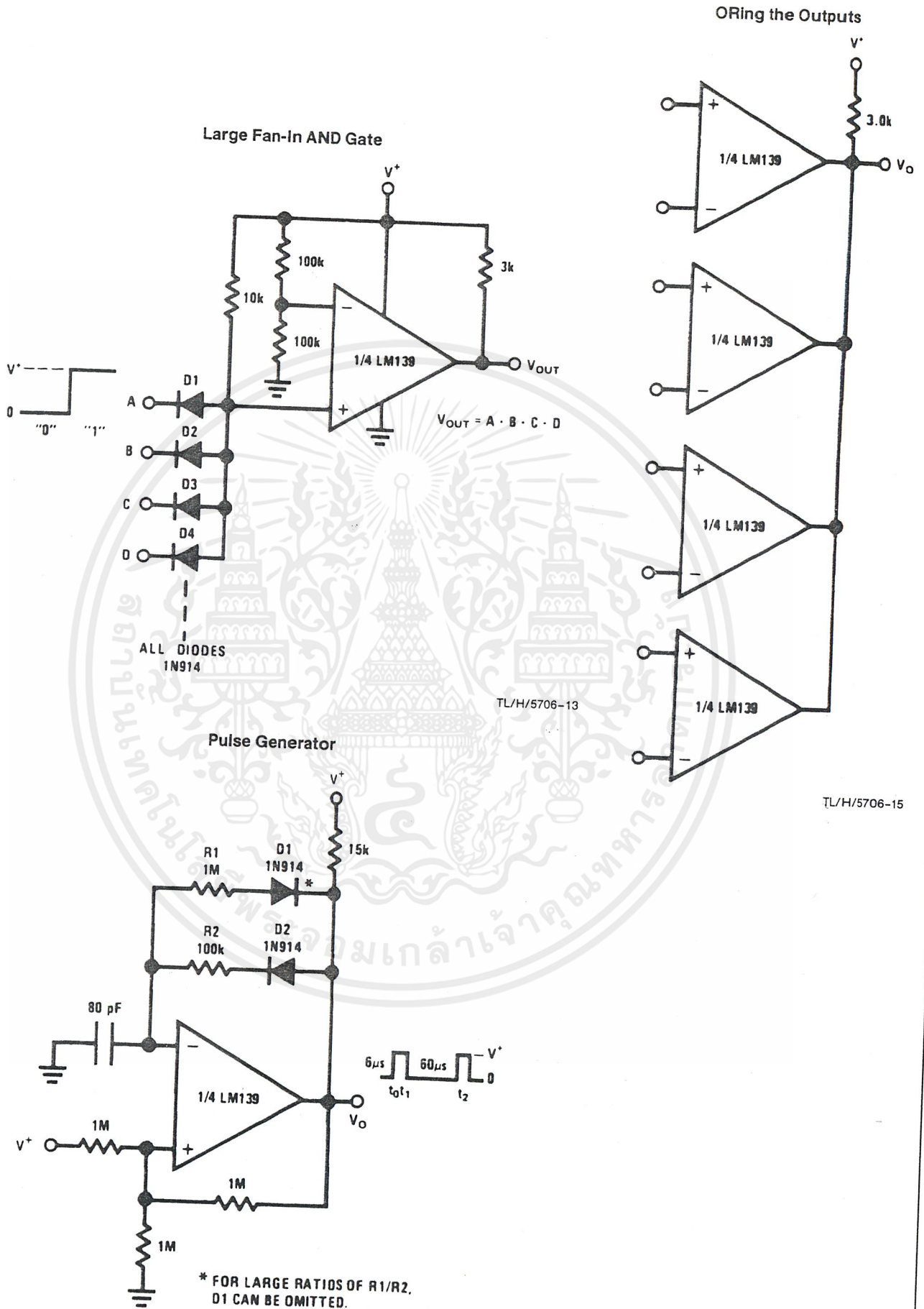
One-Shot Multivibrator with Input Lock Out



TL/H/5706-12

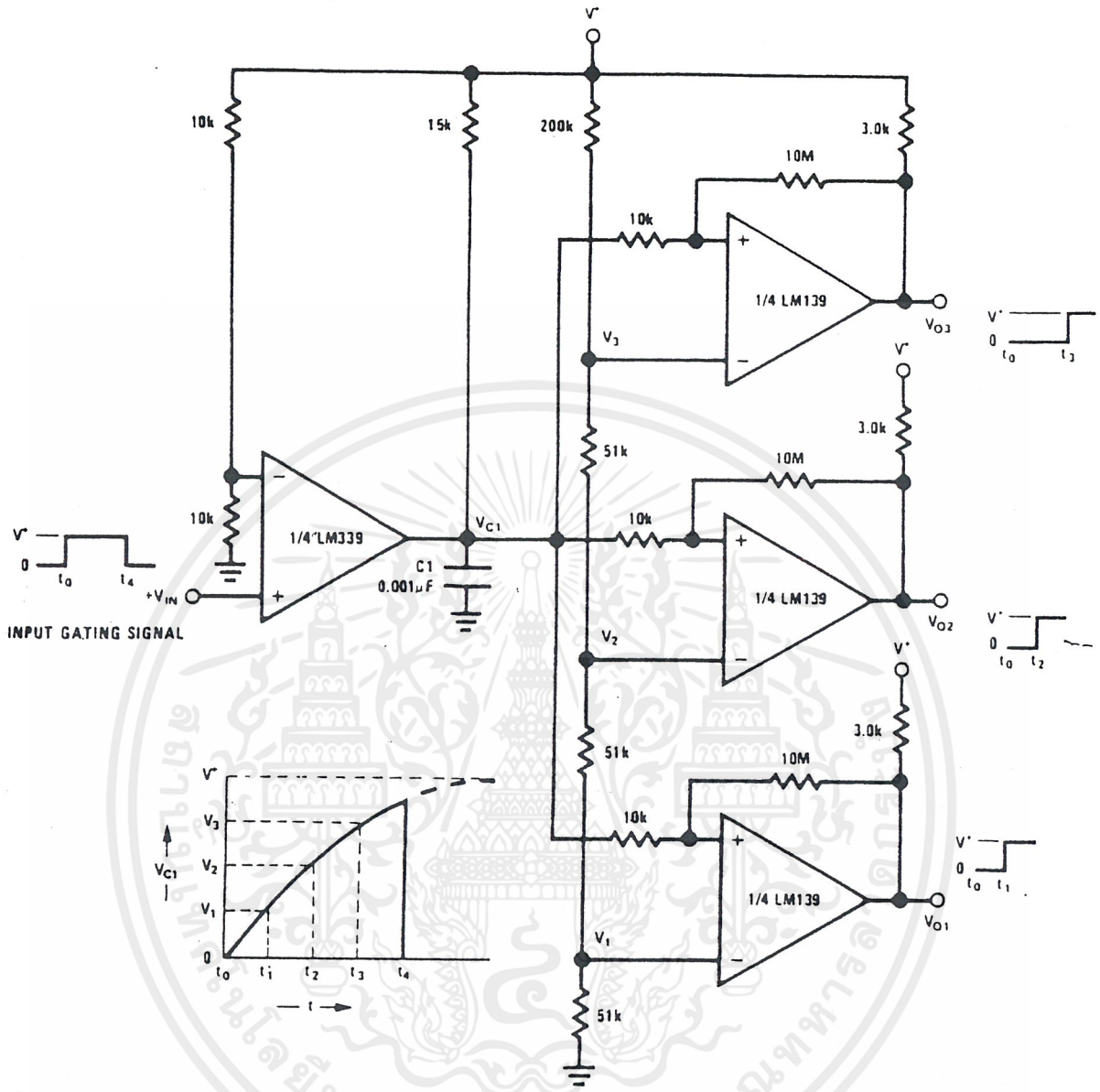
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

Typical Applications ($V^+ = 15\text{ V}_{DC}$) (Continued)



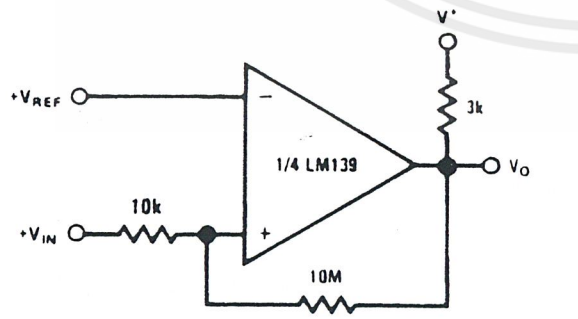
Typical Applications ($V^+ = 15 V_{DC}$) (Continued)

Time Delay Generator



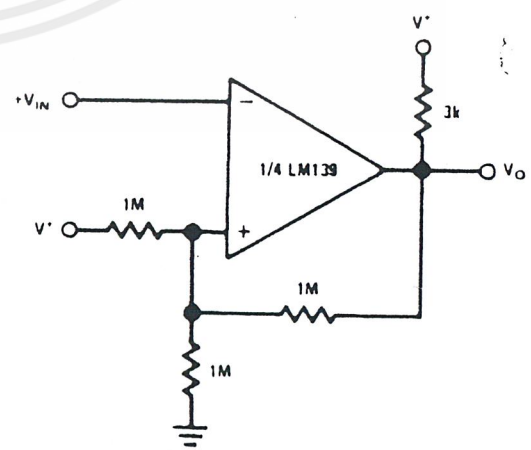
TL/H/5706-14

Non-Inverting Comparator with Hysteresis



TL/H/5708-18

Inverting Comparator with Hysteresis

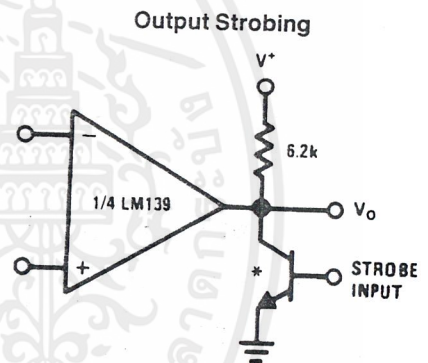
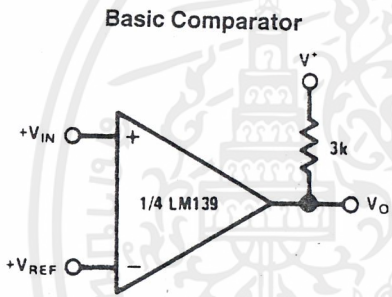
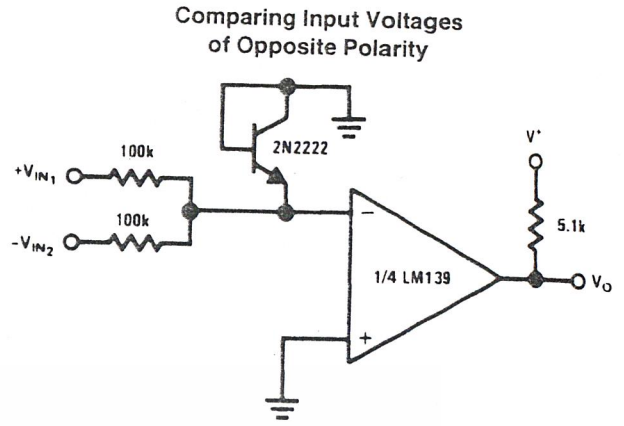
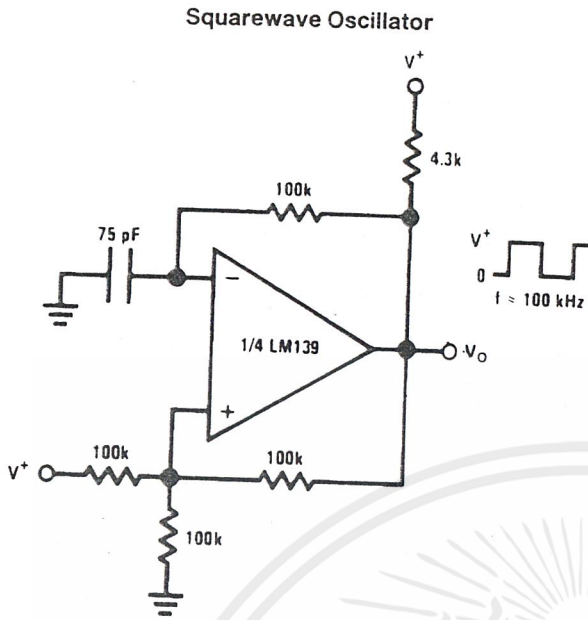


TL/H/5708-19

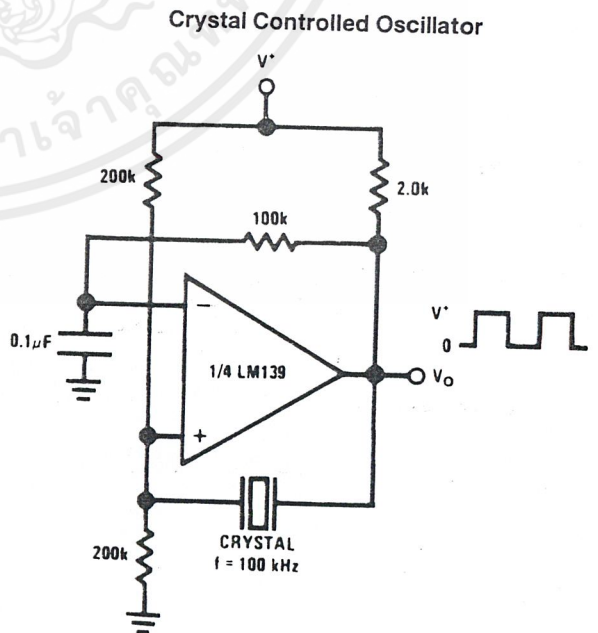
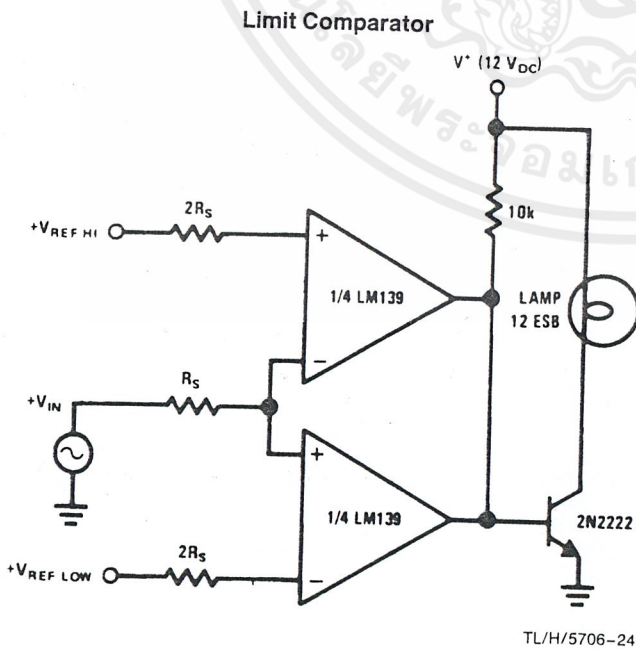
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications ($V^+ = 15\text{ V}_{DC}$) (Continued)

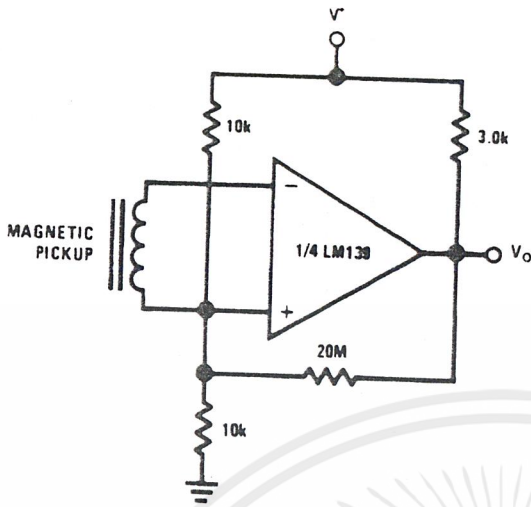


*Or open-collector logic gate without pull-up resistor

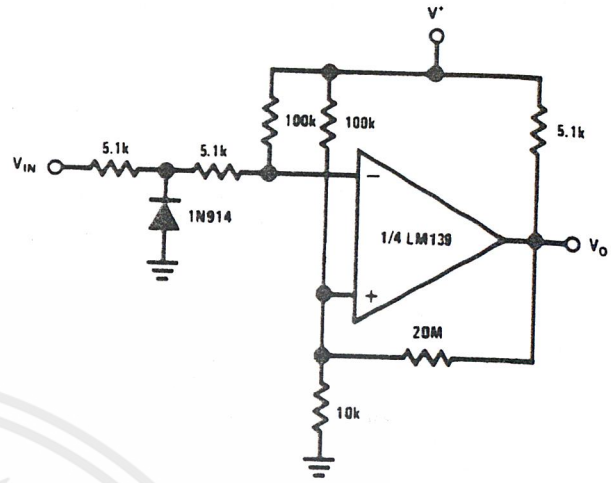


Typical Applications ($V^+ = 5 V_{DC}$) (Continued)

Transducer Amplifier



Zero Crossing Detector (Single Power Supply)

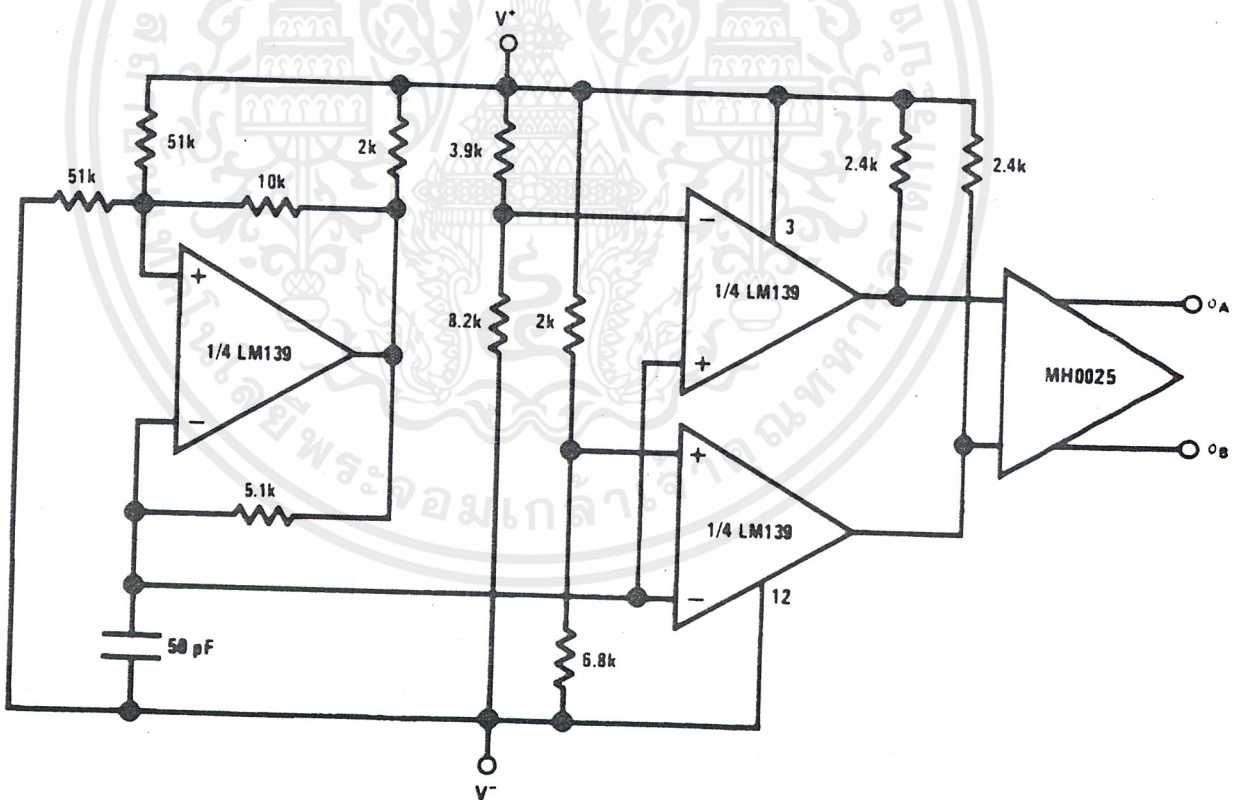


TL/H/5706-28

TL/H/5706-30

Split-Supply Applications ($V^+ = +15 V_{DC}$ and $V^- = -15 V_{DC}$)

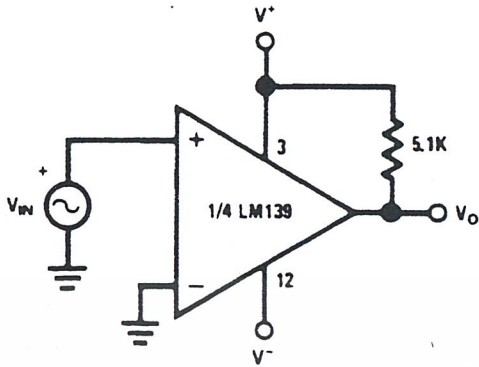
MOS Clock Driver



TL/H/5706-31

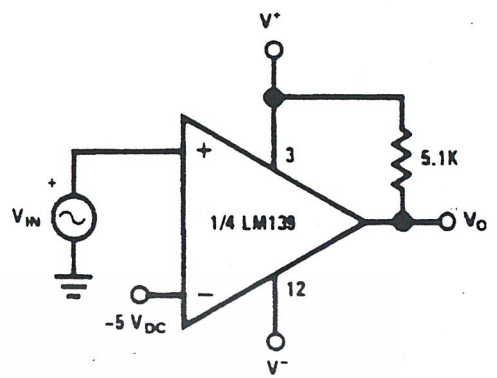
Split-Supply Applications ($V^+ = +15\text{ V}_{DC}$ and $V^- = -15\text{ V}_{DC}$) (Continued)

Zero Crossing Detector



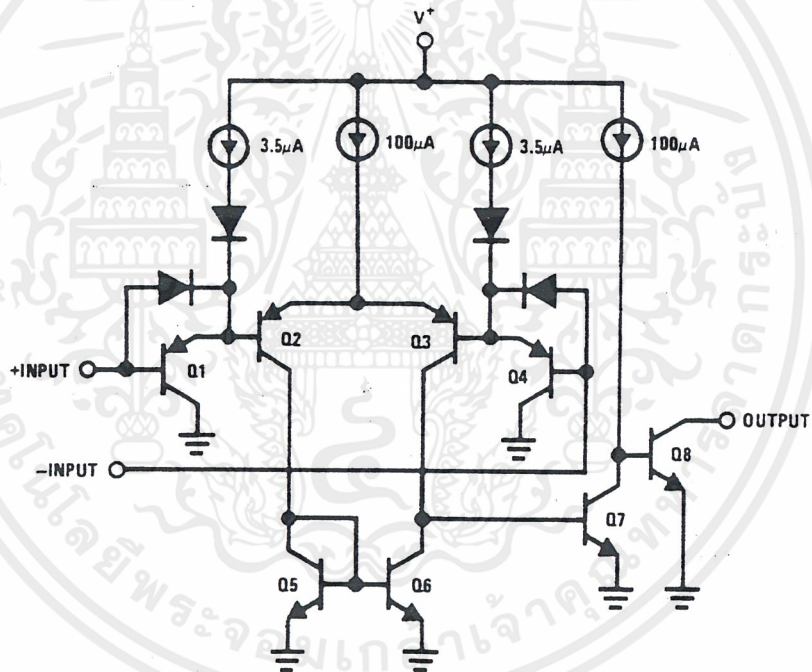
TL/H/5706-32

Comparator With a Negative Reference



TL/H/5706-33

Schematic Diagram



TL/H/5706-1

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์สุเชียร เกียรติสุนทร (อาจารย์ที่ปรึกษา) ที่ได้ให้คำแนะนำและช่วยเหลือ
เป็นอย่างดีตลอดมา

ขอบคุณนายไพโรจน์ ชาริรัตน์ เพื่อนที่ให้ยืมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในโครงการนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. กฤษดา ใจดี, “ปฏิบัติการเชื่อมต่อพอร์ตขนาน”, อินโนเวตีฟอิเล็กทรอนิกส์, หน้า1-27, หน้า 91-122
2. ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, “คู่มือนักอิเล็กทรอนิกส์”, ซีเอ็ดยูเคชั่น, หน้า 87-95



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้