

หุ่นยนต์เครือข่าย
ROBOT NETWORK



นาย ทวีศักดิ์ สุขทองสา
นาย วรารุช ริมปรั้งยี

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....42307
วัน, เดือน, ปี.....6 พ.ค. 2545

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

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีโทรคมนาคม ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ROBOT NETWORK



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MACHELOR OF THE TECHNOLOGY TELECOMMUNICATION
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์

หุ่นยนต์เครือข่าย

ROBOT NETWORK

นักศึกษา

นาย ทวีศักดิ์ สุขทองสา เลขประจำตัว 41013367

นาย วราวุธ ริมปิ้งยี เลขประจำตัว 41013383

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ บุญยชนะ ภูระหงษ์

อาจารย์ ภูขงค์ หงษ์สุวรรณ

ภาควิชา

เทคนิคอุตสาหกรรม

ปีการศึกษา

2543

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
อนุมัติให้นับปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรอุตสาหกรรม
บัณฑิต

(อาจารย์บุญยชนะ ภูระหงษ์)

(อาจารย์ภูขงค์ หงษ์สุวรรณ)

()

()

()

()

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	หุ่นยนต์เครือข่าย ROBOT NETWORK
นักศึกษา	นาย ทวีศักดิ์ สุขทองสา เลขประจำตัว 41013367 นาย วราวุธ ริมปริงษ์ เลขประจำตัว 41013383
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ บุญยชนะ ภูระหงษ์ อาจารย์ ภูขงค์ หงษ์สุวรรณ
ภาควิชา	เทคนิคอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	2543

บทคัดย่อ

หุ่นยนต์เครือข่าย (ส่วนที่ 1) ได้ถูกสร้างขึ้นเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีใช้ในงานอุตสาหกรรม และยังสามารถประยุกต์ใช้ในงานอื่นๆ ได้ โดยจะมีส่วนประกอบดังนี้

- 1) ชุดวัดระยะทางด้วยเซ็นเซอร์อัลตราโซนิกจะใช้บอกระยะทางก่อนที่จะส่งให้คอมพิวเตอร์
- 2) ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เป็นตัวควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์เครือข่ายนี้
- 3) ชุดบอกทิศทางด้วยเข็มทิศเพื่อทราบตำแหน่งและทิศทางของตัวหุ่นยนต์ หุ่นยนต์เครือข่ายนี้จะทราบตำแหน่งของตัวเองจากชุดอัลตราโซนิกที่วัดผลและส่งผลมายังคอมพิวเตอร์ การทำงานของหุ่นยนต์เครือข่ายนี้คอมพิวเตอร์จะเป็นตัวประมวลผลและออกคำสั่งไปยังตัวหุ่นยนต์โดยผ่านชุดส่งสัญญาณ เมื่อชุดรับสัญญาณที่ติดอยู่กับตัวหุ่นยนต์รับสัญญาณได้ก็จะสั่งงานให้หุ่นยนต์เดินทางไปยังวัตถุได้

Thesis Title	Robot Network
Student	Mr. Taweesak Suktongsa ID 41013367 Mr. Warawut Rimpirungse ID 41013383
Advisors	Mr. Boonchana Poorahong Mr. Phuchong Hongsuwan
Department	Industrial of Technology
Academic year	2000

ABSTRACT

The Robot network(Part 1) has been desinghed and built for develop technology in Industial and can be applied to other works.It is consist of

- 1)Measurement distance by ultrasonic sensor sent data to computer.
- 2)Microcontrollrer MCS-51 is control operating the robot network.
- 3)The infrared sensor use for set direction.The robot network can be to know position by ultrasonic,and sent signal to computer. When the computer is compile and sent signal control to robot network by transmitter. Then receiver on the robot network recive signal ,it control the robot network can be operated by going to object.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี ด้วยความอนุเคราะห์และคำปรึกษาต่างๆ จากผู้มีพระคุณดังต่อไปนี้

บุพการี	ที่ให้การอุปการะในทุกๆ ด้านและเป็นกำลังใจเสมอมา
อาจารย์ บุญยชนะ ภูระหงษ์	ที่คอยให้คำปรึกษาดลระยะเวลาการทำปริญญานิพนธ์
อาจารย์ ภูงศ์ หงส์สุวรรณ	ที่คอยให้คำปรึกษาดลระยะเวลาการทำปริญญานิพนธ์
อาจารย์ สุมิตร พนาอุดมทรัพย์	ที่คอยให้คำปรึกษาในส่วนองไมโครคอนโทรลเลอร์
ภาควิชาเทคนิคอุตสาหกรรม	ที่ให้ความอนุเคราะห์เรื่องเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ
ภาควิชาระบบควบคุม	ที่ให้ความอนุเคราะห์เรื่องเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ
เพื่อนๆ U2 ทุกคน	ที่คอยเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

นาย ทวีศักดิ์ สุขทองสา

นาย วรารุท ริมปริงยี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
กล่าวที่มาและความสำคัญ	1
วัตถุประสงค์	2
ขอบเขตของปริญญานิพนธ์	2
ประโยชน์ของปริญญานิพนธ์	2
รายละเอียดและขั้นตอนของปริญญานิพนธ์	3
ขั้นตอนการทำปริญญานิพนธ์	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	
2.1 เครื่องวัดระยะทาง	5
2.1.1 เครื่องวัดระยะทางด้วยอัลตราโซนิก	5
2.1.2 เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์	11
2.1.3 หลักการทำงาน	21
2.2 หลักการและทฤษฎีของไมโครคอนโทรลเลอร์	21
2.3 ชุดบอกลทิศทาง	30
บทที่ 3 การสร้างโครงการ	
3.1 การสร้างวงจรวัดระยะทางด้วยอัลตราโซนิก	34
3.2 หน่วยบอกลทิศทาง	38
3.3 การขับสเต็ปมอเตอร์แบบยูนิโพลาไร	41
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	
4.1 วงจรวัดระยะทาง	45
4.2 ชุดวงจรบอกลทิศทาง	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์	46
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์	48
บรรณานุกรม	49
ภาคผนวก ก.รายละเอียดวงจร	
ภาคผนวก ข.โปรแกรม	
ภาคผนวก ค.คู่มือการใช้งาน	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงความเร็วของคลื่นอุลตราโซนิคในแก๊สต่างๆที่อุณหภูมิ $0\text{ }^{\circ}\text{C}$	9
ตารางที่ 2.2 แสดงค่าความไวของประจุและค่าความไวของโวลเตจและวัสดุเปียโซอิเล็กทริกที่ต่างชนิดกัน และผลที่เกิดจากแนวการตัดที่ไม่เหมือนกัน	14
ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติด้านต่างๆของวัสดุเปียโซอิเล็กทริก	18
ตารางที่ 2.4 ตารางการอินเตอร์รัปต์	27
ตารางที่ 3.1 แสดงการทำงานของขดลวดในแต่ละเฟสมอเตอร์เมื่อได้รับการกระตุ้นแบบหนึ่งเฟส	42
ตารางที่ 3.2 แสดงการทำงานของขดลวดในแต่ละเฟสมอเตอร์เมื่อได้รับการกระตุ้นแบบสองเฟส	43
ตารางที่ 3.3 แสดงการทำงานของขดลวดในแต่ละเฟสมอเตอร์เมื่อได้รับการกระตุ้นแบบครึ่งสเต็ป	43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงผลของเพียโซอิเล็กทริก(Piezo-elecyclic)	12
รูปที่ 2.2 แสดงผลึกควอตซ์และลักษณะการตัดผลึก	15
รูปที่ 2.3 แสดงของแรงที่มากกระทำกับแผ่นซิมเปิลเพลทในทิศทางต่างๆกันจนทำให้เกิดการยุบตัวหรือเปลี่ยนไป	16
รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะการต่อวัสดุเพียโซอิเล็กทริกแบบไบมอลต์หรือเบนเคอร์โดยมีแรงมากระทำต่อวัสดุ	17
รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะการต่อวัสดุเพียโซอิเล็กทริกในโหมดของคอมเพรสชัน-เอกเพรสชัน	17
รูปที่ 2.6 แสดงการต่อวัสดุเพียโซอิเล็กทริกแบบสแต็คในลักษณะของทวิสเตอร์	18
รูปที่ 3.1 แสดงวงจรวัฏระยะทางด้วยอุลตราโซนิก	37
รูปที่ 3.2 แสดงการเจาะรูบนเซมิทิส	38
รูปที่ 3.3 วงจรขยายแบบคาร์ดิ้งตัน	39
รูปที่ 3.4 วงจรรับ-ส่งเซ็นเซอร์อินฟาเรด	39
รูปที่ 3.5 แสดงการติดตั้งตัวรับ-ส่งอินฟาเรดกับเซมิทิส	40
รูปที่ 3.6 แสดงโครงสร้างอย่างง่ายของสแต็ปเปอร์มอเตอร์แบบยูนิโพลาร์	41
รูปที่ 3.7 การขับสแต็ปเปอร์มอเตอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์	44
รูปที่ 4.1 แสดงการเจาะรูเซมิทิสและแผ่นพลาสติก	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 กล่าวนำที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันเทคโนโลยีจะเข้ามามีอิทธิพลมากในการดำเนินงานเพื่อให้ได้ผลตามต้องการ ดังนั้นในปัจจุบัน หุ่นยนต์จึงมีบทบาทมากในด้านการผลิตที่มีประสิทธิภาพและรวดเร็ว อีกทั้งยังสามารถช่วยป้องกันการเกิดอุบัติเหตุที่จะเกิดขึ้นกับมนุษย์ได้ในงานที่ต้องเสี่ยงอันตราย ซึ่งหุ่นยนต์ มีหลายแบบมากโดยจะแตกต่างตามลักษณะการทำงาน ในที่นี้จะกล่าวถึงการทำงานเป็นเครือข่ายของหุ่นยนต์ (ROBOT NETWORK) ซึ่งการทำงานเป็นเครือข่ายนี้จะเป็นการตอบสนองความต้องการของโรงงานอุตสาหกรรมมาก เนื่องจากหุ่นยนต์เครือข่ายจะสามารถให้การทำงานบรรลุเป้าหมายสำคัญไม่ว่าจะเป็น ความต้องการกำลังการผลิตสูงสุด และสามารถทำให้ระบบของโรงงานทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ และรวดเร็วสามารถทำงานส่งตรงตามเวลาที่กำหนด ดังนั้นด้วยความต้องการต่างๆนี้จึงเป็นที่มาของการทำงานของหุ่นยนต์ที่เป็นเครือข่ายโดยจะมีชื่อว่า หุ่นยนต์เครือข่าย หรือ ROBOT NETWORK

การทำงานของหุ่นยนต์เครือข่ายนี้เพื่อให้สามารถนำเอาเทคโนโลยีหุ่นยนต์เข้ามาใช้ในโรงงานจริงอย่างมีประสิทธิภาพ โดยหลักการการทำงานต่างๆของหุ่นยนต์เครือข่ายจะสามารถทำงานอัตโนมัติโดยจะสามารถทำงานทั้งระบบเพียงผู้คุมหรือผู้ดูแลไม่กี่คน โดยการควบคุมต่างๆ ทำได้โดยจะควบคุมผ่านทางคอมพิวเตอร์ซึ่งจะควบคุมทั้งเครือข่ายโดยง่ายและจะสามารถเห็นผลการทำงานบนจอคอมพิวเตอร์ทันที หุ่นยนต์เครือข่ายนี้มีความสามารถในการทำงานอย่างเป็นอิสระเพราะการติดต่อกับคอมพิวเตอร์ทำโดยการส่งสัญญาณความถี่ที่กำหนดไว้ซึ่งจะทำให้การทำงานของหุ่นยนต์เครือข่ายนี้ไม่ต้องมีการต่อสายต่างๆเพื่อจะเชื่อมติดต่อกับคอมพิวเตอร์ การแสดงผลจะแสดงออกทางหน้าจอทันที ซึ่งจะสามารถเรียกหุ่นยนต์ที่เหลืออยู่มาช่วยกันทำงานได้ในกรณีที่หุ่นยนต์ตัวแรกไม่สามารถทำงานได้

ในปฏิญญาพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึงหลักการการทำงานต่างๆของหุ่นยนต์เครือข่ายในส่วนของตัวหุ่นยนต์ ซึ่งจะบอกรายละเอียดของโครงสร้างรวมไปถึงการทำงาน ไม่ว่าจะเป็นการรู้ตำแหน่งและทิศทางของหุ่นยนต์ ซึ่งในส่วนของการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับหุ่นยนต์จะอยู่ในส่วนของปฏิญญาพนธ์ฉบับ 2 ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ในการทำปริญญานิพนธ์

- 1.2.1 เพื่อให้เข้าใจในหลักการทำงานของหุ่นยนต์ (ROBOT)
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการทำงานในรูปแบบของเครือข่าย (NETWORK)
- 1.2.3 เพื่อสามารถควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์เครือข่ายได้ (ROBOT NETWORK)
- 1.2.4 เพื่อสามารถนำเอาเทคโนโลยีต่างๆ มาประยุกต์ใช้กับงานจริงได้

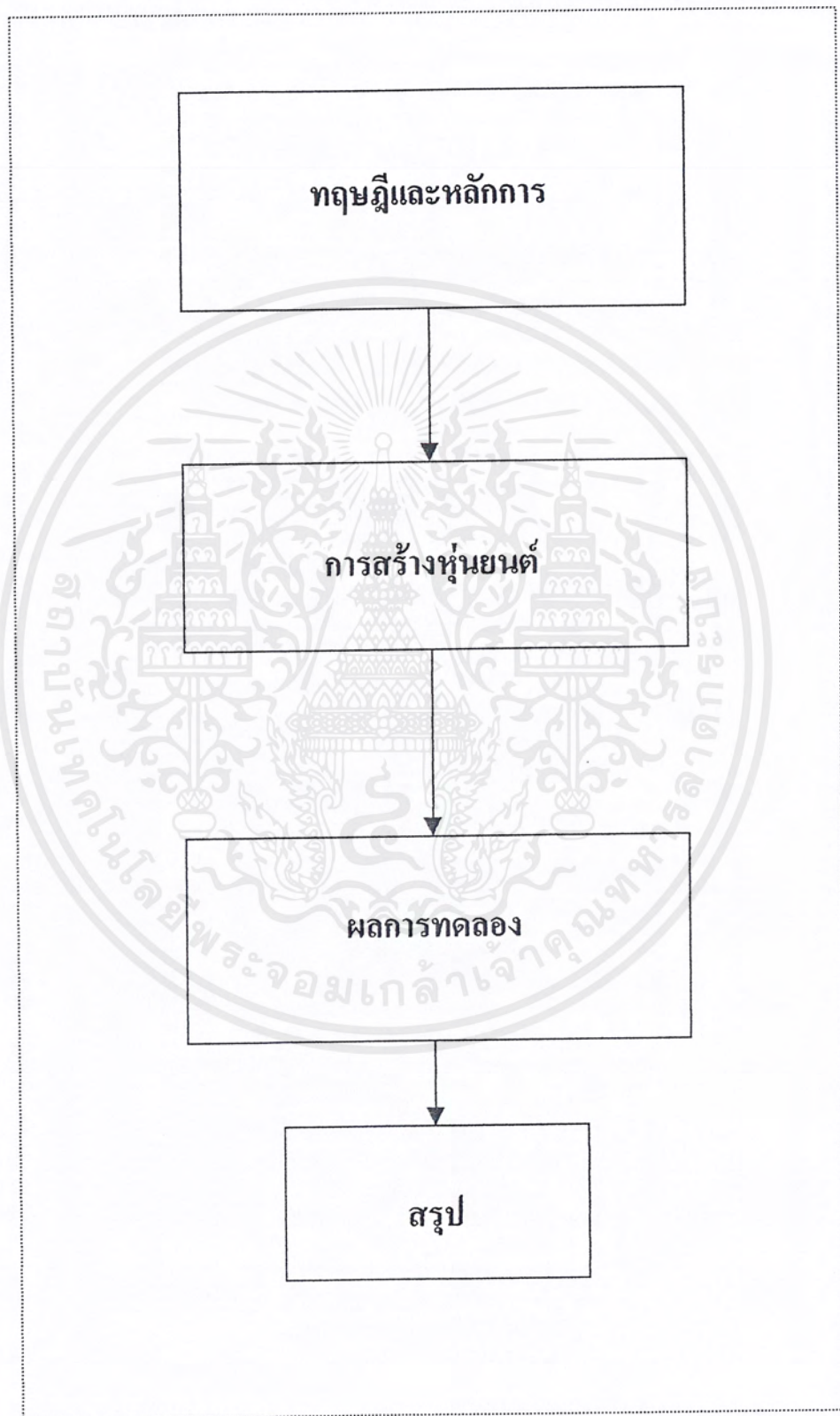
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

- 1.3.1 หุ่นยนต์สามารถรู้ตำแหน่งของตัวเองได้
- 1.3.2 สามารถรู้ตำแหน่งของวัตถุที่จะปฏิบัติการได้
- 1.3.3 สามารถรู้ตำแหน่งของหุ่นยนต์ทุกตัวในเครือข่ายได้
- 1.3.4 หุ่นยนต์สามารถเดินทางไปยังวัตถุอย่างถูกต้องและแม่นยำ

1.4 ประโยชน์ของปริญญานิพนธ์

- 1.4.1 นำเอาความรู้ไปใช้ในงานอุตสาหกรรมจริงได้
- 1.4.2 เข้าใจการทำงานอย่างเป็นระบบเครือข่ายทรานส์มิชเชอร์
- 1.4.3 เข้าใจการทำงานในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบ MCS-51
- 1.4.4 สามารถเข้าใจและแก้ไขปัญหาต่างๆ ของหุ่นยนต์ได้
- 1.4.5 สามารถเป็นแนวทางในการพัฒนาเทคโนโลยีใหม่ๆ ได้ในอนาคตต่อไป

1.5 รายละเอียดและขั้นตอนของปฏิญญานิพนธ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.6 ขั้นตอนการทำปริญญานิพนธ์

- 1.6.1 ศึกษาทฤษฎีต่างๆของการวัดระยะทางโดยใช้ SENSOR เพื่อให้ทราบตำแหน่งของหุ่นยนต์จะอยู่ในบทที่ 2 ซึ่งจะเป็นการอธิบายหลักการทำงานของ SENSOR แบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic Transducer) รวมไปถึงการเลือกใช้ SENSOR ด้วยโดยจะพิจารณา SENSOR แบบอัลตราโซนิก ทรานสดิวเซอร์ (Ultrasonic Sound) กับ อินฟราเรด (Infared Light) โดยสามารถทราบว่าSENSOR แบบใดเหมาะสมสำหรับงานนี้
- 1.6.2 ศึกษาทฤษฎีของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51 ซึ่งจะอยู่บทที่ 2 โดยในปัจจุบันได้มีการรวมเอาวงจรต่างๆทั้งหมดไว้เป็นชิปเดียวขนาด 40 ขา เพียงตัวเดียว ทำให้ราคาถูกลงและมีให้เลือกได้ตามความเหมาะสมตามลักษณะงาน ไม่ว่าจะเป็น MCS- 48 MCS – 51 และ MCS – 96 ซึ่งMCS – 51 ยังสามารถที่จะดัดแปลงจึงเหมาะในการนำไปใช้งานซึ่งจะสามารถประยุกต์การใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพ
- 1.6.3 การสร้างหุ่นยนต์จะอยู่ในบทที่ 3 ซึ่งจะบอกถึงส่วนต่างๆของหุ่นยนต์ รวมไปถึง บล็อกไดอะแกรมและรูปร่างต่างๆที่จะใช้ในโครงการนี้
- 1.6.4 ผลการทดลอง จะอยู่ในบทที่ 4 และจะเป็นการพิจารณาความเที่ยงตรงของหุ่นยนต์ว่าทราบตำแหน่งตัวเอง หรือไม่ รวมไปถึงการเดินทางไปยังวัตถุประสงค์ที่กำหนดหรือไม่ และสรุปผลการทดลอง จะอยู่บทที่ 5 ซึ่งจะเป็นการสรุปผลว่าจะสามารถใช้งานได้จริงและจะรวมไปถึงปัญหาต่างๆและการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นในการทดลองโครงการนี้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 เครื่องวัดระยะทาง

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านแสงและเสียงได้มีการพัฒนารุดหน้าไปมาก และมีการนำไปประยุกต์อย่างแพร่หลายไม่ว่าจะเป็นด้านสื่อสารผ่านเส้นใยแสง, เครื่องควบคุมระยะไกล (remote control) และอีกมากมาย

เครื่องวัดระยะทาง (distance meter) เป็นเครื่องมือที่นำมาใช้ในการวัดระยะทาง โดยในที่นี้จะอาศัยหลักการของการส่งคลื่นไปสะท้อนที่วัตถุแล้วกลับมายังเครื่องรับ ซึ่งรูปแบบของคลื่นที่นำมาใช้ก็คือคลื่นเสียงอุลตราโซนิก (Ultrasonic sound) และคลื่นแสงอินฟราเรด (Infrared light)

ในส่วนของแสงอินฟราเรดซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีความถี่สูงมาก โดยสูงกว่าความถี่ย่านคลื่นอุลตราโซนิกมากจนถึงระดับ 10^7 GHz และมีความเร็วของการเคลื่อนที่ในอากาศประมาณ 299,792,458 เมตรต่อวินาที ในขณะที่คลื่นอุลตราโซนิกมีความเร็วในอากาศ 346 เมตรต่อวินาทีโดยประมาณ จากองค์ประกอบทางด้านความเร็วและความถี่จึงสามารถแสดงได้ว่าแสงอินฟราเรดมีคุณสมบัติที่แตกต่างจากคลื่นอุลตราโซนิก โดยเฉพาะอย่างยิ่งจะมีผลต่อการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่จะนำมาใช้เข้ากับคลื่นทั้ง 2 แบบ เนื่องจากคลื่นอินฟราเรดเป็นคลื่นแม่เหล็กที่มีความถี่สูงมากจนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ไม่สามารถทำงานได้ในย่านความถี่นี้ เพราะอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันจะสามารถทำงานได้ในย่านความถี่สูงสุดไม่กี่สิบ GHz เท่านั้น ดังนั้นในการรับส่งสัญญาณแสงด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์จึงไม่สามารถกระทำโดยตรง เนื่องจากเหตุผลดังกล่าวมาแล้วข้างต้น ในที่นี้จึงนำคลื่นอุลตราโซนิกใช้เป็นเครื่องวัดระยะทางจะใช้ความถี่ไม่เกิน 50 KHz เพราะความถี่ที่สูงกว่านี้อากาศจะดูดกลืนคลื่นได้มากยิ่งขึ้น ทำให้ระดับความแรงของคลื่นที่ระยะห่างออกไปจากเครื่องวัดลดลงอย่างรวดเร็ว ดังนั้นในการออกแบบจะใช้คลื่นอุลตราโซนิกที่มีความถี่ประมาณ 40 KHz ซึ่งเป็นความถี่ที่เหมาะสมที่สุดในงานนี้

2.1.1 เครื่องวัดระยะทางโดยใช้อุลตราโซนิก

ความหมายของคลื่นอุลตราโซนิก

อุลตราโซนิก หมายถึง คลื่นที่มีความถี่สูงเกินกว่าหูมนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้วหูของมนุษย์จะได้ยินเสียงในย่านความถี่ 20 Hz ถึง 20 KHz อุลตราโซนิกที่กล่าวถึง โดยทั่วไปจึงหมายถึงคลื่นที่มีความถี่สูงกว่า 20 KHz ขึ้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของคลื่นอุลตราโซนิก

คลื่นอุลตราโซนิกที่เดินทางผ่านตัวกลางต่างๆมีหลายชนิดด้วยกัน แต่ละชนิดจะแตกต่างกันตามการเคลื่อนที่ของอนุภาคในตัวกลางนั้นๆ โดยสามารถแบ่งได้ดังนี้

- A) คลื่นตามยาว(longitudinal wave) เป็นลักษณะของคลื่นที่ซึ่งทุกๆจุดบนคลื่นมีการเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกันกับทิศทางการเคลื่อนที่ การเคลื่อนที่ของอนุภาคจะเกิดขึ้นอย่างหนาแน่นและเบาบางสลับกันไปและจะเปลี่ยนแปลงไปเช่นนี้ในแต่ละปริมาตรของอนุภาค คลื่นตามยาวนี้สามารถเดินทางผ่านของแข็งของเหลวและก๊าซ โดยมากถ้ากล่าวถึงความเร็วของคลื่นแล้วจะหมายถึงความเร็วของคลื่นตามยาว ในการพิจารณาคลื่นตามยาวที่เดินทางผ่านตัวกลางต่างๆ ได้นั้น ตัวกลางจะต้องมีขนาดใหญ่พอเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น
- B) คลื่นตามขวาง(transverse wave) คือ คลื่นที่ทุกๆจุดบนคลื่นมีการเคลื่อนไหวในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางซึ่งคลื่นเดินทางในทิศทางหนึ่งๆคลื่นชนิดนี้จะเดินทางผ่านตัวกลางที่มีขนาดใหญ่กว่าขนาดของความยาวคลื่น และสามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็งได้ คลื่นชนิดนี้ไม่สามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของเหลวและก๊าซ

คลื่นตามขวางมีลักษณะเหมือนการเกิดขั้วลบและขั้วบวก ซึ่งเป็นเหตุผลว่าการเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคเป็นไปเพียงทิศทางเดียว เช่น ในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของคลื่นที่เคลื่อนที่ไป ต้นกำเนิดของคลื่นตามขวางเป็นพื้นที่ที่หน้าเรียบของระนาบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคอันเนื่องจากการแกว่ง ความหนาแน่นของตัวกลางจะไม่เปลี่ยนแปลง โดยการเคลื่อนที่ของคลื่นแบบตามขวาง ความเร็วของคลื่นชนิดนี้จะน้อยกว่าคลื่นชนิดตามยาว ในขณะที่เดินทางผ่านตัวกลางชนิดเดียวกัน ดังนั้นที่ความเดียวกันความยาวคลื่นของคลื่นตามขวางจะน้อยกว่าตามยาวเสมอ

- C) คลื่นผิวหน้า(surface wave) เป็นคลื่นชนิดหนึ่งซึ่งคล้ายกับคลื่นตามขวาง จะต่างกันตรงที่ว่า การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของอนุภาคไม่เป็นเพียงในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นเท่านั้น แต่ยังมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นด้วย จึงทำให้คลื่นเคลื่อนที่ไปตามระนาบในแนวนอน ด้วยเหตุนี้คลื่นจึงเดินทางผ่านไปเฉพาะผิวของตัวกลางเท่านั้น

การเกิดคลื่นอุลตราโซนิก

อุลตราโซนิกเป็นคลื่นที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานรูปอื่นให้มาเป็นพลังงานกล โดยการสั่นไปมา หรือเกิดจากการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกลทำให้เกิดคลื่นย่านอุลตราโซนิกกระจายออกไป ในอากาศดังนั้นจึงถือได้ว่าคลื่นที่เกิดขึ้นเป็นคลื่นกล(mechanical wave)คลื่นอุลตราโซนิกสามารถถูกสร้างได้โดยตัวทรานสดิวเซอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลในที่นี้จะใช้ทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริก(piezo-electric transducer) โดยทำการแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานกลและมีความถี่เรโซแนนท์(resonant frequency) คงที่อยู่ค่าหนึ่ง สำหรับเปียโซอิเล็กทริกนี้เป็นแบบที่นิยมใช้เพราะราคาถูกและหาซื้อง่าย

ความถี่และความยาวคลื่น

ความถี่ คือ จำนวนของการออสซิลเลตหรือการแกว่งที่สมบูรณ์จากแหล่งกำเนิดภายใน 1 วินาที คลื่นที่ส่งจากแหล่งกำเนิดจะเดินทางด้วยความถี่เดียวกันนี้ เช่น อัตราการสั่นของสายไวโอลินที่มีความถี่ 440 Hz มันจะมีความถี่เดียวกันกับคลื่นที่ถูกส่งและรับจากผู้ฟัง

ความยาวคลื่น คือ ระยะทางที่คลื่นเดินทางระหว่างแต่ละการสั่นที่สมบูรณ์หรือการเดินทางครบ 1 รอบ (1 cycle) สามารถกล่าวได้ว่าความยาวคลื่นเป็นระยะทางระหว่างการอัดอย่างต่อเนื่อง(successive compression)หรือการเบาบางของอากาศ(rarefaction) การอัด คือการที่บริเวณนั้นมีความหนาแน่นของโมเลกุลและแรงดันมากกว่าบริเวณรอบๆ ส่วนการเบาบางเป็นบริเวณเฉพาะที่เกิดการลดความหนาแน่นของโมเลกุลและแรงดันสัมพันธ์กับแรงดันบรรยากาศปกติ

ความถี่และความยาวคลื่นมีความสัมพันธ์ตามสมการข้างล่าง

$$v = f\lambda \quad (\text{m/s}) \quad (1)$$

v = ความเร็วที่คลื่นสามารถเดินทางได้ในตัวกลาง (m/s)

f = ความถี่ของคลื่น (Hz)

λ = ความยาวคลื่น (m)

ความเร็วของคลื่นอุลตราโซนิค

คลื่นเหนือเสียงหรือคลื่นอุลตราโซนิคที่เดินทางในตัวกลางที่แตกต่างกัน ย่อมจะมีความเร็วในการเดินทางผ่านตัวกลางนั้นๆแตกต่างกันด้วย โดยขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลางหรือแก๊ส แรงดันของแก๊ส เมื่อกำหนดให้คลื่นเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นแก๊ส รวมทั้งอุณหภูมิในขณะนั้นสำหรับทฤษฎีที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นในตัวกลางที่เป็นแก๊สกับคุณสมบัติของแก๊สเหล่านั้น สามารถแสดงได้ดังนี้

$$v = (\gamma P / \rho)^{1/2} \quad (\text{m/s}) \quad (2)$$

v = ความเร็วที่คลื่นอุลตราโซนิคสามารถเดินทางได้ในแก๊ส

γ = ค่าอัตราส่วนของความร้อนของแก๊สที่แรงดันคงที่ต่อความร้อนที่ปริมาตรคงที่

(adiabatic bulk modulus ; อากาศจะมี $\gamma = 1.4$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

p = ความดันของแก๊สในหน่วย Pascal (ความดันของอากาศที่ระดับน้ำทะเล
มีค่าเท่ากับ $1.01325 \cdot 10^6$
 ρ = ความหนาแน่นของแก๊ส (kg/m^3); อากาศมี $\rho = 1.29 \text{ kg/m}^3$

เนื่องจากในอากาศประกอบด้วยโมเลกุลอะตอมคู่เป็นพื้นฐาน ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลให้ค่า
adiabatic bulk modulus ของอากาศเป็น 1.4 และเมื่อแทนลงไปในความสัมพันธ์ดังสมการที่(2)
ความเร็วของคลื่นอุลตราโซนิคในอากาศก็จะเป็นดังสมการ

$$v = (1.4 P / \rho)^{1/2} \quad (\text{m/s}) \quad (3)$$

สำหรับแก๊สในอุดมคติ จะมีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร อุณหภูมิและแรงดันดังนี้

$$PV = RT \quad (4)$$

R = Molar gas constant (Newton - m / Kelvin)

T = ค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ (Kelvin)

V = ปริมาตรของแก๊ส (m^3)

P = ความดันของแก๊ส (Newton / m^2)

ความสัมพันธ์ดังสมการที่ (4) สามารถแทนอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ดังนี้

$$P = \rho RT / M \quad (\text{Newton/m}^2) \quad (5)$$

เมื่อ M เป็นมวลโมเลกุลของแก๊สและจากความสัมพันธ์ดังสมการที่ 5 เมื่อนำไปแทนกลับที่ความ
สัมพันธ์ดังสมการที่ 2 เราจะได้ความเร็วของคลื่นอุลตราโซนิคในอากาศเป็นดังนี้

$$v = (\gamma RT / M)^{1/2} \quad (\text{m/s}) \quad (6)$$

จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ 6 นี้ ความเร็วของคลื่นในแก๊สอุดมคติจะขึ้นอยู่กับชนิดของแก๊สและ
อุณหภูมิ โดยเป็นอิสระจากการเปลี่ยนแปลงความดันดังนั้นความเร็วของคลื่นที่ขอดเขาก็ควรจะเหมือนกับที่
เชิงเขาถ้าอุณหภูมิเท่ากันในทางปฏิบัติ ที่กล่าวมานี้จะเป็นจริงสำหรับความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยความดันของแก๊สจะลดลงเมื่อความสูงนั้นสูงกว่าระดับน้ำทะเลมากยิ่งขึ้น และผลของความกดคั้นของบรรยากาศจะมีผลต่อความเร็วของคลื่นเพียงเล็กน้อย

ความเร็วของคลื่นอุลตราโซนิคยอมรับได้ในอากาศที่อุณหภูมิปกติ จะมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$v = 331.45 + 0.607 t \quad (\text{m/s}) \quad (7)$$

$$v = 1,052.03 + 1.106 F \quad (\text{ft/s}) \quad (8)$$

โดย t = อุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส

F = อุณหภูมิในหน่วยองศาฟาเรนไฮต์

สำหรับอุณหภูมิที่แตกต่างกันมากกว่า 20 องศาเซลเซียส เพื่อให้คำนวณมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น จะใช้ความสัมพันธ์ดังสมการข้างล่างนี้

$$v = 331.45 (T/273)^{1/2} \quad (\text{m/s}) \quad (9)$$

T = อุณหภูมิในหน่วยเคลวิน

ตารางที่ 2.1 แสดงความเร็วของคลื่นอุลตราโซนิคในแก๊สต่างๆที่อุณหภูมิ $0\text{ }^{\circ}\text{C}$

GAS	VELOCITY(m/s)
1. AIR(0 องศาเซลเซียส)	331.45
2. ARGON	319
3. CARBON MONOXIDE	338
4. CABON DIOXIDE	259
5. HELIUM	965
6. HYDROGEN	1,284
7.METHANE	430
8. NEON	435
9. NYTROGEN	334
10. OXYGEN	435
11. STREM (134 F $^{\circ}$)	494

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริมาณพลังงานของคลื่นอุตราโซนิก

ปริมาณพลังงานของคลื่นอุตราโซนิกจะถูกวัดในรูปความเข้มของคลื่น ซึ่งจะมีหน่วยเป็นวัตต์ ต่อตารางเซนติเมตร (W/cm^2) เป็นการไหลของพลังงานผ่านพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตรซึ่งตั้งฉากกับทิศทางเดินทางของคลื่นภายในเวลา 1 วินาที

การลดทอนของคลื่นอุตราโซนิก

เมื่อคลื่นอุตราโซนิกเดินทางผ่านตัวกลาง ลำคลื่น (beam) ของคลื่นอุตราโซนิกจะสูญเสียความเข้มไปเนื่องจากเกิดการลู่ออกของลำคลื่น หรือเกิดจากการกระจายพลังงานของคลื่นออกจากลำคลื่นเพราะไม่ต่อเนื่องภายในตัวกลาง (non homogenous) และอาจเกิดจากการดูดซับพลังงานส่วนหนึ่งของคลื่น โดยตัวกลางที่เคลื่อนที่ผ่าน พลังงานที่ถูกดูดซับนี้จะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน การดูดซับพลังงานขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของตัวกลางความยืดหยุ่นและความหนาแน่นรวมทั้งความถี่ของคลื่นอุตราโซนิกที่ใช้ ยิ่งความถี่สูงพลังงานก็ถูกดูดซับไปมาก ดังนั้นคลื่นอุตราโซนิกที่นำมาใช้งานโดยมากจะมีความถี่ไม่เกิน 50 KHz หากความถี่สูงกว่านี้แล้วเมื่อคลื่นเดินทางในอากาศในระยะทางไกลๆ ความแรงของคลื่นจะลดลงอย่างรวดเร็ว ทำให้ความแรงของคลื่นสะท้อนกลับมีขนาดไม่แรงพอที่จะทำให้เครื่องรับทำงานได้ นั่นหมายถึงยิ่งคลื่นอุตราโซนิกความถี่สูงขึ้นเพียงใดรัศมีทำการก็จะยิ่งสั้นลง

การแยกแยะ

การแยกแยะหรือรีโซลูชัน (resolution) ของการส่งระบบพัลส์คลื่นสะท้อน สามารถถูกใช้เป็นตัวกำหนดความสามารถของระบบที่แยกความแตกต่างระหว่างตัวสะท้อน 2 ตัวที่อยู่ใกล้กันการแยกแยะมี 2 ชนิดคือ

การแยกแยะทางด้านข้าง (azimuth resolution) หรือการแยกแยะตามแนว อาซิมูท เป็นความสามารถในการแยกความแตกต่างของเป้า 2 อัน ซึ่งวางในแนวนอนและตั้งฉากกับทิศทางของลำคลื่นในระยะทางที่เท่ากัน และขึ้นอยู่กับความกว้างของลำคลื่นที่ใช้ส่ง ซึ่งก็คือคลื่นอุตราโซนิก

การแยกแยะตามแกนของลำคลื่น (range resolution) เป็นการวัดความสามารถในการแยกความแตกต่างของเป้า 2 อัน ตามแนวแกนของลำคลื่น ซึ่งถูกกำหนดตามความยาวของพัลส์สะท้อนของคลื่นอุตราโซนิกจากเป้าเล็กๆ ในทางอุดมคติพัลส์จะต้องสั้น เพราะถ้าพัลส์ยาวเกินไปซึ่งจะทำให้คลื่นสะท้อนเกิดการซ้อนกัน

ประโยชน์ในการใช้งานคลื่นอุตราโซนิก

คลื่นอุตราโซนิกเป็นคลื่นที่มีทิศทาง ทำให้สามารถกำหนดจุดที่คลื่นจะเดินทางไปยังเป้าหมายได้โดยเจาะจง ยิ่งคลื่นที่มีความถี่สูงมากขึ้นความยาวคลื่นยิ่งสั้นลง ถ้าความยาวคลื่นยาวกว่าช่องเปิดที่ให้คลื่นออกมาของตัวที่ให้กำเนิดเสียงความถี่นั้น เช่น คลื่นความถี่ 300 Hz ในอากาศ จะมีความยาวคลื่นถึงประมาณเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 เมตรเศษๆซึ่งจะยาวกว่าช่องเปิดที่ให้คลื่นเสียงออกจากตัวกำหนดคลื่นเสียงโดยทั่วไปมากมาย คลื่นจะหักเหที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดคลื่นนั้นๆแต่ถ้าความถี่สูงขึ้นมาอยู่ในย่านอัลตราโซนิก อย่างเช่น 40 KHz ซึ่งจะมีความยาวคลื่นในอากาศเพียง 8 มิลลิเมตรเท่านั้น และจะเล็กกว่าช่องเปิดที่ให้เสียงลอดออกมา ที่ความถี่นี้คลื่นจะไม่มี การเลี้ยวเบนที่ขอบจึงพุ่งออกมาเป็นลำแคบๆหรือที่เราเรียกว่ามีทิศทางนั่นเอง การมีทิศทางของคลื่นย่านอัลตราโซนิกก่อให้เกิดประโยชน์ที่เราจะสามารถนำไปใช้งานได้หลายอย่าง เช่นเครื่องควบคุมระยะไกล(Ultrasonic remote control) ,เครื่องล้างอุปกรณ์ (Ultrasonic cleaner) เครื่องวัดความหนาแน่นของวัตถุ,เครื่องวัดความลึกและทำแผนที่ใต้น้ำ (sonar) ,เครื่องหาอวัยวะภายในร่างกาย หรือใช้ทดสอบการรั่วของท่อ เป็นต้น โดยความถี่ที่ใช้จะขึ้นกับการใช้งาน เช่นถ้าการใช้งานจำเป็นต้องให้คลื่นอัลตราโซนิกเดินทางผ่านอากาศแล้ว ความถี่ที่จะใช้งานมักจะจำกัดไม่เกิน 50 KHz เพราะที่ความถี่สูงกว่านี้ อากาศจะดูดกลืนคลื่นได้มากขึ้น ทำให้ระดับความแรงของคลื่นอัลตราโซนิกที่ระยะห่างออกไปลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนการใช้งานด้านการแพทย์ ซึ่งต้องการรัศมีทำการสั้นๆก็อาจใช้ความถี่ในช่วง 1 MHz-10MHz ขณะที่ความถี่เป็นจิกกะเฮิรตซ์ (GHz;10⁹ Hz)ก็มีการนำไปใช้ในหลายๆด้าน โดยที่ตัวกลางที่คลื่นอัลตราโซนิกเดินทางผ่าน ไม่ใช่อากาศ

2.1.2 เปียโซอิเล็กทริก ทรานสดิวเซอร์ (Piezo-electric transducer)

ทรานสดิวเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล โดยการสั่นไปมาทำให้เกิดคลื่นเสียงและก็เป็นอุปกรณ์ที่ทำการรับคลื่นเสียงเข้ามาแล้วทำการแปลงกลับไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าได้ ดังนั้นในการทำงานจึงต้องมีทรานสดิวเซอร์ 2 ตัวโดยทำหน้าที่เป็นตัวส่งและตัวรับอย่างละตัวในระบบเดียวกัน ซึ่งทรานสดิวเซอร์จะมีความถี่เรโซแนนท์(resonant frequency) อยู่ค่าหนึ่งและจะต้องใช้ร่วมกันเสมอ ทรานสดิวเซอร์ทั้ง 2 ตัวนี้จะมีรูปร่างและลักษณะเหมือนกันทุกอย่างและมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกันมาก เราสามารถจะรู้ว่าตัวไหนเป็นตัวรับหรือตัวส่งโดยดูจากตัวอักษรท้ายเบอร์ เช่น MA40A5S คือตัวส่ง “ S ” หมายถึง sender และ MA40A5R คือตัวรับ “ R ” หมายถึง receiver แต่ในวงจรสัญลักษณ์ของตัวส่งจะเหมือนรูปลำโพงหรือเขียนว่า Tx ซึ่งหมายถึง Transmitter และตัวรับจะเขียนรูปไมโครโฟน หรือเขียนว่า Rx ซึ่งหมายถึง Receiver

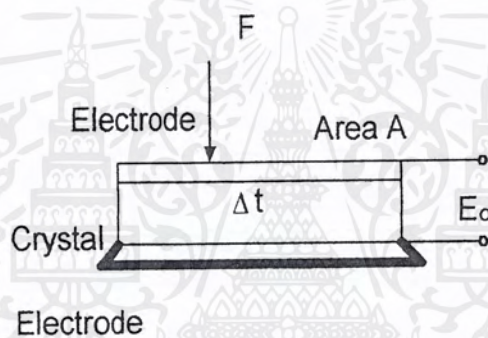
ทรานสดิวเซอร์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดโดยมากจะมีความถี่เรโซแนนท์ให้เลือกใช้ตั้งแต่ค่า 23 – 40 KHz แต่ส่วนมากนำมาใช้และพบเห็นบ่อยคือค่า 23 KHz ,25 KHz และ 40KHz โดยที่ค่าความถี่ 40 KHz เป็นแบบที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากค่าความถี่นี้การเดินทางของคลื่นอัลตราโซนิกจะดีกว่าที่ความถี่อื่นๆ และทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริกเพราะเป็นรูปแบบที่นำมาใช้ในการปฏิบัติงานในโครงการนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก

เพียโซอิเล็กทริกเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติอย่างหนึ่ง ซึ่งทำให้พลังงานเปลี่ยนแปลงจากรูปหนึ่งไปเป็นพลังงานอีกรูปหนึ่งได้กล่าวคือ ถ้าป้อนแรงกลให้แก่ไดอิเล็กทริกแบบคริสตัล (solid crystalline dielectric)

ดังรูปที่ 2.2 ซึ่งจะเกิดความเค้นภายในคริสตัล และทำให้แลตทิซของคริสตัลผิดรูปไปเช่นผลควอทซ์ เป็นต้น ผลก็คือ ประจุจะเปลี่ยนไปการผิดรูปร่างของแลตทิซเป็นผลให้ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัด (displacement) ของประจุบวกและลบในแลตทิซเปลี่ยนไป การกระจัดของประจุภายในจะเท่ากับประจุภายนอกของขั้วที่ตรงกัน ข้างบนด้านตรงกันข้ามของเพียโซอิเล็กทริก (piezo-electric effect)



รูปที่ 2.1 แสดงผลของเพียโซอิเล็กทริก (piezo-electric effect)

การวัดประจุทำได้โดยการต่ออิเล็กโทรด (electrode) เข้าที่ผิวด้านนอกแล้ววัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสอง ขนาด (magnitude) และการมีขั้ว (polarity) ของประจุบนผิวที่ถูกเหนี่ยวนำ (induced surface charge) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดและทิศทางของแรงที่มากระทำ แสดงได้ตามความสัมพันธ์ดังนี้

$$Q = dF \quad (\text{coulomb}) \quad (10)$$

Q = ขนาดของประจุบนผิวที่ถูกเหนี่ยวนำ (coulomb)

d = ค่าความไวของประจุ (charge sensitivity) (coulomb)

F = ขนาดของแรงที่ทำให้คริสตัลสั่นตัวไปมาเป็นระยะทาง Δt (newton)

ค่าความเค้นและความเครียดภายในคริสตัลสามารถแสดงได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\zeta = Y \sigma \quad (\text{coulomb})$$

Y = ค่ายังส์มอดูรัส (Young's modulus) (Newtom/m²)

σ = ความเครียด ($\sigma = \Delta/t$)

ζ = ความเค้น ($\zeta = F/A$) (Newtom/m²)

Δt = ระยะที่เกิดจากการสั้นของคริสตัล (m)

t = ความหนาของคริสตัล (ระยะห่างระหว่างแผ่นอิเล็กโทรด) (m)

A = พื้นที่ของคริสตัลบนด้านที่เป็นอิเล็กโทรด (m)

จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ 11 เราสามารถสร้างความสัมพันธ์แบบใหม่ได้คือ

$$F = \Delta t Y A / t \quad (\text{newton}) \quad (12)$$

และจากความสัมพันธ์ดังสมการที่ 12 เมื่อนำไปแทนกลับลงในความสัมพันธ์ของสมการที่ 10 จะได้ว่าค่าประจุบนผิวของคริสตัลที่ถูกเหนี่ยวนำจะเป็นสัดส่วนกับระยะที่เกิดจากการสั้นของแท่งคริสตัลนั้นดังนี้

$$Q = d A Y \Delta t / t \quad (\text{coulomb}) \quad (13)$$

ประจุบนผิวอิเล็กโทรดที่ถูกเหนี่ยวนำ จะทำให้เกิดโวลเตจเพิ่มขึ้นดังความสัมพันธ์ข้างล่างนี้ ซึ่งก็หมายความว่าถ้าประจุบนผิวของอิเล็กโทรดถูกเหนี่ยวนำมากขึ้น โวลเตจตกคร่อมก็จะมากไปด้วย

$$E_0 = Q/C \quad (\text{volt}) \quad (14)$$

E_0 = โวลเตจตกคร่อมระหว่างขั้วอิเล็กโทรด (volt)

C = ค่าความจุของประจุระหว่างขั้วอิเล็กโทรด (farad)

ค่าความจุของประจุระหว่างขั้วอิเล็กโทรดนี้ เป็นค่าที่ขึ้นกับชนิดของสารกึ่งตัวนำหรือวัสดุเปียโซอิเล็กทริกที่นำมาใช้ วัสดุต่างชนิดจะมีค่า C ต่างกัน

$$C = \epsilon A / t \quad (\text{farad})$$

ϵ = ค่าสัมบูรณ์ของการซึมซาบของวัสดุเปียโซอิเล็กทริก

(absolute permittivity) (farad/ m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความสัมพันธ์ตามสมการที่ 10 , 14 และ 15 เราสามารถแสดงค่าโวลเตจตกคร่อมระหว่างขั้วของอิเล็กโทรดได้ใหม่ดังความสัมพันธ์ข้างล่างนี้

$$E_o = d F t / \epsilon A \quad (\text{volt}) \quad (16)$$

หรือ

$$E_o = g F t / A = g t P \quad (\text{volt}) \quad (17)$$

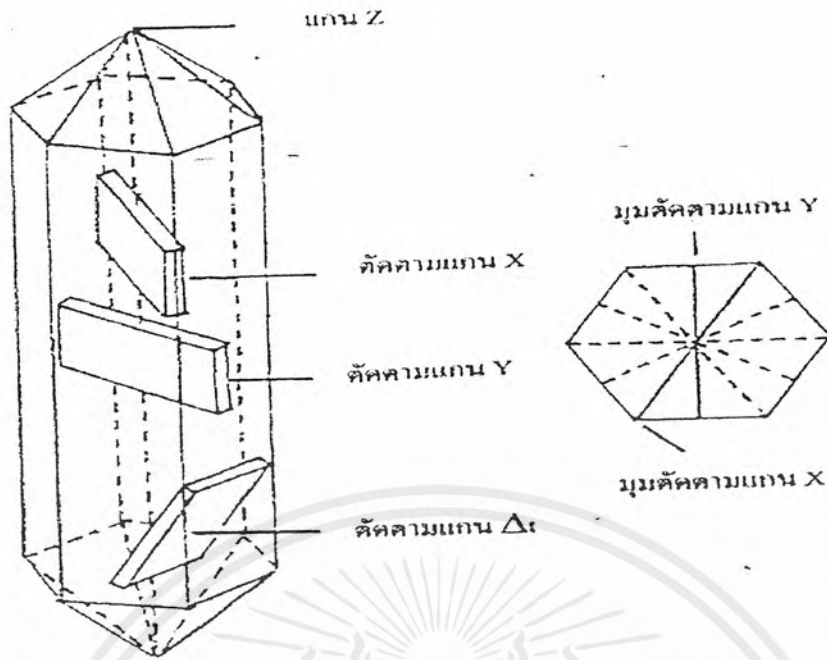
g = ค่าความไวของโวลเตจ (voltage sensitivity ; $g = d/\epsilon$)
(volt - m /Newton)

P = ค่าดันที่กระทำต่อวัสดุเปียโซอิเล็กทرونิก ; $P = F/A$
(Newton / m²)

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าความไวของประจุและค่าความไวของโวลเตจของวัสดุเปียโซอิเล็กทริกที่ต่างชนิดกัน และผลที่จะเกิดจากแนวการตัดที่ไม่เหมือนกัน

MATERIAL	ORIENTATION	CHARGE SENSITIVITY (d) (Coulomb/newton)	VOLTAGE SENSITIVITY (g) (Volt- m /Newton)
1. Quartz	X cut :length along Y		
	Length longitudinal	2.25×10^{-12}	0.055
	X cut : thickness		
	Longitudinal	-2.04	-0.050
2. Rochelle salt	Y cut : thickness shear	4.4	0.108
	X cut 45° : length		
	Longitudinal	435	0.098
3. Ammonium Dihydrogen Phosphate	Y cut 45° : length		
	Longitudinal	-78.4	-0.29
	Z cut 0° : face shear	48	0.354
4. Commercial Barium Titanate Ceramic	Z cut :45° :length		
	Longitudinal	24	0.177
	Parallel to polarizetion	130-160	0.0106
	Perpendicular to	-56	0.0042-0.0053
	Polarizetion		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงผลึกควอทซ์ และลักษณะการตัดผลึก

ชิ้นส่วนของวัสดุเปียโซอิเล็กทริก (piezo-electric element) จะมีการตัดแบบต่างๆเพื่อผลทางด้านความไวของประจุและ โวลเตจ โดยการตัดก็ถือตามวิธีตัดตามแนวแกนต่างๆดังรูปที่ 2.3

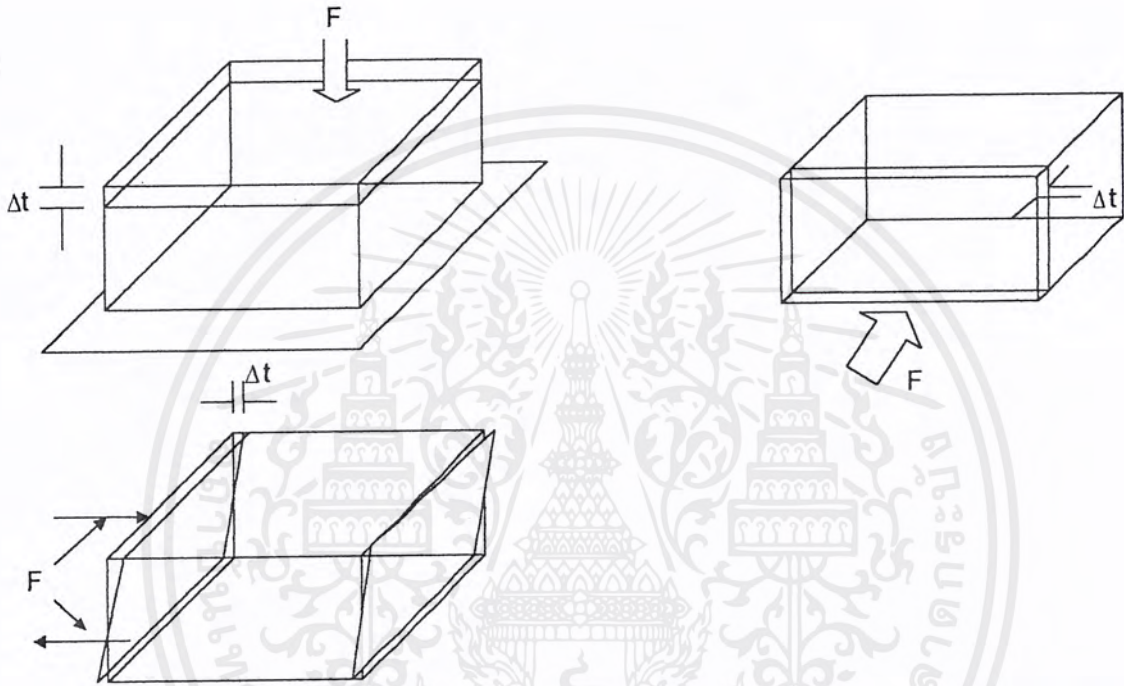
วัสดุเปียโซอิเล็กทริกที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง เช่น ควอทซ์ (Quartz), ทูร์มาลีน โรเชลล์ ซอลท์ (Tourmaline Rochelle Salt), แอมโมเนีย ไดไฮโดรเจน ฟอสเฟต (Ammonium Dihydrogen Phosphate; APD) ลิเทียม ซัลเฟต (Lithium Sulphate), แบเรียม ไตทาเนต (Barium Titanate) และเลด เซอร์โคเนต ไตทาเนต (Lead Zirconate Titanate; PZI) โดยทั่วไปแล้วพวกควอทซ์และคริสตัลที่เป็นเปียโซอิเล็กทริกธรรมชาติ มันจะมีขั้วของมันเองตามธรรมชาติแต่พวกเปียโซอิเล็กทริกที่สังเคราะห์ขึ้นมาเช่น แบเรียมไตทาเนตหรือ เซรามิกเป็นต้น จะต้องนำมาทำการอบคริสตัลภายใต้แรงดันและวางวัสดุที่ได้นี้ในสนามไฟฟ้าที่มีความแรงของไฟ DC มากหลังจากชิ้นส่วนนี้ถูกเหนี่ยวนำในสนามไฟฟ้าแล้วก็มีขั้วตามแนวทิศทางของสนามและจะประพุดิตตามคุณสมบัติของเปียโซอิเล็กทริก สำหรับชิ้นส่วนวัสดุที่ทำจากวัสดุสังเคราะห์นี้ไม่มีข้อจำกัดทางขนาดโดยโครงสร้างของคริสตัล และยังสามารถทำให้รูปร่างและขนาดต่างๆรวมไปถึงทิศทางของขั้วก็จะถูกสร้างขึ้นระหว่างขั้นตอนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการปฏิบัติตัวของวัสดุเปียโซอิเล็กทริก

สามารถแยกเป็น โหมดการทำงาน (mode of operation) ดังนี้

1. ซิมเปิลเพลท (Simple plate) เป็นวัสดุเปียโซอิเล็กทริกชั้นเดียว โดยมีแรงมากระทำกับแผ่นเพลทในทิศทางต่างๆกันทำให้เกิดการยุบตัวหรือเปลี่ยนแปลงรูปไป ดังในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของแรงที่มากระทำกับแผ่นซิมเปิลเพลทในทิศทางต่างๆกัน จนทำให้เกิดการยุบตัวหรือเปลี่ยนแปลงรูปไป

2. สแต็ค (stack หรือ mutiple arrangement) เป็นการเอาชิ้นส่วนเปียโซอิเล็กทริกมาต่อกันในลักษณะโหมดของคอมเพรสชัน-เอกซ์เพนชัน (compression-espression mode) ดังแสดงในรูปที่ 2.5 โดยการนำเอาชิ้นส่วนมาต่ออนุกรมกันก็จะได้อะตู่พุทโวลเตจ (out volatge) ออกมาสูงที่แรงกดดันอันเดียวกัน หรือถ้าเอามาต่อขนานกันจะได้เอาตู่พุทอิมพีแดนซ์ (output impedance) ต่ำกว่าชิ้นส่วนตัวเดียว ซึ่งสามารถแบ่งลักษณะต่างๆได้ดังนี้

a) ไบเมอร์ฟ หรือ เบนเดอร์ (bimorphs , bender) : ประกอบด้วยเพลทแบบทรานสเวอร์ส

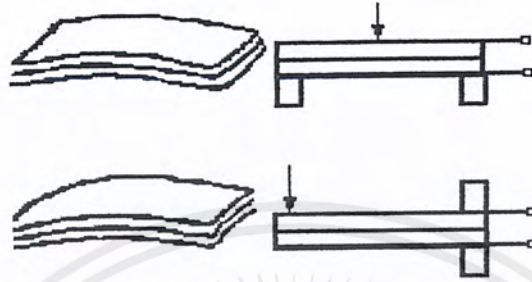
เอกซ์เพนดิง 2 อัน (transverse expanding) ติดกันไว้อย่างหนาแน่น ซึ่งเมื่อป้อนแรงดันให้แก่มัน

ก็จะเกิดการโค้งงอ และการโค้งงอของของชิ้นส่วนนี้เป็นเหตุให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างอิเล็ก

โทรด ดังแสดงในรูป 2. 6a และ 2.6b ซึ่งรูป 2.6a เป็นการติดตั้งชิ้นส่วนเปียโซอิเล็กทริกไว้บนขา

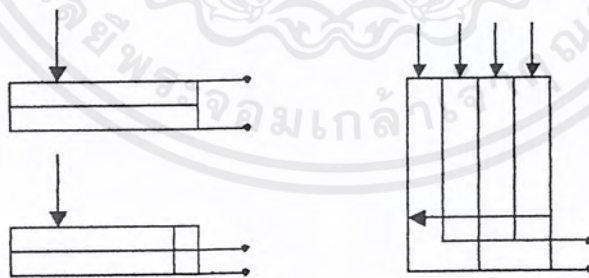
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่อยู่กับที่และมีแรง F มากระทำที่ตรงกลางแผ่น ส่วนในรูปที่ 2.6b จะเป็นการติดตั้งเปียโซอิเล็กทริก โดยมีการยึดปลายของวัสดุเพียงด้านเดียวในลักษณะที่เป็นเท้าแขน ระบบนี้เป็นที่ใช้บ่อยในโฟโนกราฟ พิคอัพ คาทรिจ (phonograph pickup cartridge)



รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะการต่อวัสดุเปียโซอิเล็คทริกแบบไบมอร์ฟ หรือ เบนเคอร์โดยที่มีแรงมากระทำต่อวัสดุ

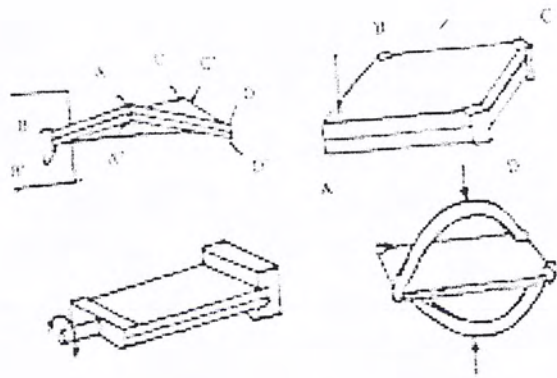
- 2.4a แสดงการติดตั้งวัสดุบนขาตั้งที่อยู่กับที่ โดยมีแรง F ใดๆมากระทำกับวัสดุ ณ จุดกึ่งกลางของวัสดุ และผลที่เกิดขึ้นหลังจากมีแรงมากระทำ
- 2.4b แสดงการติดตั้งวัสดุที่มีจุดยึดที่ปลายด้านหนึ่ง โดยมีแรงมากระทำที่ปลายอีกด้านหนึ่งและผลที่เกิดขึ้น ภายหลังจากมีแรงมากระทำ



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะการต่อวัสดุเปียโซอิเล็คทริกใน โหมดของคอมเพรสชั่น-เอกซ์แพนชั่น

ในรูปที่ 2.6 แสดงเพลทแบบเฟสเชียร์ (face-shear plate) 2 อันมาวางประกบกันอย่างแน่นหนา ถ้าจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้แผ่นเพลททั้งสองแล้วมันจะเคลื่อนไหวโดยอิสระการแผ่ขยายตัวจะมีมากการขยายตัวก็จะเป็นไปในแนวเส้นแทงมุม AC และ $A'C'$ ขยายตัว ทำนองเดียวกันกับเส้นแทงมุม BD ขยายตัวและ $B'D'$ ประกบกันอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงการต่อวัสดุเพียโซอิเล็กทริกแบบสแต็ค ในลักษณะของทวิสเตอร์

ตารางที่ 2.3 แสดงคุณสมบัติด้านต่างๆของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก

PHYSICAL PROPERTY	UNLTS	QUARTZ (X-CUT)	LITHIUM SULPHATE	BARIUM TITANATE
1. Density	10^3 kg/m^3	2.65	2.06	5.5
2. Velocity	10^3 m/s	5.45	5.44	4.49
3. Acoustic impedance	10^6 kg/m^2	14.4	11.2	24.7
4. Young's modulus	$10^{10} \text{ Newton/m}^2$	7.9	6.1	11.1
5. Dielectric constant	Relative to vacuum	4.57	10.3	1,250
6. Piezoelectric constant	10^{-12}	2.25	16	145
7. Mechanical quality	-	10^6	-	450
8. Factor temperature	C	575	75	115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิดของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์สามารถจำแนกได้เป็น 2 ชนิดคือ

1. ทรานสดิวเซอร์แบบเจเนอเรชั่น แอกชั่น (generation-action transducer) ใช้เป็นตัวรับ โดยแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะหาได้จากแรงดันและความถี่ที่มากระทำต่อวัสดุเปียโซอิเล็กทริก
2. ทรานสดิวเซอร์แบบมอเตอร์ แอกชั่น (motor-action transducer) ใช้เป็นตัวส่ง โดยการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างที่ทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิก จะเกิดขึ้นอยู่กับค่าความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้ทั้งสองกรณี ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับขนาดของวัสดุเปียโซอิเล็กทริก

การทำงานของทรานสดิวเซอร์ตัวรับและตัวส่ง

สำหรับทางด้านตัวส่ง เมื่อทรานสดิวเซอร์ได้รับสัญญาณแรงดันมาครบคร่อมจะทำให้ชั้นสารเปียโซอิเล็กทริกโก่งงอ ทำให้เกิดการอัดอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นขึ้นมา ดังนั้นถ้าป้อนสัญญาณเป็นห้วงๆ (pulse) จากออสซิลเลเตอร์ก็จะทำให้ชั้นสาร โก่งงอมากขึ้นหรือทิศทางใดตามขนาดและทิศทางการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณไฟฟ้าจากออสซิลเลเตอร์นั้น โดยทั่วไปกำลังเอาต์พุตที่ออกมาจะตกลงประมาณ 10 % ของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้ แต่เอาต์พุตจะสูงที่ค่านี้โดยประมาณก็ต่อเมื่อความถี่ของสัญญาณออสซิลเลเตอร์ที่ป้อนเข้าชั้นสารตรงกับความถี่เรโซแนนท์ที่เป็นความถี่ทางกลตามธรรมชาติของชั้นสารนั้นๆ ส่วนที่ความถี่อื่นๆ

กำลังเอาต์พุตจะลดลงยิ่งกว่านี้

ส่วนการทำงานของทางด้านตัวรับ มีการทำงานตรงกันข้ามกับทางด้านส่ง คือ เมื่อมีคลื่นเสียงที่มีความถี่ตรงกับความถี่เรโซแนนท์ของชั้นสารเข้ามา ก็จะทำให้ชั้นสารโก่งตัวไปมาและเกิดสัญญาณเป็นแรงดันไฟฟ้าขึ้นมาพร้อมๆ ทั้งสองของชั้นสารตัวรับ

คุณสมบัติโดยทั่วไปอย่างหนึ่งของอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริก คือ มีความต้านทานต่อไฟตรงสูงมากและอาจสูงถึง 100 เมกกะโอห์มเลยทีเดียว เรียกว่าถ้าเอามัลติมิเตอร์ธรรมดาตั้งสเกลวัดค่าความต้านทานสูงๆ เข็มจะไม่กระดิกเลย แต่อย่างไรก็ตามในขณะที่มันทำงานความต้านทานต่อไฟฟ้าสลับจะลดลง

ข้อควรรู้ในการใช้งานตัวรับและตัวส่ง

ซึ่งพอจะสรุปเป็นแนวทางการใช้งานได้ดังนี้

1. ไม่ควรให้ทรานสดิวเซอร์ได้รับการกระทบกระเทือนหรือตกจากที่สูง เพื่อป้องกันโครงสร้างภายในไม่ให้เสียหาย
2. ทรานสดิวเซอร์ที่มีขายกัน โดยทั่วไปจะทนแรงดันตกคร่อมตัวมันสูงสุดได้ไม่เกิน 20 Vrms ดังนั้นขนาดของสัญญาณที่จะป้อนให้กับตัวทรานสดิวเซอร์ก็ควรอยู่ภายในขีดจำกัดอันนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ความถี่รีโซแนนท์ หรือความถี่ที่ตัวมันทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุดของทรานสดิวเซอร์แบบ 40 KHz ที่มีขายกันโดยทั่วไป จะผิดพลาดไปไม่เกิน ± 1 KHz และมีแถบความถี่ (bandwidth) ประมาณ 4.5 สำหรับตัวส่ง และมีแถบความถี่ประมาณ 5.0 KHz สำหรับตัวรับ จะเห็นว่าแถบความถี่ของตัวรับจะกว้างกว่าของตัวส่งเล็กน้อย เพื่อให้แน่ใจว่าตัวรับจะสามารถรับความถี่ที่ออกมาจากตัวส่งได้
4. อุณหภูมิใช้งานของตัวทรานสดิวเซอร์ควรอยู่ภายในช่วง -20 ถึง 60 องศาเซลเซียส
5. ทั้งตัวส่งและตัวรับจะมีทิศทางคล้ายคลึงกันมาก กล่าวคือ ที่ตำแหน่งเบนจากแนวแกนไปประมาณ 30 องศา ความแรงของคลื่นเสียงที่ถูกส่งออกไปจะลดลงจากแนวแกนประมาณ 10 dB ในทำนองเดียวกันถ้าคลื่นเสียงพุ่งเข้ามาในแนวที่เบี่ยงเบนไปจากแนวแกนของตัวรับไปประมาณ 10 dB ด้วยเช่นกัน ดังนั้นการใช้งานที่เป็นการควบคุมระยะไกลในที่โล่งแจ้ง จึงควรพยายามให้ทั้งตัวรับและตัวส่งอยู่ในแนวที่พุ่งเข้าหากันให้มากที่สุด อย่างไรก็ตามในกรณีที่อยู่ในห้องคลื่นอาจเบี่ยงเบนจากกันได้มาก เพราะคลื่นอุลตราโซนิคนี้สามารถสะท้อนกับกำแพงและวัตถุที่อยู่ในห้องได้ทำให้คลื่นเข้าหาตัวรับได้หลายทาง

คลื่นอุลตราโซนิคนี้สามารถทำให้เป็นลำแคบได้ โดยใช้เลนส์ที่เรียกว่าพลาโนคอนเคฟเลนส์ (plano- concave lens) วางข้างหน้าตัวทรานสดิวเซอร์ แต่การทำให้เป็นลำแคบนี้จะทำให้ระยะทางทำงานสั้นลง การทำให้ลำคลื่นเหมาะสำหรับทรานสดิวเซอร์ที่สร้างคลื่นที่มีความถี่สูงและเหมาะสมใช้ทางการแพทย์ (Ultrasound) โดยใช้ความถี่ตั้งแต่ $1-10$ KHz

6. ในกรณีที่ใช้งานตัวรับจำเป็นต้องมีตัวต้านทานต่อขนานกับตัวรับ เพื่อทำหน้าที่เป็นโหลด ตามปกติแล้วตัวต้านทานนี้ควรจะมีค่าอยู่ในช่วง 10 กิโลโอห์ม ถึง 100 กิโลโอห์ม จากการทดลองพบว่าถ้าเปลี่ยนโหลดจาก 100 กิโลโอห์ม มาเป็น 10 กิโลโอห์ม ความไวของตัวรับจะลดลงประมาณ 10 ถึง 12 dB แต่แถบความถี่จะกว้างขึ้น ถ้าใช้ค่าความต้านทานต่ำลงไปอีกความถี่รีโซแนนท์จะลดลงไปจากที่ระบุไว้ ถ้าการใช้งานมีสัญญาณรบกวนมาก ควรจะใช้โหลดที่มีความต้านทานสูงสักหน่อย เพื่อให้ตัวรับมีความไวสูงและมีแถบความถี่แคบ
7. ตามปกติแล้วเราสามารถนำเอาตัวส่งและตัวรับมาใช้งานแทนกันได้ในการใช้งานส่วนใหญ่ และตัวส่งหรือตัวรับของยี่ห้อใด รุ่นใด ก็สามารถใช้แทนกันได้ ขอเพียงแต่ให้มีความถี่รีโซแนนท์เท่านั้นเอง อย่างไรก็ตามในบางกรณีอาจต้องมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสมมูลทางด้านไฟฟ้า กระแสสลับเพื่อให้ลักษณะผลตอบสนองทางความถี่สอดคล้องกับของเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 หลักการทำงาน (Principal of working)

จากการที่คลื่นอุลตราโซนิคเป็นคลื่นที่กระจายในอากาศด้วยความเร็วคงที่ หลักการทำงานคร่าวๆก็มีอยู่ว่าในการเดินทางจากตัวส่งไปยังวัตถุและสะท้อนกลับมายังตัวรับ ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการคำนวณระยะทางได้ เมื่อเครื่องเริ่มส่งคลื่นอุลตราโซนิคออกไป วงจรนับ (counter) จะเริ่มนับพัลส์ (pules) ที่มีความถี่เท่ากับความเร็วของเสียงมีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที เมื่อคลื่นสะท้อนกลับมาถึงตัวรับ วงจรนับจะหยุดนับ ดังนั้นค่าที่ได้จากการนับจึงเป็นระยะทาง 2 เท่าของของระยะจากเครื่องวัดถึงวัตถุ ดังนั้นเพื่อให้ได้ระยะทางจริงจึงต้องการ 2 หรืออีกนัยหนึ่งซึ่งให้ผลเช่นเดียวกัน สามารถทำได้โดยให้วงจรนับเริ่มนับพัลส์ที่มีความถี่เท่ากับความเร็วเสียง และเมื่อวงจรนับหยุดนับ จำนวนพัลส์ที่นับได้จะเท่ากับระยะทางจริงจากเครื่องวัดถึงวัตถุสะท้อน

เราสามารถคำนวณระยะทางจากเครื่องวัดถึงวัตถุสะท้อนได้จาก

$$S = V(T/2) \quad (\text{meter}) \quad (18)$$

S = ระยะทางจากเครื่องวัดถึงวัตถุ (m)

V = ความเร็วของเสียงในอากาศ (m/s)

T = เวลาในการเดินทางไปและกลับของคลื่นอุลตราโซนิค (second)

2.2 หลักการและทฤษฎีของไมโครคอนโทรลเลอร์

ภาคนี้มีหน้าที่ในการประมวลผล และควบคุมให้รถวิ่งเข้าหาวัตถุได้อย่างถูกต้อง โครงสร้างภายใน และกรใช้งานของ MCS51

2.2.1 หน่วยความจำเป็น แบ่งออกเป็นหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมและหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล

2.2.1.1 หน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรม (program memory) หน่วยความจำชนิดนี้ CPU สามารถอ่านข้อมูลได้อย่างเดียว ไม่สามารถที่จะเขียนข้อมูลลงไปได้ ขนาดของหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมสูงสุดของ MCS51 จะเป็น 64 KB ซึ่งหน่วยความจำชนิดนี้ยังแบ่งออกได้เป็น

2.2.1.1.1 หน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมภายใน (Internal program memory) คือ หน่วยความจำประเภท ROM และ EPROM ใน MCS51 เบอร์ 8051 ตามลำดับ ซึ่งมีขนาด 4 KB

2.2.1.1.2 หน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมภายนอก(External program

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

memory) คือ หน่วยความจำที่อยู่ภายนอก MCS51 โดยอาจจะเป็นการต่อขยายเนื่องจากหน่วยความจำภายในมีไม่พอหรือใน MCS51 รุ่น ROMless version ที่ไม่มี ROM ภายใน ก็จะมีหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมทั้งหมดอยู่ภายนอก

2.2.1.2 หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล (Data Memory) เป็นหน่วยความจำประเภท RAM ที่เราสามารถอ่านและเขียนข้อมูลลงไปได้ โดยจะแบ่งออกเป็น

2.2.1.2.1 หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายนอก มีไว้ในกรณีที่หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในมีไม่พอ โดยจะมีได้สูงสุด 64 KB

2.2.1.2.2 ส่วนที่ใช้เก็บข้อมูลทั่วไป (Internal RAM) แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือบริเวณ 128 Byte แรกที่เรียกว่า lower 128 และบริเวณ 128 Byte หลังที่เรียกว่า upper 128 (ในส่วน upper 128 นั้นจะมีเฉพาะใน MCS51 บางเบอร์ เช่น 8052, 8032)

นอกจากนี้ในส่วน Internal RAM บริเวณ 128 byte แรกยังเป็นแบ่งเป็น register ใช้งานทั่วไปจำนวน 4 กลุ่ม กลุ่มละ 8 ตัว (R0-R7) ตั้งแต่ 00H-1FH และบริเวณหน่วยความจำที่เข้าถึงได้ในระดับบิตจำนวน 128 บิต ตั้งแต่ 20H-2FH

ส่วนที่ใช้เป็น register ใช้งานเฉพาะ (Special Function Register, SFR) สำหรับในส่วนนี้จะซ้อนทับอยู่กับ upper 128 เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเข้าถึงในแต่ละส่วนที่ต่างกัน โดยที่ upper 128 จะเข้าถึงได้โดยทางอ้อมเท่านั้น ส่วน SFR นั้นเข้าถึงได้โดยตรงเท่านั้น (สำหรับส่วน lower 128 นั้นสามารถเข้าถึงได้ทั้งทางตรง และทางอ้อม)

2.2.2 พอร์ตใน MCS51 เป็นพอร์ตขนาด 8 bit รวม 4 พอร์ตและแต่ละพอร์ตมีหน้าที่ติดต่อกับวงจรภายนอก โดยสามารถรับ และส่งข้อมูลกับวงจรภายนอกได้ กล่าวคือ เป็นพอร์ต 2 ทิศทาง (Bidirectional port) โครงสร้างของแต่ละพอร์ตประกอบด้วย

- วงจร lach
- วงจร Output Driver
- วงจร Inptu Buffer

สำหรับการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก พอร์ต 0 จะทำหน้าที่ส่ง Address byte (A0-A7) และยังใช้เป็น Data Bus โดยจะผลัดกันใช้คนละเวลาแบบ time multiplex ส่วนพอร์ต 2 จะใช้ส่งค่า Address Byte สูง (A8-A15)

2.2.3 timer/counter

time/counter ของ 89C51 ประกอบด้วย register ที่สามารถเลือกการทำงานเป็น timer หรือ counter อย่างใดอย่างหนึ่งจำนวน 2 ตัว แต่ละตัวมีขนาด 16 บิต คือ timer 0 และ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

timer 1 ตามลำดับ register ที่ใช้เป็น timer 0 ประกอบด้วย TL0,TH0 ขนาด 8 บิต ส่วน timer 1 ประกอบด้วย TL1,TH1 ขนาด 8 บิตเช่นกัน ในการทำงานเป็น timer หรือ counter จะมีรายละเอียดที่แตกต่างกันออกไปดังนี้

timer : ใช้ register timer 1 หรือ 2 เป็นตัวนับจำนวน machine cycle และเนื่องจากใน 1 machine cycle ใด ๆ ของ MCS51 ประกอบด้วยไปด้วย 12 คาบสัญญาณออสซิลเลเตอร์(oscillator period) ดังนั้นอัตราเร็วในการนับจึงมีค่าเป็น $1/12$ ของความถี่ออสซิลเลเตอร์ที่ใช้

counter : ค่าใน register ที่ใช้เป็น counter ที่ถูกเลือกใช้งานจะถูกเพิ่มค่าทีละหนึ่งเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสถานะของ logic ซึ่งตรวจจับได้จากขา T0 และ T1 ในขณะนั้น

นอกจากจะสามารถเลือกการทำงานของ register ให้เป็น timer หรือ counter ได้แล้วในแต่ละการทำงานเป็น timer หรือ counter ของ timer 0 หรือ timer 1 ก็ยังมีการทำงานที่แยกย่อยลงไปอีกถึง 4 แบบ (โหมด 0,1,2 และ 3) ตามความเหมาะสมของการใช้งาน การทำงานย่อยทั้ง 4 ประเภทของ timer 0 และ timer 1 มีรายละเอียดดังนี้

ผู้ใช้สามารถเลือกการทำงานให้เป็น timer หรือ counter ใดๆอย่างหนึ่งโดยการกำหนด บิต C/ T ใน register ใช้งานเฉพาะ TMOD หากบิตนี้มีค่าเป็น 0 หมายถึงเลือกให้ register ทำงานเป็น timer แต่ถ้าบิตนี้เป็น 1 หมายถึง เลือกให้ทำงานเป็น counter

register TMOD

tmod7	tmod6	tmod5	tmod4	tmod3	tmod2	tmod1	tmod0
GATE	C/T	M1	M0	GATE	C/T	M1	M0

บิต tmod7 ถึง tmod4 สำหรับ timer 1

บิต tmod3 ถึง tmod0 สำหรับ timer 0

บิต

1. GATE บิตเลือกการควบคุมให้ register สำหรับใช้เป็น timer หรือ counter ทำงาน โดยควบคุมจากฮาร์ดแวร์หรือซอฟต์แวร์ดังนี้

- เมื่อบิต TRx (TR0,TR1) และ GATE ถูกเซต timer หรือ counter จะทำงาน ต่อเมื่อสถานะที่ขา INTx(INT0,INT1) มีค่าเป็น 1 (ควบคุมจากฮาร์ดแวร์)
- เมื่อบิต GATE ถูกเคลียร์ timer หรือ counter จะทำงานก็ต่อเมื่อบิต TRx ถูกเซตโดยไม่ขึ้นกับสถานะสัญญาณที่ขา INTx (ควบคุมจากซอฟต์แวร์)

2. C/ T บิตเลือกการทำงานของ register สำหรับใช้เป็น timer หรือ counter ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 0 หมายถึงทำงานเป็น timer
 - 1 หมายถึงทำงานเป็น counter (นับจำนวนพัลส์ภายนอกที่ขา Tx)
3. M1 บิตสำหรับเลือกโหมดการทำงานของ timer 0 หรือ timer 1
M0 บิตสำหรับเลือกโหมดการทำงานของ timer 0 หรือ timer 1
- ถ้าบิต M1 และ M0 เป็น
- | | |
|-----|---|
| 0 0 | mode 0 : timer หรือ counter ขนาด 13 บิต |
| 0 1 | mode 1 : timer หรือ counter ขนาด 16 บิต |
| 1 0 | mode 2 : timer หรือ counter ขนาด 8 บิต ที่มีการไหลคค่าเองเมื่อเกิด overflow |
| 1 1 | mode 3 : timer 0 |
- register TL0 ใช้เป็น timer หรือ counter ขนาด 8 บิต
ที่มีการทำงานได้จากบิตของ timer 0 เอง
- register TH0 ใช้เป็น timer ขนาด 8 บิต ที่ควบคุมการทำงานได้จากบิตของ timer 1
- 1 1 mode 3 : timer 1 หยุดทำงาน (หยุดนับ)

โหมดการทำงานของ timer/ counter

โหมด 0 ใช้ register ขนาด 8 บิต เป็นตัวนับ โดยมีการเพิ่มค่าครั้งละ 1 ทุกครั้งที่นับสัญญาณได้ครบ 32 ครั้ง

ในการทำงานโหมดนี้ register ที่ใช้นับไม่ว่าถูกกำหนดการทำงานเป็น timer หรือ counter จะถูกใช้เพียง 13 บิต เท่านั้น (8 บิต ใน register THx รวมกับ 5 บิต ใน register TLx) โดยในขณะที่ค่าใน register ถูกเปลี่ยนจากเดิมที่เป็น 1 ทั้งหมดเป็น 0 ทั้งหมด (เกิด overflow) จะทำให้บิต TFO หรือ TFI ถูกเซต สัญญาณที่ใช้ในการนับจะผ่านเข้ามายัง register ที่ทำการนับได้ก็ต่อเมื่อ บิต TRx = 1 และ บิต GATE = 0

การเซตให้บิต GATE เป็น 1 จะเป็นการกำหนดให้ register ที่ใช้เป็น timer หรือ counter ถูกควบคุมการทำงานโดยสัญญาณที่ขา INTx (ควบคุมการนับโดยฮาร์ดแวร์) เพื่อนำ MCS51 ไปใช้วัดความถี่ของพัลส์ได้ง่าย (บิต TRx ต้องเป็น 1) ส่วนการเคลียร์ให้บิต GATE เป็น 0 จะมีผลให้การควบคุมการทำงานของ register ที่ใช้เป็น timer หรือ counter ได้โดยซอฟต์แวร์ ซึ่งทำได้โดยการเซต หรือเคลียร์บิต TRx ด้วยคำสั่งในโปรแกรม

โหมด 1 การทำงานจะเหมือนในโหมด 0 ทุกประการ แต่ register timer หรือ counter ถูกใช้งานครบทั้ง 16 บิต แทนที่จะเป็น 13 บิต นั่นคือ timer หรือ counter ในโหมดนี้มีขนาด 16 บิต

โหมด 2 จะใช้ register เพียง 8 บิต ซึ่งก็คือ register TLx และมีการโหลดค่าเองด้วยค่าใน THx เมื่อเกิด overflow ใน register TLx โดยที่ค่าในรีจิสเตอร์ THx นี้ สามารถ กำหนดได้ล่วงหน้าใน program และจะไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อถูกโหลดไปไว้ใน register TLx

การทำงานในโหมดนี้ มีไว้เพื่อใช้สร้างสัญญาณ Interrupt ที่มีคาบเวลาคงที่ หรือใช้สร้างฐานเวลาให้แก่ MCS51

โหมด 3 register timer 1 จะไม่มีการนับ ซึ่งมีผลเหมือนกับให้ค่าบิต TR1=0 แต่สำหรับ timer 0 จะมีการทำงานดังต่อไปนี้

timer 0 ในโหมด 3 จะบังคับให้ register ใช้งานเฉพาะ TLO ของ timer 0 ถูกใช้เป็น timer หรือ counter ขนาด 8 บิต โดยสามารถควบคุม TLO ได้ จากบิต C/ \bar{T} , GATE, TR0, INTO และการเกิด overflow ของ register TLO จะมีผลไปเซตบิต TF0 ส่วน register ใช้งานเฉพาะ TH0 ของ timer 0 จะถูกบังคับให้ใช้งานเป็น timer เป็นอย่างเดียว โดยสามารถควบคุมการทำงานได้จากบิต TR1 และ TF1 ของ timer 1 และจะเซตบิต TF1 เมื่อเกิด overflow นั่นคือขณะนี้ register TH0 จะถูกควบคุมการเกิด interrupt ของ timer 1

2.2.4 INTERRUPT

ตัว 89C51 สามารถรับอินเทอร์รัปต์ที่เกิดขึ้นทั้งจากภายนอกและภายในดังนี้

2.2.4.1 อินเทอร์รัปต์ที่เกิดจากภายนอก (External Interrupts) มีอยู่ 2 ชนิดคือ

- อินเทอร์รัปต์ภายนอกชนิด 0 ซึ่งรับได้จากขา INTO
- อินเทอร์รัปต์ภายนอกชนิด 1 ซึ่งได้รับจากขา INT1

การตรวจจับสัญญาณอินเทอร์รัปต์ทั้งสองชนิดสามารถทำได้ 2 แบบคือ

- ตรวจจับระดับสัญญาณ ทำได้โดยการเซตให้บิต ITx = 0 ซึ่งจะเกิดสัญญาณอินเทอร์รัปต์ให้ CPU ย้ายไปทำงานใน interrupt service routine เมื่อสัญญาณที่ขา INTx มี logic 0 โดยไม่มีการเคลียร์บิต IEx ให้ (บิต Iex ถูกเซตเมื่อเกิดสัญญาณอินเทอร์รัปต์)

- ตรวจจับการเปลี่ยน logic ของสัญญาณ ทำได้โดยการเซตให้บิต ITx = 1 ซึ่งจะทำให้เกิดสัญญาณอินเทอร์รัปต์ให้ CPU ย้ายไปทำงานใน interrupt service routine เมื่อสัญญาณที่ขา INTx เปลี่ยนจาก logic 1 เป็น 0 โดยจะมีการเคลียร์บิต IEx ให้โดยอัตโนมัติ (บิต IEx ถูกเซตเมื่อเกิดสัญญาณอินเทอร์รัปต์)

2.2.4.2 อินเทอร์รัปต์ที่เกิดจากภายใน ได้แก่อินเทอร์รัปต์ของพอร์ตสื่อสารอนุกรม,timer 0 หรือ timer 1 ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อบิต TF0 หรือ TF1 ถูกเซตขณะ timer 0 หรือ timer 1 เกิด overflow ยกเว้น timer 0 ในโหมด 3 ซึ่งหยุดการทำงานเมื่อมีอินเทอร์รัปต์จาก timer เกิดขึ้น บิต TF0 และ TF1 จะถูกลบโดยฮาร์ดแวร์ภายใน MCS51 เมื่อ CPU ย้ายไปทำงานที่โปรแกรมบริหารอินเทอร์รัปต์

สัญญาณอินเทอร์รัปต์ภายในอีกชนิดก็คือ สัญญาณอินเทอร์รัปต์ของพอร์ตสื่อสารอนุกรม สัญญาณอินเทอร์รัปต์ที่เกิดขึ้นได้มาจากเมื่อบิต TI หรือ RI ถูกเซต จะถูกเซตพร้อมกัน หรือบิตใดบิตหนึ่งถูกเซตก็ได้

ผู้ใช้สามารถเลือกระดับความสำคัญในการบริหารได้ 2 ระดับโดยการเซตหรือเคลียร์บิตใน register IP

Register IP

IP7	IP6	IP5	IP4	IP3	IP2	IP1	IP0
-	-	PT2	PS	PT1	PX1	PT0	PX0

บิต

PT2 กำหนดระดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ของ timer2

PS กำหนดระดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ของพอร์ตสื่อสารอนุกรม

PT1 กำหนดระดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ของ timer1

PX1 กำหนดระดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ภายนอกชนิด 1

PT0 กำหนดระดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ของ timer 0

Px0 กำหนดระดับความสำคัญในการตอบสนองต่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์ภายนอกชนิด 0

การให้บิตกำหนดลำดับความสำคัญของอินเทอร์รัปต์ เป็น 0 หมายถึง ให้อินเทอร์รัปต์ชนิดนั้นมีลำดับความสำคัญต่ำ ส่วนการให้บิตกำหนดความสำคัญของอินเทอร์รัปต์ เป็น 1 หมายถึง ให้อินเทอร์รัปต์ชนิดนั้นมีลำดับความสำคัญสูง

แต่หาว่ามีอินเทอร์รัปต์พร้อมกัน 2 ชนิดโดยมีลำดับความสำคัญเท่ากัน ลำดับการบริการอินเทอร์รัปต์ภายในจะเป็นตัวกำหนดเองว่าอินเทอร์รัปต์ชนิดใดควรถูกบริการก่อน ดังตาราง

ตารางที่ 2.4 การอินเทอร์รัปต์

แหล่งกำเนิดอินเทอร์รัปต์	ลำดับความสำคัญภายใน MCS51	
อินเทอร์รัปต์ภายนอกชนิด 0 (IE0)	สูงสุด	
อินเทอร์รัปต์ของ timer 0 (TF0)		
อินเทอร์รัปต์ภายนอกชนิด 1 (IE1)		
อินเทอร์รัปต์ของ timer 1 (TF1)		
อินเทอร์รัปต์ของพอร์ตสื่อสารอนุกรม (TI+RI)		ต่ำสุด
อินเทอร์รัปต์ของ timer 2 (TF2+EXF2)		

2.2.5 การเข้าถึงข้อมูลใน MCS51

- การเข้าถึงข้อมูลโดยตรง (Direct Addressing) เป็นวิธีกำหนดตำแหน่งหน่วยความจำโดยตรงในคำสั่ง

- การเข้าถึงข้อมูลโดยทางอ้อม (Indirect Addressing) ใช้ค่าใน register เป็นตัวชี้ตำแหน่งหน่วยความจำ (register ที่ใช้ก็เช่น register ใช้งานทั่วไป R0,R1 ของแต่ละกลุ่ม, stack pointer และ data pointer) โดย register ที่เก็บค่าตำแหน่งจะต้องระบุเครื่องหมาย “@” ไว้ข้างหน้า เช่น MOV A,@R0

- การเข้าถึงข้อมูลใน register ใช้งานทั่วไป (Register Instruction) ข้อมูลที่ต้องการจะอยู่ใน register ใช้งานทั่วไป R0-R7

- การเข้าถึงข้อมูลใน register เฉพาะของคำสั่ง (Register – Specific Instruction) เป็นการเข้าถึงข้อมูลใน Register บางตัวที่ MCS51 ทราบตำแหน่งอยู่แล้ว เช่น Accumulator , DPTR ,SP

- การเข้าถึงข้อมูลที่กำหนดเองโดยตรง (Immediate Constants) จะกำหนดค่าของข้อมูลให้กับคำสั่งโดยตรง ซึ่งจะต้องใช้เครื่องหมาย '#' ระบุหน้าข้อมูลที่ต้องการ เช่น MOV A,#100

- การเข้าถึงข้อมูลโดยใช้ตัวอ้างอิง (Indexed Addressing) จะใช้ค่ารีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ DPTR หรือ PC มารวมกับค่าใน ACC เพื่อชี้ตำแหน่งของหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมซึ่งเก็บข้อมูลไว้

ชุดคำสั่งใน MCS51

กลุ่มคำสั่งทั้งหมดใน MCS51 สามารถแบ่งออกเป็น 5 กลุ่มย่อยตามลักษณะการทำงานได้ดังนี้

1. กลุ่มคำสั่งทางคณิตศาสตร์ (Arithmetic Instruction) คำสั่งที่เกี่ยวข้องมีดังนี้
คำสั่ง INC และ DEC เป็นคำสั่งสำหรับการบวก 1 และลบ 1 กับค่าของ operand

INC ปลายทาง

DEC ต้นทาง

เช่น หากต้องการบวก 1 เข้ากับค่าใน register R0 สามารถทำได้ด้วยคำสั่ง INC R0

หากต้องการลบค่าใน register R0 ด้วย 1 สามารถทำได้ด้วยคำสั่ง DEC R0

คำสั่ง ADD และ SUBB เป็นคำสั่งสำหรับบวก และลบระหว่างค่าของ operand ต้น
ขนาด 8 bit กับ operand ปลายทาง ซึ่งเป็น register A เท่านั้น ผลลัพธ์จะเก็บที่ A เสมอ

ADD ปลายทาง, ต้นทาง

SUB ปลายทาง, ต้นทาง

เช่น หากต้องการบวกค่าใน register A ด้วยค่า 03H ก็สามารทำได้ด้วยคำสั่ง ADD

A,#03H

หากต้องการลบค่าใน register A ด้วยค่า 03H ก็สามารทำได้ด้วยคำสั่ง DEC A,#03H

นอกจากนี้ยังมีคำสั่ง ADDC ซึ่งทำงานเหมือน ADD ทุกอย่างเพียงแต่จะบวกกับ Carry
bit ด้วย

คำสั่ง MUL และ DIV เป็นคำสั่งสำหรับคูณ และหารค่าใน register A กับ register B

MUL AB และ DIV AB ตามลำดับ

2. กลุ่มคำสั่งทางตรรกศาสตร์ (Logical Instruction) คำสั่งที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

คำสั่ง ANL,ORL และ XRL เป็นการ AND,OR และ XOR (Exclusive OR)กันระหว่าง
operand 2 ตัวซึ่งจะสั่งให้ทำงานตรรกข้อมูลขนาดเป็น Byte หรือ Bit ก็ได้ เช่น หากต้องการ AND
ค่าใน register A ด้วยค่า 00001111 (ค่า Binary) ก็สามารทำได้ด้วยคำสั่ง ANLA,#00001111B
(กรณีคำสั่ง ORL และ XRL ก็ทำเช่นเดียวกัน)

คำสั่ง CPL เป็นคำสั่ง Complement ข้อมูลใน Accumulator

CPL A

คำสั่ง RL และ RR เป็นคำสั่งในการวน Bit บนตัว Accumulator ไปทางซ้ายและทางขวา

ตามลำดับ

RL A

RR A

คำสั่ง RLC และ RRC เหมือนกับคำสั่ง RL และ RR แต่ในการวนนั้นจะผ่าน Carry Flag

ด้วย

R

L

C

A

RRC A

3. กลุ่มคำสั่งเคลื่อนย้ายข้อมูล (Data Transfer Instruction) มีคำสั่งที่เกี่ยวข้องดังนี้

คำสั่ง MOV เป็นการนำค่าจาก operand ตัวหนึ่งมาให้อีกตัวหนึ่ง ในลักษณะของการ copy ข้อมูล ดังนั้นข้อมูลของ operand ต้นทางยังคงค่าเดิม

MOV ปลายทาง,ต้นทาง

เช่น การย้ายข้อมูลจาก Port 0 มายัง register A ก็สามารทำได้ด้วยคำสั่ง MOV A,P0

คำสั่ง PUSH เป็นการเคลื่อนย้ายข้อมูลไปเก็บไว้ในหน่วยความจำตำแหน่งที่ถูกระบุโดยค่าในรีจิสเตอร์ SP (Stack Pointer) ซึ่งเรียกบริเวณนี้ว่า Stack Area (บริเวณหน่วยความจำตั้งแต่ 08H เป็นต้นไป) เช่น ถ้าต้องการเก็บค่าในตำแหน่ง 03H ในหน่วยความจำลงใน Stack ก็สามารทำได้ด้วยคำสั่ง PUSH 03H

คำสั่ง POP เป็นการนำข้อมูลที่เก็บไว้ในหน่วยความจำ ณ ตำแหน่งที่ชี้โดย SP กลับคืนมา เช่น ถ้าต้องการนำค่าใน Stack ลงในตำแหน่ง 03H ในหน่วยความจำก็สามารทำได้ด้วยคำสั่ง POP 03H

4. กลุ่มคำสั่งควบคุมลำดับการทำงานของโปรแกรม (Program Control Instruction) แบ่งออกเป็น

4.1 แบบไม่มีเงื่อนไข ประกอบด้วย

คำสั่ง JMP เป็นคำสั่งควบคุมให้โปรแกรมกระโดดไปประมวลผลที่ตำแหน่งอื่นแบ่งออกเป็น 3 แบบคือ

SJMP เป็นคำสั่งกระโดดไปยังตำแหน่งปลายทางที่ห่างจาก Address ปัจจุบันไม่เกิน -128 ถึง +127 Byte

AJMP เป็นคำสั่งกระโดดไปยังตำแหน่งปลายทางในระยะ 2 KB

LJMP เป็นคำสั่งกระโดดไปยัง Address ใด ๆ ก็ได้ในช่วง 64 KB

คำสั่ง CALL และ RET คำสั่ง CALL มีไว้เพื่อควบคุมให้โปรแกรมหลักย้ายไปทำงานที่โปรแกรมย่อยชั่วคราว และสามารถกลับมาได้ด้วยคำสั่ง RET ที่อยู่ตอนท้ายของโปรแกรมย่อย (ต่างจาก JMP ที่คำสั่ง JMP จะย้ายไปทำงานที่ตำแหน่งอื่นเลย)

คำสั่ง NOP จะทำให้ CPU ไม่ทำงานใด ๆ ตลอด 1 machine cycle พร้อมทั้งเปลี่ยนค่าใน register PC ให้ชี้ไปยังตำแหน่งถัดไป

4.2 แบบมีเงื่อนไข คือจะกระโดดไปยังตำแหน่งอื่นก็ต่อเมื่อ เงื่อนไขของคำสั่งเหล่านี้เป็นจริงและประกอบด้วยคำสั่งดังนี้

คำสั่ง JZ จะกระโดดก็ต่อเมื่อ ค่าใน register A มีค่าเป็น 0

คำสั่ง JNZ จะกระโดดก็ต่อเมื่อ ค่าใน register A ไม่เป็น 0

คำสั่ง CJNZ จะเปรียบเทียบค่าใน operand ทั้ง 2 ตัว หากไม่เท่ากันจึงจะกระโดดไป

ทำงาน ณ ตำแหน่งที่ระบุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสั่งใน CJNZ จะทำการลดค่าใน operand ลงทีละหนึ่ง แล้วทำการตรวจสอบว่าเป็น 0 หรือไม่ หากไม่เป็น 0 ก็กระโดดไปทำงาน ณ ตำแหน่งอื่น

5 กลุ่มคำสั่งประมวลผลแบบบูลีน (Boolean Instruction) มีจุดประสงค์เพื่ออำนวยความสะดวกในการเขียนโปรแกรมที่ต้องเกี่ยวข้องกับข้อมูลระดับบิต แบ่งออกเป็น

5.1 กลุ่มคำสั่งควบคุมสถานะบิต ได้แก่

คำสั่ง CLR จะทำการ Clear Bit ที่ต้องการให้เป็น 0 เช่น การ clear bit Carry Flag ก็ทำได้ด้วยคำสั่ง CLR C

คำสั่ง SETB จะทำการ set bit ที่ต้องการให้เป็น 1 เช่น การ Set Bit Carry Flag ก็ทำได้ด้วยคำสั่ง SETB C

คำสั่ง CPL จะทำการ Complement Bit ที่ต้องการ เช่น การ Complement bit Carry Flag ก็ทำได้ด้วยคำสั่ง CPL C

5.2 กลุ่มคำสั่งเคลื่อนย้ายข้อมูล จะทำการ copy ข้อมูลไปที่ละนิต แต่มีข้อจำกัดที่ว่า ต้องใช้บิต C (Carry) ใน register PSW ทุกครั้ง เช่น การย้ายข้อมูลจาก port 1 bit ที่ 0 เข้ามายังบิต carry ของ register PSW ก็ทำได้โดยใช้คำสั่ง MOV C,P1.0

5.3 กลุ่มคำสั่งทางตรรกศาสตร์ ได้แก่ คำสั่ง ANL และ ORL ซึ่งจะกระทำทีละบิต

5.4 กลุ่มคำสั่งควบคุม โปรแกรมที่ขึ้นกับสถานะของกลุ่มนี้ใช้ในการควบคุมลำดับการทำงานของโปรแกรม โดยตรวจสอบเงื่อนไขจากสถานะของบิตที่ระบุโดย operand คำสั่งเหล่านี้ได้แก่

คำสั่ง JC จะกระโดดไปเมื่อบิต Carry Flag ถูก set

คำสั่ง JNC จะกระโดดไปเมื่อบิต Carry Flag ถูก clear

คำสั่ง JB จะกระโดดเมื่อ Direct Bit ถูก set

คำสั่ง JNB จะกระโดดเมื่อ Direct Bit ถูก clear

คำสั่ง JBC จะกระโดดเมื่อ Direct Bit ถูก set และจะทำการ clear bit นั้นหลังจากทำคำสั่ง JBC เรียบร้อยแล้ว

2.3 ชุดบอกรหัสทาง

หลอด LED อินฟราเรด

2.3.1 คุณสมบัติของ LED อินฟราเรด

แรงดันตกคร่อมที่รอยต่อ PN ของไดโอด ต้องมีค่ามากกว่าแรงดัน Threshold จึงจะสามารถทำให้ไดโอดนำกระแสได้ สำหรับซิลิกอนไดโอดแรงดันทำงานประมาณ 0.6V ส่วน LED ที่ให้แสงในย่านมองเห็นได้ ถ้าทำจากสาร GaP ซึ่งให้แสงสีเขียวจะมีค่าแรงดันทำงานประมาณ

2.1 – 2.8 V ถ้าเป็น LED ที่ทำจาก AlGaAs ให้แสงสีแดงมีแรงดันทำงาน 1.75 – 2.5 V ส่วน LED ที่ให้แสงสีใกล้ย่านอินฟราเรดทำจากสาร GaAs มีแรงดันทำงาน 1.5V โดยให้แสงที่มีความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร และถ้าทำจาก AlGaAs จะได้แสงความยาวคลื่น 880 นาโนเมตรที่แรงดัน 1.75 โวลต์

พลังงานที่ได้จากการเปล่งแสงของ LED หาได้จากกระแสไบอัสตรงของไดโอดต้องระมัดระวังไม่ให้กระแสส่วนนี้มีค่าสูงจนเกิดความร้อนอันจะทำอันตรายต่อชิ้นไดโอด

สิ่งสำคัญที่สุดของ LED อินฟราเรดกำลังสูงคือ ชั้นสาร AlGaAs ที่ให้ความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร และสาร GaAs ซิลิกอนไดโอดที่ให้แสงความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร

ซิลิกอน LED ที่ทำจาก GaAs ให้กำลังงานประมาณ 5 มิลลิวัตต์ที่กระแสไบอัสตรง 100 มิลลิแอมป์ LED ที่ทำจาก AlGaAs จะทำให้กำลังงานเป็น 2 เท่าเมื่อให้กระแสตรงค่าเดียวกัน ข้อที่ดีกว่าอีกประการหนึ่งคือการเปล่งแสงของ LED ชนิด AlGaAs คือมี rise time และ fall time ที่เร็วกว่าคือประมาณ 0.5 ไมโครวินาที ในขณะที่ GaAs ซิลิกอนไดโอดมีค่า 1.5 ไมโครต่อวินาที ข้อดีอีกประการหนึ่งคือการเปล่งแสงของ LED ที่ความยาวคลื่น 880 (AlGaAs) จะใกล้เคียงกับความยาวคลื่นที่ซิลิกอนโฟโตทรานซิสเตอร์มีความไวสูงสุดจึงเป็นการเหมาะที่จะใช้ LED ที่มีความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร

นอกจากนั้น LED ที่ให้ความยาวคลื่นแสง 880 นาโนเมตร ยังไม่ถูกดูดกลืนโดยละอองน้ำเหมือน LED ที่ให้ความยาวคลื่น 940 นาโนเมตร จึงสามารถนำไปใช้ในการตรวจจับไอน้ำในอากาศ LED ชนิด 940 นาโนเมตร ไม่เหมาะกับการสื่อสารด้วยแสงภายนอกเพราะจุดอ่อนเรื่องการดูดกลืนด้วยไอน้ำในอากาศนั่นเอง ส่วน LED ชนิดซิลิกอนที่ทำจาก GaAs มักจะใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงย่านอินฟราเรด

2.3.2 การแผ่รังสีอินฟราเรด

การใช้งาน LED อินฟราเรดกำลังสูง อาจพบความยุ่งยากที่ไม่อาจเห็นการแผ่รังสีย่านที่ตามองเห็นได้ของอุปกรณ์ชนิดนี้จึงเป็นการยากที่จะจัดเลนส์ไฟกัส และยากต่อการทำรูปแบบการกระจายรังสี ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการนำอาร์คเคลือบฟอสเฟอร์ชนิดพิเศษมาใช้ในการเปลี่ยนรังสีย่านใกล้อินฟราเรดเป็นรูปแบบของแสงที่มองเห็นได้ตอนแรกจะนำอาร์คนี้ไปถูกแสงสว่าง เช่น แสงในห้อง ก็จะทำให้พื้นผิวของอาร์คกลายเป็นสีเข้มเมื่ออาร์ครับแสงจาก LED อินฟราเรด ก็จะเปลี่ยนเป็นสีส้มหรือสีเขียวการเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่น 880 นาโนเมตร ของ LED อินฟราเรดกำลังสูงมองเห็นเป็นแสงสีแดงมัวๆ เพราะการรับรู้ด้วยตาของมนุษย์จำกัดไว้ที่ 880 นาโนเมตรพอดีแต่ดังที่แสดงไว้ในรูปที่ 2 LED อินฟราเรด AlGaAs มีการเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่นต่ำลง เช่น 750 นาโนเมตร ไดโอดที่ให้แสงส่วนที่ให้แสงความยาวคลื่นต่ำนี้ได้

LED อินฟราเรดสามารถนำไปประยุกต์งานอย่างกว้างขวางทั้งในโรงงานอุตสาหกรรม และระบบตรวจจับสมัยใหม่ นับเป็นเซนเซอร์ที่เก่งอีกตัวหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 LED กำลังสูง ที่ให้แสงย่านอินฟราเรด

รอยต่อ PN ของ LED เป็นแหล่งกำเนิดโฟตอนยอดเยี่ยมมาก สมัยแรกๆได้มีการค้นพบว่า รอยต่อของแกลเลียมอาร์เซไนด์ ซึ่งให้แสงย่านใกล้อินฟราเรดทำให้โฟตอน 88 ตัวต่ออิเล็กตรอน 100 ตัวเป็นประสิทธิภาพควอนตัมที่น่าทึ่งไม่น้อยทีเดียวแต่เนื่องจากโฟตอนที่ปล่อยมาจากรอยต่อ ส่วนหนึ่งถูกสกัดกั้นโดยรอบของชั้นสารเอท์พุคจริงๆ จึงน้อยกว่า 88 % อีกส่วนหนึ่งของการแผ่รังสีจากรอยต่อ ก็จะถูกดูดกลืนไปได้โดยตัวไดโอดเองและยังมีการแผ่รังสีบางส่วนที่กระทบผิว ไดโอดทำให้เกิดการสูญเสียเช่นกันปัญหาเรื่องมุมวิกฤต เป็นปัญหาสำคัญประการหนึ่ง ซึ่งอธิบายได้ดังนี้ อากาศมีดัชนีหักเหเท่ากับ 1 (หรือ 1.0003 มีเทียบกับสูญญากาศ) ดัชนีการหักเหของเพชรคือ 2.42 ในขณะที่ GaAs มีดัชนีหักเหของเพชรเท่ากับ 2.42 ในขณะที่ดัชนีหักเหของแสงเท่ากับ 3.5 ซึ่งเป็นหนึ่งในสสารเพียงไม่กี่ชนิดที่มีดัชนีหักเหมากกว่าเพชร ความแตกต่างของดัชนีหักเหนี้ ทำให้การแผ่รังสีของแสงที่เกิดขึ้นภายในชั้นสาร GaAs เมื่อกระทบผิวที่ติดต่อกับอากาศภายนอกมีมุมวิกฤต 16 องศาหากมุมตกกระทบที่รอยต่อของผิวมากกว่า 16 องศาแสงนั้นจะถูกสะท้อนกลับมายังชั้นงาน ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า ปรากฏการณ์สะท้อนกลับภายใน (Total internal reflection)

วิธีลดความไม่สมดุลระหว่างดัชนีหักเหของแสงมีหลายวิธี วิธีหนึ่งเป็นของเท็กซัส อินสตรูเมนต์คือ ทำผิวหน้าของไดโอดเป็นรูปโดม ทำให้แสงจากภายในมาถึงผิวต่อระหว่างอากาศ และ GaAs ด้วยมุมที่ไม่เกิน 16 วิธีนี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้สูงกว่าชั้นไดโอดแบบราบประมาณ 10 เท่า

การผลิตไดโอดแบบนี้มีราคาค่อนข้างแพง แล้วยังต้องการสาร GaAs มากกว่าแบบราบด้วย จึงมีการใช้ฟ็อกซ์เคลือบไดโอด เพื่อให้ดัชนีหักเหของแสงสมดุลดัชนีหักเหของสารเคลือบนี้มีค่าตั้งแต่ 1.4 ถึง 1.8 แม้ว่าจะไม่เท่ากับดัชนีหักเหของ GaAs ก็ตาม แต่ก็มีค่าใกล้เคียงมากกว่าอากาศ

ส่วน LED ที่ทำจากแกลเลียมฟอสไฟด์ ที่ให้แสงสีเขียวและมีมุมวิกฤต 7.7 องศาการเคลือบไดโอดด้วยฟ็อกซ์ที่มีดัชนีหักเห 1.66 ทำให้เพิ่มมุมวิกฤตเป็น 30.3 องศา และทำให้การเปล่งแสงจากไดโอดเพิ่มขึ้นอีก 2.5 เท่า

พิจารณาถึงแสงที่ปล่อยออกจากขอบของสารที่ใช้ในการสร้าง LED ในสมัยแรกๆนั้น แสงส่วนนี้จะสูญเสียไปถ้าชั้นสารที่ถูกล้างไว้ในตัวสะท้อน (reflection) ตัวเล็กๆตัวสะท้อนนี้จะสะท้อนแสงที่เปล่งจากขอบของชั้นสารออกมาสู่ภายนอก

2.3.4 เทคโนโลยีฮีตเทอโรจังก์ชัน

ในระยะต่อมาการพัฒนา LED ได้มีการค้นพบว่าสามารถสร้าง LED ที่ให้แสงย่านใกล้อินฟราเรดที่มีประสิทธิภาพสูงได้โดยใช้เทคโนโลยีที่เรียกว่า ฮีตเทอโรจังก์ชัน (heterojunction)

เทคโนโลยีแบบนี้ไดโอดจะมีสภาพเหมือนแซนวิชของสารกึ่งตัวนำที่มีคุณสมบัติทางแสงและทางไฟฟ้าต่างกันอยู่เล็กน้อย การทำชั้นสารหลายๆชั้นในรูปของฮีตเทอโรจังก์ชันเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการเปล่งแสงของไดโอดเนื่องจากการใช้เทคโนโลยีแบบนี้ทำให้ลดพื้นที่รอยต่อ PN ลง ชั้นนอกสุดของฮีตเทอโรจังก์ชันมีความโปร่งในที่ให้แสงผ่านได้มากกว่ารอยต่อ PN ของไดโอดที่ใช้เทคโนโลยีแบบโฮโมจังก์ชัน (homojunction) ทำให้พลังงานแสงที่ได้จึงมากกว่า 2 เท่า

ด้วยเทคโนโลยีแบบฮีตเทอโรจังก์ชันทำให้สารผลิตเลเซอร์ไดโอดทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ณ อุณหภูมิห้องและผลิตเลเซอร์ไดโอดที่ให้แสงในย่านที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ ต่อมาเทคโนโลยีแบบฮีตเทอโรจังก์ชันก็ได้นำมาใช้ในการผลิต LED ที่ให้แสงที่สามารถมองเห็นได้และนำอลูมิเนียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ มาใช้ผลิต LED แสงสีแดงที่มีความสว่างสูง

บทที่ 3

การสร้างโครงการ

3.1 การสร้างวงจรวัดระยะทางด้วยอัลตราโซนิก

3.1.1 การทำงานของวงจร

เริ่มจากภาคกำเนิดความถี่ 17.3 KHz ซึ่งจะประกอบด้วยชุดวงจรรวม(integrated circuit : IC)หมายเลข HD14049 ,ชุดตัวต้านทาน $33K\Omega$, $560K\Omega$ รวมทั้งตัวต้านทานปรับค่า 22KHz และตัวเก็บประจุขนาด 300pF โดยมีความต้านทานปรับค่าได้ทำหน้าที่ปรับความถี่ให้เท่ากับ 17.3 KHz เหตุผลที่ใช้ความถี่นี้เนื่องจากเพื่อให้ส่วนนับความถี่นับจำนวนความถี่แล้วแสดงผลออกมาเป็นระยะทางที่ต้องการ โดยคิดจากความเร็วของเสียงในอากาศที่อุณหภูมิปกติ 25 องศาเซลเซียส คือ 346 เมตรต่อวินาที และระยะทางที่คลื่นเดินทางไป-กลับจะเป็นสองเท่าของระยะทางจริง ดังนั้นความเร็วที่ใช้งานที่เท่ากับความถี่ใช้งานเท่ากับ $(34,000\text{cm/s})/2 = 17,300\text{cm/s}$ หรือ 17.3 KHz สัญญาณสัญญาณความถี่นี้จะถูกส่งไปสองทางคือ ทางแรกจะเป็นสัญญาณนาฬิกาให้กับวงจรมับ โดยผ่าน HD14049 ซึ่งเป็นเกตที่ถูกควบคุมการปิด-เปิดจากฟลิปฟลอป CD4027 BCN อีกทางจะถูกส่งไปยังวงจรรหารความถี่หรือ CD 4020 BE ซึ่งจะหารความถี่ด้วย 2^{14} เพื่อให้ได้ความถี่ 1 Hz มาควบคุมวงจร โมโนสเตเบิลต่อไป ซึ่งจะมีอยู่ 4 ชุดด้วยกัน สัญญาณจากวงจร โมโนสเตเบิลชุดที่ 1 จะเข้ามามีอินพุทของตัวนับความถี่ (counter) MM74C926N เพื่อค้ำค่าที่นับได้ของวงจรมับ ให้สามารถนำไปใช้ในการแสดงผลให้อ่านค่าระยะทางได้ สัญญาณจากโมโนสเตเบิลชุดที่ 2 จะเข้าขาที่ 2 ของวงจรมับ เพื่อให้ค่าที่นับไว้ก่อนหน้านั้นในวงจรมับถูกเคลียร์และเตรียมพร้อมในการวัดรอบต่อไป แต่ค่าที่แสดงผลครั้งสุดท้ายจะคงอยู่จนกว่าจะมีรายละเอียดการวัดระยะทางในรอบต่อไปเข้ามา ดังนั้นเราจึงสามารถอ่านค่าระยะทางที่วัดใหม่ได้ในทุกๆ 1 วินาที สัญญาณจากวงจร โมโนสเตเบิลชุดที่ 3 จะเป็นพัลส์ซึ่งไปควบคุมวงจรกำเนิดความถี่ 40 KHz ของภาคส่ง ให้ส่งคลื่นอัลตราโซนิกออกมา 12 พัลส์ให้ช่วงกว้าง 0.3 มิลลิวินาทีของ 1 ช่วงการส่ง(1 วินาที) โดยพัลส์ที่ส่งออกไปจะสะท้อนกลับวัดและรับ โดยตัวรับสัญญาณโดยตัวรับ ส่วนสัญญาณจากวงจร โมโนสเตเบิลชุดสุดท้ายจะเป็นพัลส์ซึ่งทำการรีเซต J-K ฟลิปฟลอปให้เปิดเกต เพื่อสัญญาณความถี่ 17.3 KHz จะได้ถูกส่งผ่านไปยังวงจรมับ

ส่วนภาคส่งและกำเนิดความถี่ 40 KHz จะประกอบไปด้วยเกต CD 4093 BE,ชุดตัวต้านทาน $27K\Omega$ และตัวต้านทาน $100K\Omega$ รวมถึงตัวเก็บประจุ 1 nF ทำหน้าที่เป็นวงจรมับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่แบบบริดจ์ โดยจะมีตัวส่งอุลตราโซนิกทำหน้าที่เป็นตัวแพร่กระจายคลื่น วงจรกำเนิดความถี่จะควบคุมโดยวงจรโมโนสเตเบิล และสามารถปรับค่าความถี่ให้ใกล้เคียงกับ 40 KHz มากที่สุด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของตัวส่งอุลตราโซนิกให้สูงสุด

ส่วนภาครับจะประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ 2 ตัว และอุปกรณ์ต่อร่วมทำการขยายสัญญาณที่ได้รับจากตัวอุลตราโซนิก ซึ่งมีตัวต้านทานปรับค่าได้ประมาณ 5 K Ω เป็นตัวปรับความไวในการรับ เมื่อมีสัญญาณสะท้อนกลับมายังตัวรับก็จะถูกตรวจพบโดยชุดตรวจจับสัญญาณและจะส่งสัญญาณที่ได้นี้ไปยังนาฬิกา (clock) ของฟลิปฟลอป โดยให้ส่งสัญญาณไปเปิดเกตอีกต่อหนึ่งเพื่อหยุดการนับ

ภาคนับและแสดงผลจะประกอบอยู่ใน ICMM74C926N ทั้งหมด ซึ่งจะแสดงผลของการนับจะใช้วิธีการที่เรียกว่า มัลติเพล็กซ์ (Multiplex) โดยจะต่อขาของตัวแสดงผล (7-segment) เข้าด้วยกันและผ่านจุดของตัวต้านทานขนาด 82 Ω 7 ตัว ซึ่งเป็นตัวจำกัดกระแสให้กับอุปกรณ์แสดงผล แล้วใช้การป้อนสัญญาณจากขา A,B,C และ D ของตัวนับมาควบคุมส่วนแสดงผลให้แสดงผลที่ละหลักแต่เนื่องจากความเร็วสูงมาก จึงทำให้เหมือนว่าตัวแสดงผลทำงานพร้อมกันและเนื่องจากการวัดระยะทางเป็นหน่วยเซนติเมตร จึงต้องใส่จุดที่ตัวแสดงผลหลักที่สองเพื่อให้สองหลักแรกอ่านค่าเป็นเมตร และหลักสุดท้ายอ่านค่าเป็นเซนติเมตร

การจ่ายไฟวงจรนี้ใช้ไฟ DC มีขนาดประมาณ 9 V แต่ยกเว้นในส่วนของตัวนับซึ่งต้องการไฟเลี้ยง 5 V ตามมาตรฐานของตัวมันเอง จึงต้องมีเรกูเลเตอร์ (regulator) เป็นตัวจำกัดแรงดันขนาด 9 V ให้เหลือ 5 V

3.1.2 การคำนวณระยะทางในการคำนวณระยะทาง

จะขอยกตัวอย่างระยะห่าง 1 เมตร ดังนั้นเวลาที่คลื่นอุลตราโซนิกถูกส่งออกไปและรับกลับมาจะเท่ากับ $(2 \times 1 \text{ เมตร}) / (346 \text{ เมตรต่อวินาที หรือ } 5.8 \text{ มิลลิวินาที})$ โดยที่ความเร็วของเสียงในอากาศมีค่าเท่ากับ 346 เมตรต่อวินาทีและระยะทางที่เกิดขึ้นเป็น 2 เท่าของระยะทางจริง

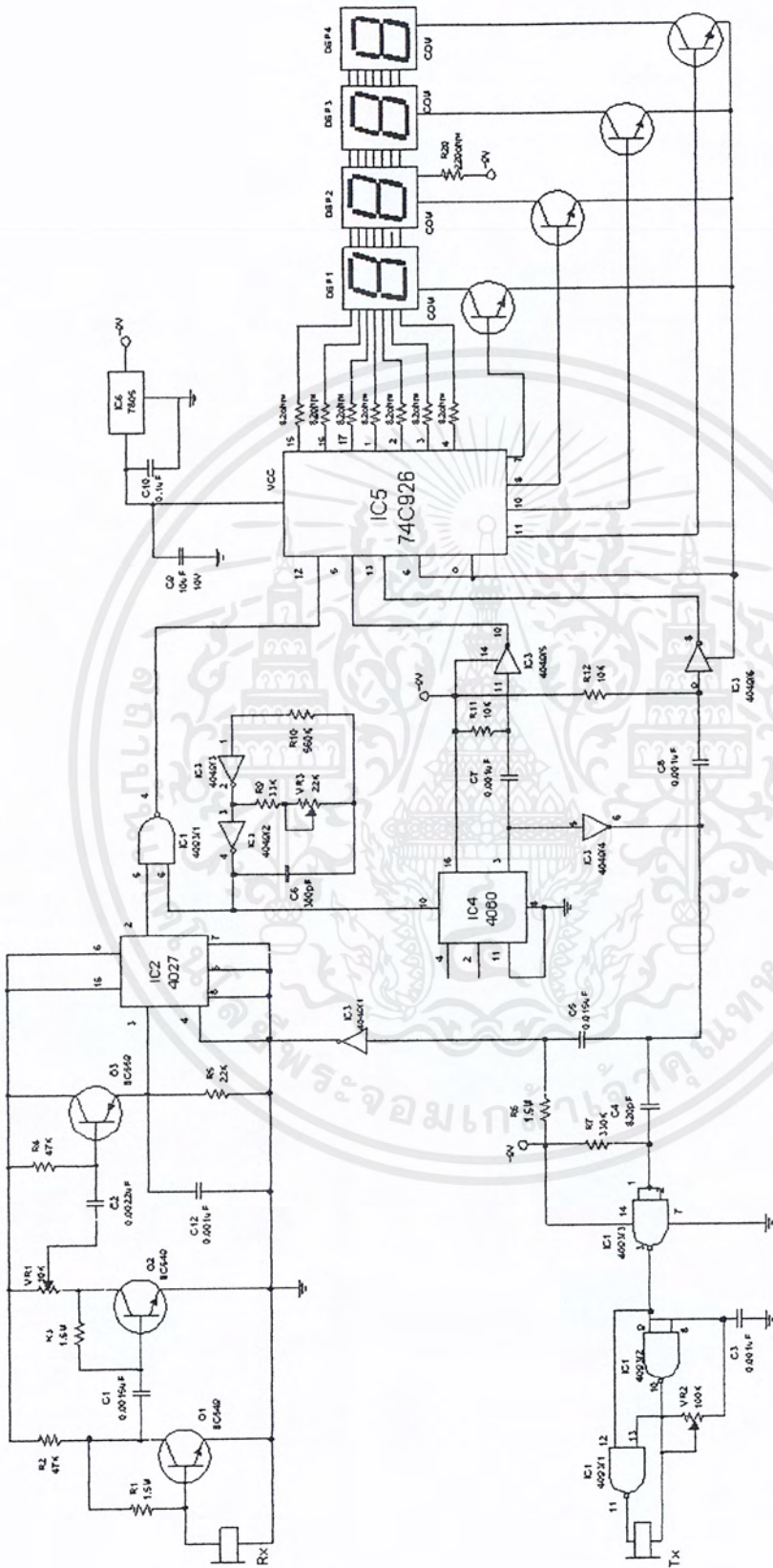
จากตัวอย่างจะได้ช่วงเวลาในการส่งและช่วงเวลาในการรับมีค่าเท่ากันคือ ช่วงละ 2.9 มิลลิวินาที เมื่อเกิดสัญญาณ 1 Hz ขึ้นที่ภาคหาความถี่ ส่วนของสัญญาณนี้จะไปทำการรีเซตตัวนับให้เริ่มนับตั้งแต่ 0000 และ ตัวส่งก็จะส่งที่มีความถี่ 40 KHz ออกไป 12 พัลส์ ของช่วงเวลา 0.3 มิลลิวินาที ใน 1 ช่วงการส่ง (วินาที) ขณะเดียวกันฟลิปฟลอปก็จะถูกรีเซตเพื่อเปิด เกตให้สัญญาณนาฬิกา ความถี่ 17.3 KHz ผ่านเข้าไปเป็นสัญญาณนาฬิกาของวงจรับ และจะทำการนับไปเรื่อยๆจนถึงเวลาที่คลื่นอุลตราโซนิกสะท้อนกลับมายังตัวรับ ซึ่งเป็นเวลา 5.8 มิลลิวินาที ตามที่ได้คำนวณ ข้อสังเกตคือว่าเวลาที่ใช้ในการส่งและรับคลื่นต้องไม่ต่ำกว่าเวลาที่ใช้ในการรีเซตฟลิปให้เปิดเกต โดยเวลาที่ใช้ในการรีเซตนั้นเท่ากับ 2 มิลลิวินาทีมิเช่นนั้นแล้วเครื่องวัดระยะทางจะไม่สามารถวัดได้เพราะช่วงเวลานั้นฟลิปฟลอปยังทำการรีเซต จากจุดนี้ทำให้ทราบถึงขอบเขตการวัดของเครื่องวัดทางนี้ นั่นคือระยะที่น้อยที่สุดที่เครื่องจะสามารถวัดได้ ต้องใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาที่เคลื่อนเดินทางไม่ต่ำกว่า 2 มิลลิวินาที หรือคิดเป็นระยะทางได้ประมาณ 35 เซนติเมตร ตามทฤษฎีจากตัวอย่างเวลาที่เคลื่อนเดินทางไปและกลับคือ 5.8 มิลลิวินาที หลังจากเคลื่อนถูกตรวจจับได้ที่ภาครับ เกิดจะปกปิดเพื่อหยุดการนับซึ่งวงจรนั้นก็ทำการนับพัลส์ที่เข้ามาในช่วงระยะเวลาที่เท่ากันคือ 5.8 มิลลิวินาที ก่อให้เกิดสัญญาณเท่ากับ (17,300 พัลส์ต่อวินาที)*(5.8มิลลิวินาที)หรือ 100 พัลส์ซึ่งก็เทียบเท่ากับ 100 เซนติเมตรนั่นเอง โดยตัวเลขที่แสดงบนตัวแสดงผลจะเป็น 01.00หรือเท่ากับ 1 เมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

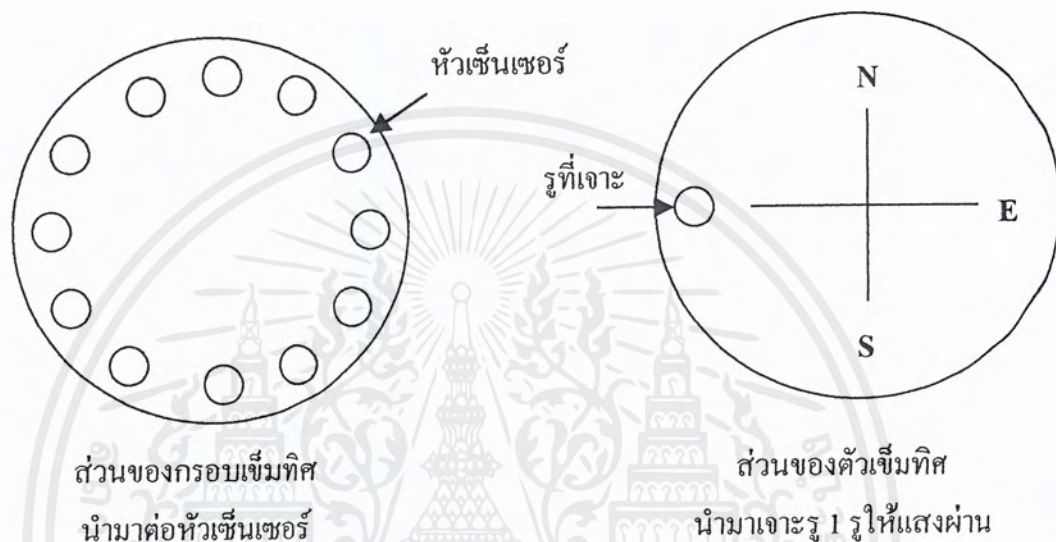


รูปที่ 3.1 วงจรตีระฆังทางด้วยชุดตัวไอซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 หน่วยบอกทิศทาง

ในหน่วยบอกทิศทางนี้จะใช้เข็มทิศมาเป็นตัวชี้ตำแหน่งของทิศว่าในขณะที่รถอยู่ในทิศทางใด สามารถทำได้โดยนำเข็มทิศมาติดเซ็นเซอร์เข้าไปก็จะได้สัญญาณออกมาแต่ละทิศ ซึ่งหัวเซ็นเซอร์ที่ใช้จะเป็นเซ็นเซอร์แสง INFRARED เพราะแสงธรรมดาค่าจะไม่มีผลต่อเซ็นเซอร์นี้ โดยจะติดหัวเซ็นเซอร์เข้าไป 12 ตัวก็จะสามารถบอกทิศทางได้ 12 ทิศ



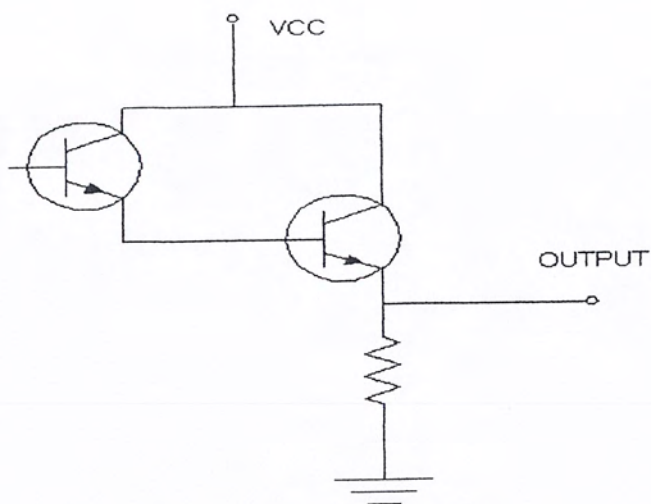
รูปที่ 3.2 แสดงการเจาะรูบนเข็มทิศ

3.2.1 การติดตั้งหัวเซ็นเซอร์อินฟราเรด INFREARED

หัวเซ็นเซอร์ INFRARED จะมีทั้งตัวรับและตัวส่ง โดยตัวส่งจะติดไว้ด้านบนของตัวเข็มทิศ ทางด้านตัวรับจะติดไว้ทางใต้ของเข็มทิศ เมื่อแสง INFRARED ผ่านรูที่เจาะไว้ที่เข็มทิศมายังตัวรับ ตัวรับตัวใดเซ็นเซอร์ได้ก็จะบอกทิศทาง

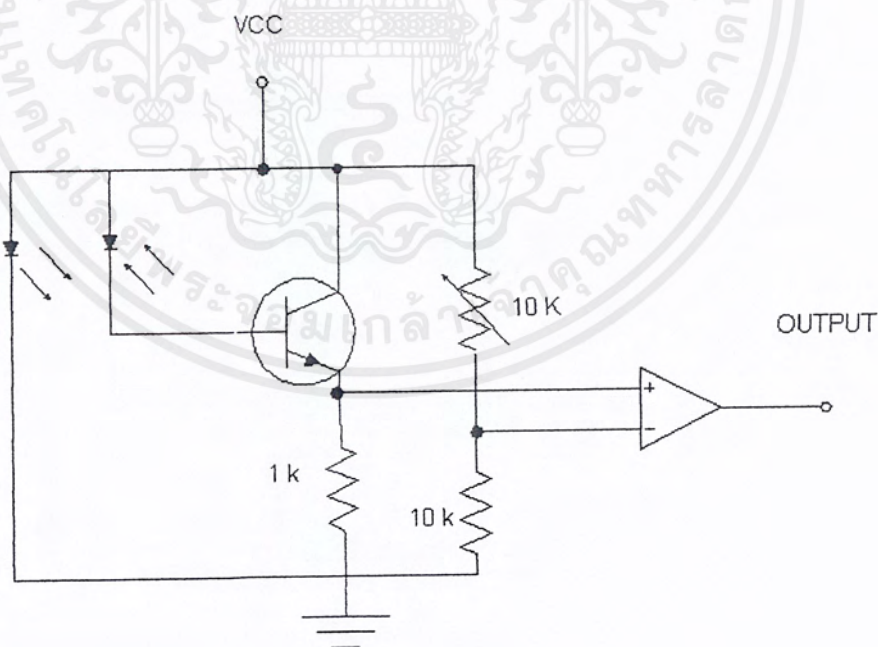
3.2.2 วงจรขยายสัญญาณเพื่อส่งไปยังหน่วยประมวลผล

เนื่องจากหัวเซ็นเซอร์ INFRARED นำกระแสมาไม่ได้ อาจทำให้เสียหายได้ จึงต้องมีวงจรขยายกระแสเพิ่มเข้ามา และโครงสร้างของตัวรับ INFRARED จะเป็นเหมือนกับทรานซิสเตอร์ชนิด NPN การไปอัสใช้แสง INFRARED การขยายกระแสโดยใช้ทรานซิสเตอร์ชนิด NPN นำมาต่อแบบคาร์ลิงตัน ก็จะได้กระแสเพิ่มขึ้นมา



รูปที่ 3.3 วงจรขยายกระแสแบบคาร์ลิงตัน

การนำเข้าไปใช้ ข้อมูลที่จะต้องใช้ นั้นจะต้องเป็นสัญญาณดิจิทัล ดังนั้นจะต้องนำสัญญาณเอาต์พุตที่ได้มาผ่านวงจรมัลติเพล็กซ์เพื่อให้ได้เอาต์พุตออกมาเป็นดิจิทัล ในที่นี่จะใช้วงจร COMPARATOR มาเปรียบเทียบระดับสัญญาณ โดยจะใช้ไอซีเบอร์ LM 339 ซึ่งจะเป็น COMPARATOR OP-AMP จะได้เอาต์พุตออกมาเป็น ลอจิก “ 0 ” และ “ 1 ” ส่งต่อไปยังหน่วยประมวลผล

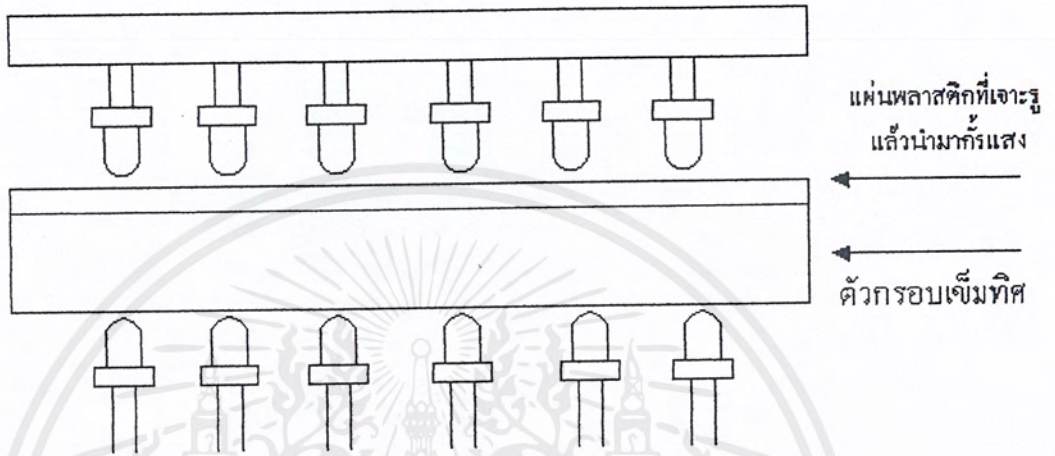


รูปที่ 3.4 วงจรรับ - ส่ง เซ็นเซอร์อินฟราเรด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

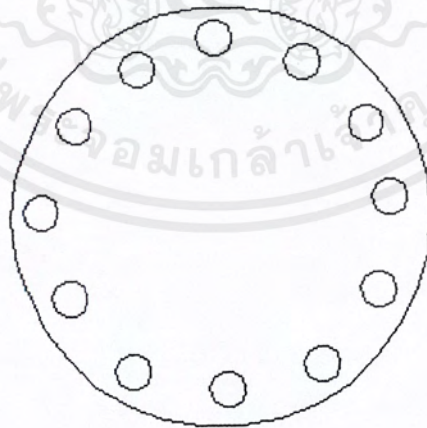
SIDE VIEW

ตัวส่งอินฟาเรด



ตัวรับอินฟาเรด

TOP VIEW



แผ่นพลาสติกเจาะรู

รูปที่ 3.5 แสดงการติดตั้งตัวรับ - ส่งอินฟาเรดกับเข็มทิศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบยูนิโพลาร์

สเต็ปเปอร์มอเตอร์ได้รับได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง จนในปัจจุบันสเต็ปเปอร์มอเตอร์เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลายมากที่สุดและหาซื้อได้ง่ายคือ สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบยูนิโพลาร์(uni-polar stepper motor) มีลักษณะการพันขดลวดของมอเตอร์ดังรูปที่ 3.6

สเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้มีการพันขดลวด 2 ขดบนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ แต่ละขดแบ่งเป็น 2 เฟส รวมมอเตอร์ทั้งสองจะมี 4 เฟสคือเฟส 1,2,3 และ 4 มีการต่อสายออกมาจากขดลวดแต่ละขดเพื่อจ่ายไฟเลี้ยง ทำให้สเต็ปเปอร์มอเตอร์นี้มีทั้งแบบ 5 สายและ 6 สายถ้าเป็นแบบ 5 สาย จะเป็นการนำสายไฟเลี้ยงของขดลวดทั้งสองมาต่อรวมกันเป็นสายเดียว



รูปที่ 3.6 แสดง โครงสร้างอย่างง่ายของสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบยูนิโพลาร์

3.3.1 การกระตุ้นและควบคุมการหมุนของสเต็ปเปอร์มอเตอร์

การกระตุ้นและการควบคุมการหมุนของมอเตอร์ทำให้เคลื่อนที่ไปแต่ละสเต็ปทำได้ โดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังขดลวดแต่ละขดบนสเตเตอร์ ซึ่งต้องป้อนเป็นแบบซีเควนเรียบในรูปแบบที่ถูกต้องด้วย สามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบคือ แบบ 1 เฟส,แบบ 2 เฟสและแบบครึ่งสเต็ป(half step)

แบบหนึ่งเฟสเป็นแบบ ฟูลสเต็ป(full step)เป็นการกระตุ้นที่มีรูปแบบง่ายที่สุด โดยทำการกระตุ้นขดลวดทีละขดในเวลาหนึ่งไล่เรียงถัดกันไป เช่น เริ่มต้นที่ขด 1,2,3,4 แล้ววนกลับมาที่ขด 1 วนไปเรื่อยๆ หรือเริ่มต้นที่ขด 1 แล้วย้อนไปยังขดที่ 4,3,2 แล้วกลับมายังขดที่ 1 อีกครั้ง ซึ่งทำให้ทิศทางหมุนสวนกันในการกระตุ้นรูปแบบนี้จึงมีขดลวดเพียงขดเดียวในเวลาหนึ่งที่ถูกระตุ้นเท่านั้น วงจรกระตุ้นแบบเวฟจึงมีราคาถูกและง่าย ขั้นตอนการทำงานต่างๆ แสดงในตารางที่ 3.1

แบบ 2 เฟสเป็นการกระตุ้นคล้ายกับแบบ 1 เฟส แต่การกระตุ้นแบบนี้จะทำการกระตุ้นโดยจ่ายกำลังไฟฟ้าไปที่ขดลวด 2 ขดที่อยู่ใกล้กันในเวลาเดียวกัน และเรียงถัดกันไปเช่นเดียวกับเวฟดังตัวอย่างขดลวดชุดแรกที่ถูกกระตุ้นจะเป็นขดลวดชุดที่ 1 และ 2 ตามด้วยขดที่ 2 และ 3 ต่อไปเป็นขดที่ 3 และ 4 ถัดไปเป็นขดที่ 4 และ 1 แล้วกลับมาที่ขด 1 และ 2 วนไปตามลำดับเช่นนี้หรือเริ่มต้นที่ขด 1 และ 4 ตามด้วยขดที่ 4 และ 3 ถัดไปเป็นขดที่ 3 และ 2 ต่อไปเป็นขดที่ 2 และ 1 แล้ววนกลับมาขดที่ 1 และ 4 ทิศทางการหมุนจะสวนทางกันการกระตุ้นสเต็ปเปอร์มอเตอร์แบบนี้สามารถเพิ่มแรงบิดได้มากกว่าแบบเวฟ โรเตอร์จะเคลื่อนที่ด้วยแรงคิงอย่างเต็มแรงจาก 2 ขดลวดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกัน และต่อไปด้วยแรงคิงจากอีก 2 ขดลวดถัดไป สำหรับข้อเสียการกระตุ้นนี้ต้องใช้ไฟมากขึ้น ขั้นตอนการทำงานต่างๆแสดงในตารางที่ 3.2

แบบครึ่งสเต็ปเป็นรูปแบบที่เป็นการผสมผสานระหว่างการกระตุ้นแบบเวฟและแบบ 2 เฟส เพื่อเพิ่มจำนวนสเต็ปต่อรอบอีกเท่าตัวหนึ่ง ในระบบนี้จะทำการกระตุ้นขดลวดเรียงกันไปเป็นลำดับดังนี้ เริ่มจากขดลวดที่ 1,1 และ 2,2,2 และ 3,3,3 และ 4,4,4 และ 1 แล้ววนกลับมาขดลวดที่ 1 แรงบิดที่ได้จากการกระตุ้นแบบนี้จะเพิ่มมากขึ้นอีกเพราะช่วงสเต็ปมีระยะสั้นลง แต่ละสเต็ปเกิดแรงคิงจากขดลวดที่ 2 ขดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกันความถูกต้องของตำแหน่งมีเพิ่มมากขึ้น แต่ต้องพึงระวังไว้อีกประการหนึ่งว่าเมื่อกระตุ้นให้ทำงานในรูปแบบนี้จะต้องการหมุนถึง 2 สเต็ปจึงจะได้เท่ากับระยะ 1 สเต็ปเต็มสองแบบแรก สำหรับแหล่งจ่ายไฟฟ้าต้องใช้เท่ากับแบบ ใน 2 เฟส เป็นอย่างน้อย จึงจะเพียงพอ ขั้นตอนการทำงานต่างๆแสดงไว้ในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.1 แสดงการทำงานของขดลวดในแต่ละเฟสมอเตอร์ เมื่อได้รับการกระตุ้นแบบหนึ่งเฟส

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	-	ทำงาน	-	-
3	-	-	ทำงาน	-
4	-	-	-	ทำงาน

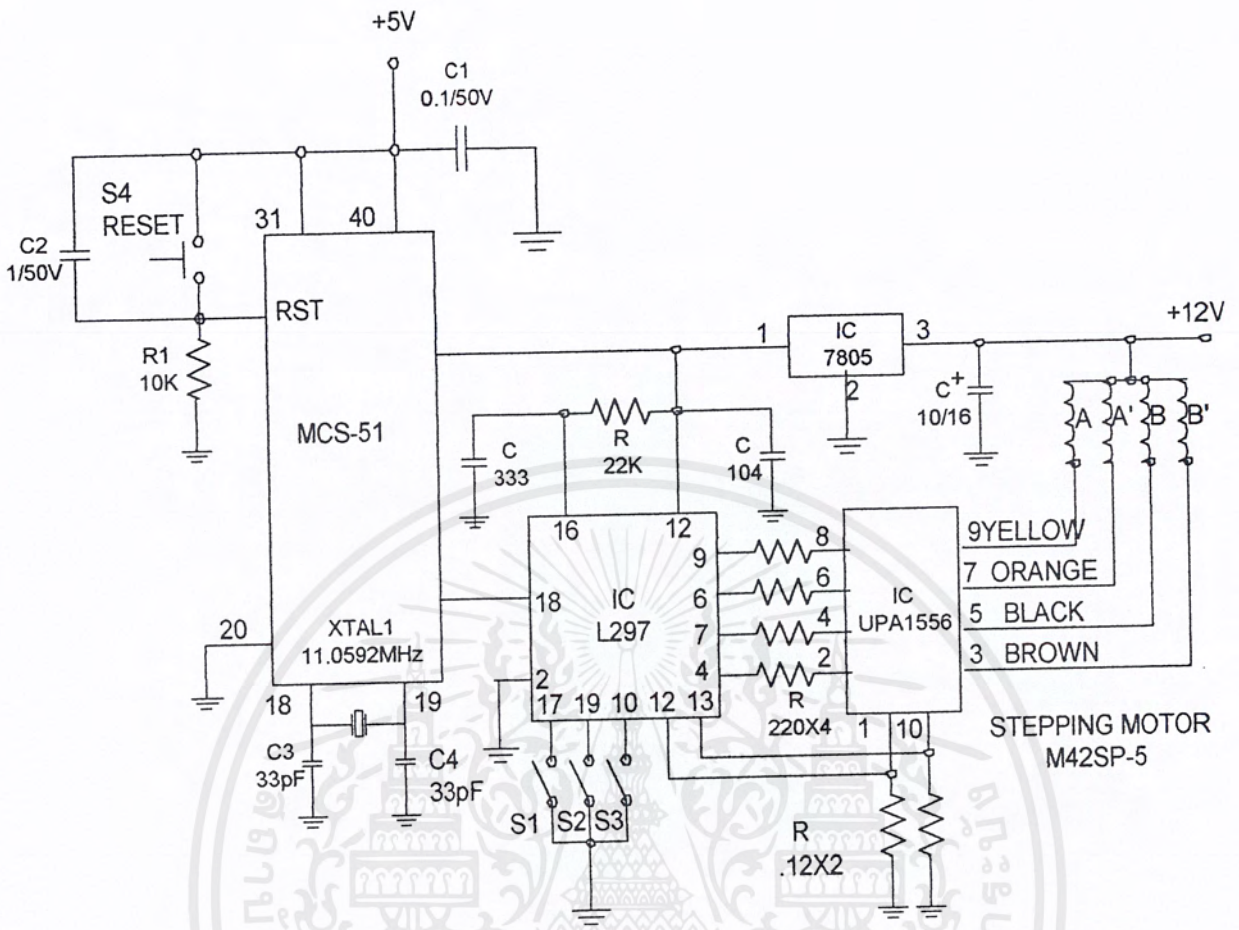
ตารางที่ 3.2 แสดงการทำงานของขดลวดในแต่ละเฟสมอเตอร์ เมื่อได้รับการกระตุ้นแบบ 2 เฟส

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	ทำงาน	-	-
2	-	ทำงาน	ทำงาน	-
3	-	-	ทำงาน	ทำงาน
4	ทำงาน	-	-	ทำงาน

ตารางที่ 3.3 แสดงการทำงานของขดลวดในแต่ละเฟสมอเตอร์ เมื่อได้รับการกระตุ้นแบบครึ่งสเต็ป

สเต็ปที่	เฟสที่ 1	เฟสที่ 2	เฟสที่ 3	เฟสที่ 4
1	ทำงาน	-	-	-
2	ทำงาน	ทำงาน	-	-
3	-	ทำงาน	-	-
4	-	ทำงาน	ทำงาน	-
5	-	-	ทำงาน	-
6	-	-	ทำงาน	ทำงาน
7	-	-	-	ทำงาน
8	ทำงาน	-	-	ทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 3.7 การขับสเต็ปเปอร์มอเตอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 วงจรวัดระยะทาง

4.1.1 ขั้นตอนการทดลองวงจรวัดระยะทาง

4.1.1.1 ต่อวงจรตามรูปที่ 3.1 ลง Proto Board

4.1.1.2 ทดลองจ่ายไฟให้กับวงจร

4.1.1.3 ทดลองเคลื่อนย้ายชุดวัดระยะทางแล้วสังเกตดูค่าที่เปลี่ยนไปว่าตรงกับความจริงหรือไม่

4.1.2 ผลการทดลองวงจรวัดระยะทาง

จากการทดลองจะเห็นว่ามีการวัดระยะทางยังมีการวัดที่ผิดพลาดอยู่มากในระยะที่ไกลเกินไป เนื่องจากปรับความถี่ของอุลตราโซนิกยังสามารถปรับได้ค่าที่เหมาะสม และในการต่ออุปกรณ์ลงProto Board จะทำให้ค่าต่างๆผิดเพี้ยนไป

4.1.3 การแก้ไขปัญหาของวงจรวัดระยะทาง

จากผลที่ได้จะเห็นว่าค่าความถี่ที่ส่งให้ตัวอุลตราโซนิกมีค่าไม่เหมาะสมต้องทำการพยายามปรับค่าความถี่ที่ตัว VR1, VR2 เพื่อให้ได้ความถี่ที่ต้องการ และในส่วนของ การผิดพลาดเนื่องจากการลงอุปกรณ์ที่แผ่น Proto Board สามารถทำการแก้ไขโดยการลงอุปกรณ์ในแผ่นพรีนซ์

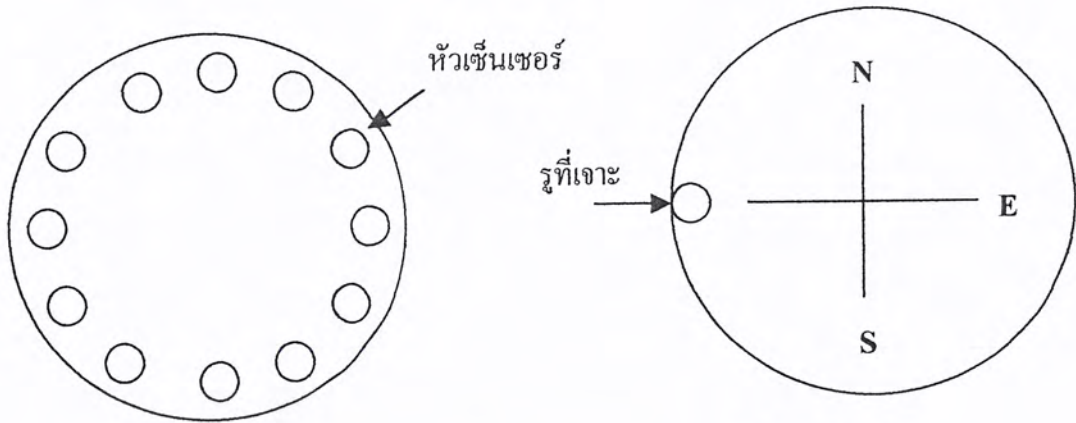
4.2 ชุดวงจรบอกทิศทาง

4.2.1 ขั้นตอนการทดลองชุดวงจรบอกทิศทาง

4.2.1.1 นำเข็มทิศมาดัดแปลงเพื่อใช้ร่วมกับวงจรเซนเซอร์อินฟราเรดโดยการเจาะรูตามรูป 4.1

4.2.1.2 ต่อวงจรเซนเซอร์อินฟราเรดทั้ง 12 ตัวในภาคส่งและอีก 12 ตัวทางภาครับ

4.2.1.3 แล้วนำเข็มทิศและวงจรอินฟราเรดมาประกอบกัน



ส่วนของแผ่นพลาสติก

นำมาต่อหัวเซ็นเซอร์

ส่วนของตัวเข็มทิศ

นำมาเจาะรู 1 รู ให้แสงผ่าน

รูปที่ 4.1 แสดงการเจาะรูเข็มทิศและแผ่นพลาสติก

4.2.2 ผลการทดลองชุดบอกตำแหน่ง

ตัวรับแสงสามารถรับแสงได้แต่ยังมีความผิดพลาดเนื่องจากตัวรับแสงตัวอื่นสามารถรับแสงได้เหมือนกันทำให้การบอกตำแหน่งผิดพลาดและในขณะที่เคลื่อนที่ทำให้เข็มทิศแกว่งไปมาไม่สามารถอ่านค่าได้แม่นยำในทันที

4.2.3 การแก้ไขชุดบอกตำแหน่ง

เปลี่ยนแผ่นพลาสติกให้รูเล็กลงและพยายามหาระยะห่างระหว่างหลอดอินฟราเรดกับตัวเข็มและแผ่นพลาสติกต้องกันแสงได้ด้วย

4.3 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

4.3.1 ขั้นตอนการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์

4.3.1.1 ทดลองเขียนโปรแกรมการทำงานลงบอร์ดแจ๊ส 31 (JAZZ 31)

4.3.1.2 แล้วทำการอัปเดต โปรแกรมลงตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 89C51

4.3.1.3 ต่อวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์กับมอเตอร์สเต็ปเปอร์แล้วรันโปรแกรม

4.3.1.4 ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลกับชุดเข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์

4.3.1.5 ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลกับชุดวิเคราะห์ทางอุตสาหกรรม

4.3.2 ผลการทดลองไมโครคอนโทรลเลอร์

4.3.2.1 สามารถหมุนมอเตอร์สเต็ปเปอร์ได้ตาม โปรแกรมที่ออกแบบไว้

4.3.2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถรับค่าจากชุดเข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์ได้ แต่อาจจะ

มีการรับค่าผิดพลาดบ้างเนื่องจากในขณะที่รถวิ่งจะทำให้เข็มทิศสั่นมากทำให้

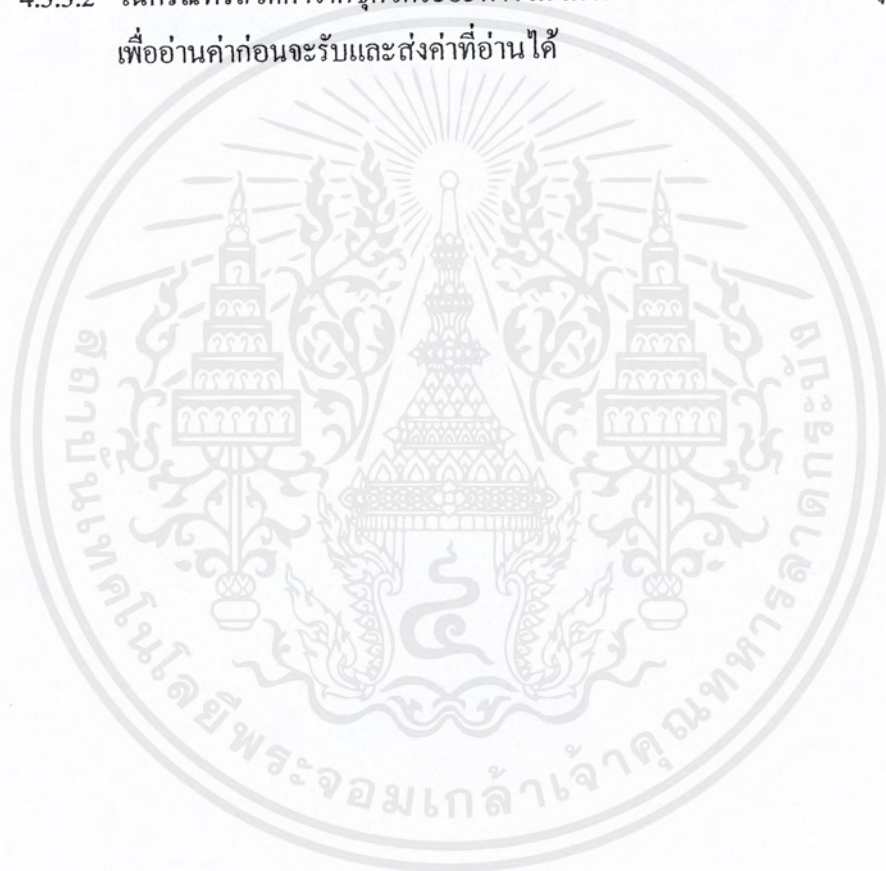
รับค่าผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถรับค่าจากชุดวัฏระยะทางได้ แต่มีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากค่าที่อ่านได้จากชุดวัฏระยะทางจะเปลี่ยนไปตลอดเวลาทำให้ค่าที่อ่านได้ยังไม่แม่นยำเท่าที่ควร

4.3.3 การแก้ไขชุดไมโครคอนโทรลเลอร์

- 4.3.3.1 ในกรณีที่เข็มทิศสั่นเกินไปในขณะรถวิ่งจะสามารถแก้ไขได้โดยพยายามโปรแกรมให้รถมีการขับเคลื่อนให้เสถียรภาพมากที่สุดและเมื่อจบคำสั่งแต่ละครั้งรถจะหยุดเพื่อตรวจสอบทิศให้แน่นอนอีกครั้ง
- 4.3.3.2 ในกรณีที่รถวัดค่าจากชุดวัฏระยะทางไม่ได้จะสามารถแก้ไขโดยจะหยุดรถเพื่ออ่านค่าก่อนจะรับและส่งค่าที่อ่านได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์

5.1 สรุป

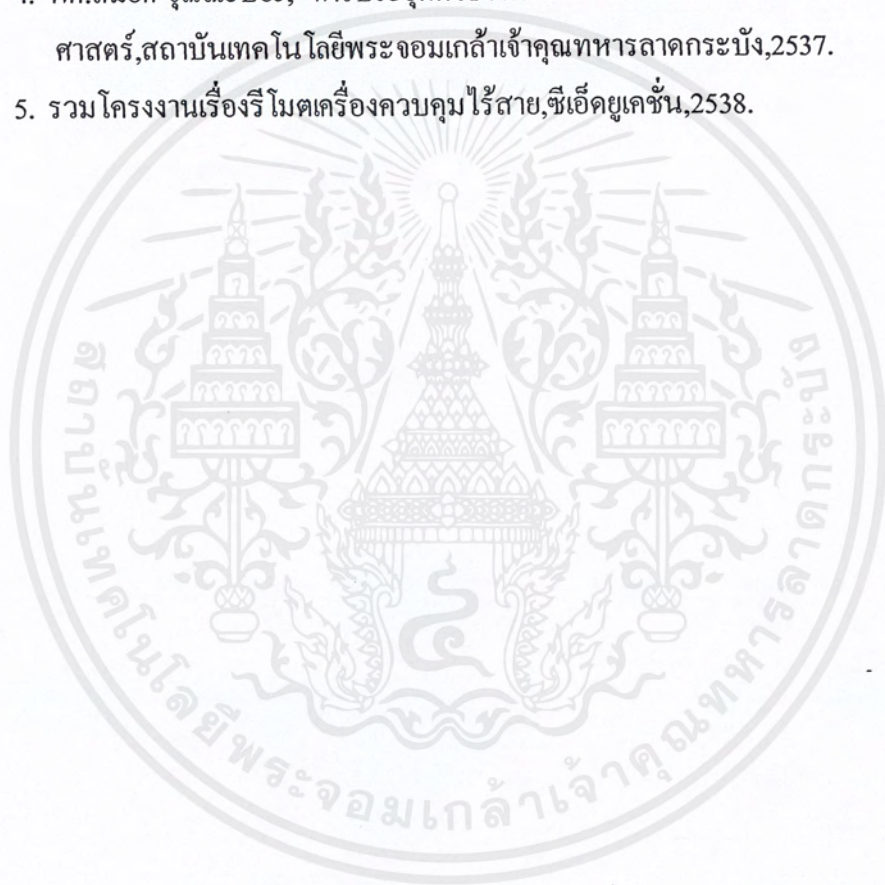
ในการทำโครงการชุดนี้ ได้ทำหุ่นยนต์เคลื่อนที่ที่สามารถค้นหาที่สามารถค้นหาทิศทางและวัดระยะทางได้และสามารถควบคุมการเคลื่อนที่ได้โดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุมผ่านทางชุดเครื่องส่งสัญญาณและหุ่นยนต์ทุกตัวจะแสดงผลทางจอคอมพิวเตอร์และจะสามารถควบคุมหุ่นยนต์ทุกตัวที่อยู่ในเครือข่ายได้ โดยหุ่นยนต์ทุกตัวจะปราศจากสายที่จะเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ ซึ่งในโครงการนี้ใช้ชุดชิพไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS- 51 เข้ามาใช้ควบคุมในการควบคุมในส่วนที่เก็บข้อมูลและควบคุมอุปกรณ์บนตัวของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ ดังนั้นเมื่อหุ่นยนต์ได้รับสัญญาณควบคุมจากคอมพิวเตอร์ตัวชิพ MCS- 51 จะเป็นตัวประมวลผลและสั่งงานให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ปฏิบัติงานได้ตามต้องการ

5.2 วิจารณ์

โครงการชุดนี้มีการใช้อุปกรณ์หลายแบบมารวมกันทำให้เกิดความยุ่งยากในการประกอบกันรวมไปถึงอุปกรณ์แยกแต่ละชิ้นก็มีปัญหาในตัวมันเองเช่น ชุดอุปกรณ์บอกตำแหน่งโดยใช้เข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์ซึ่งอุปกรณ์ชุดนี้มีความผิดพลาดอยู่บ้างทำให้การทำงานโดยรวมของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ยังไม่สมบูรณ์แบบและในส่วนของชุดวัดระยะทางก็มีปัญหาในเรื่องของระยะที่จะทำการวัดถ้าระยะใกล้เกินไปก็จะทำให้ค่าที่อ่านมีความผิดพลาดเช่นกัน

บรรณานุกรม

1. ทนง โชติสรยุทธ์, "เทคนิคการใช้งานชุดครัวโซนิคทรานสดิวเซอร์ สำหรับนักทดลอง", วารสารเคมีคอนคัคเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 44
2. จุริพงษ์ นามแดง, "ตลับเมตรไร้สาย", วารสารเคมีคอนคัคเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์, ฉบับที่ 171 พฤษภาคม 2540.
3. ประเมษฐ์ ประณยานันท์, ปิยพงษ์ เผ่าวิช, "คู่มือและการประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51", บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, 2521.
4. ผศ.สมยศ จุณณะปิยะ, "การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์" คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2537.
5. รวมโครงการเรื่องรีโมตเครื่องควบคุมไร้สาย, ซีเอ็ดดูเคชั่น, 2538.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

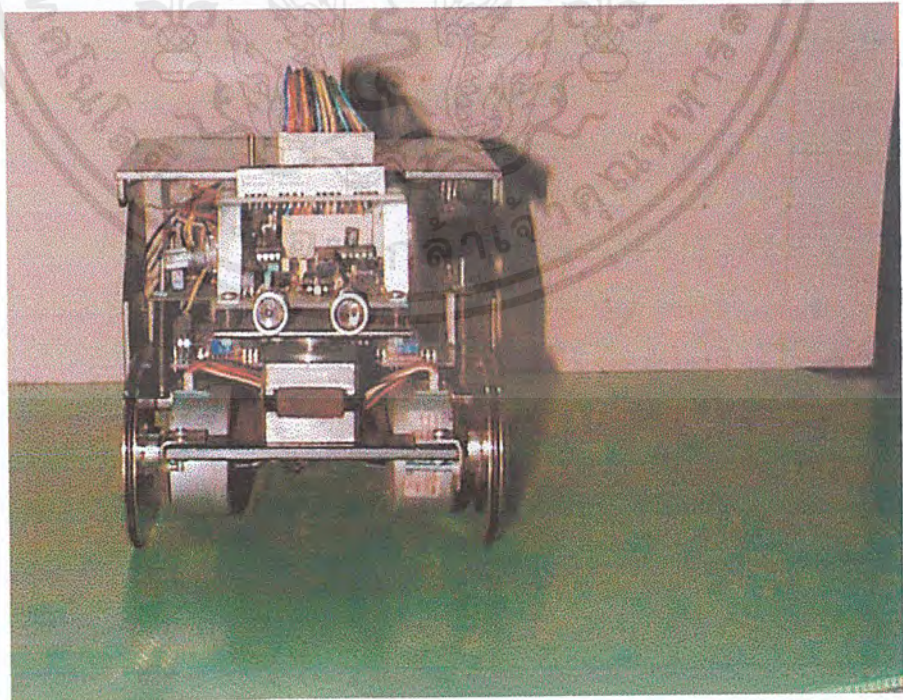
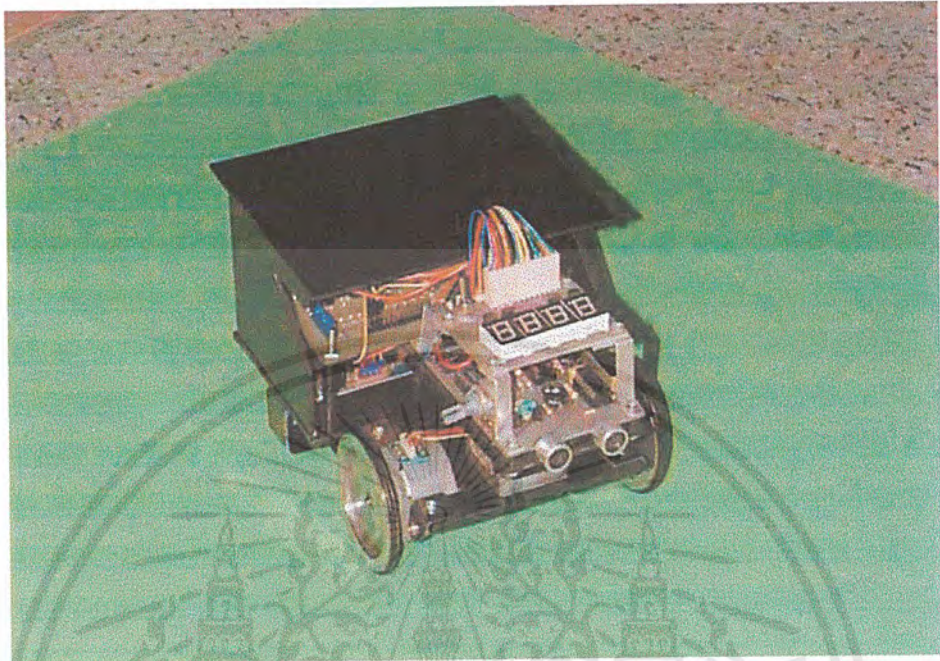
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

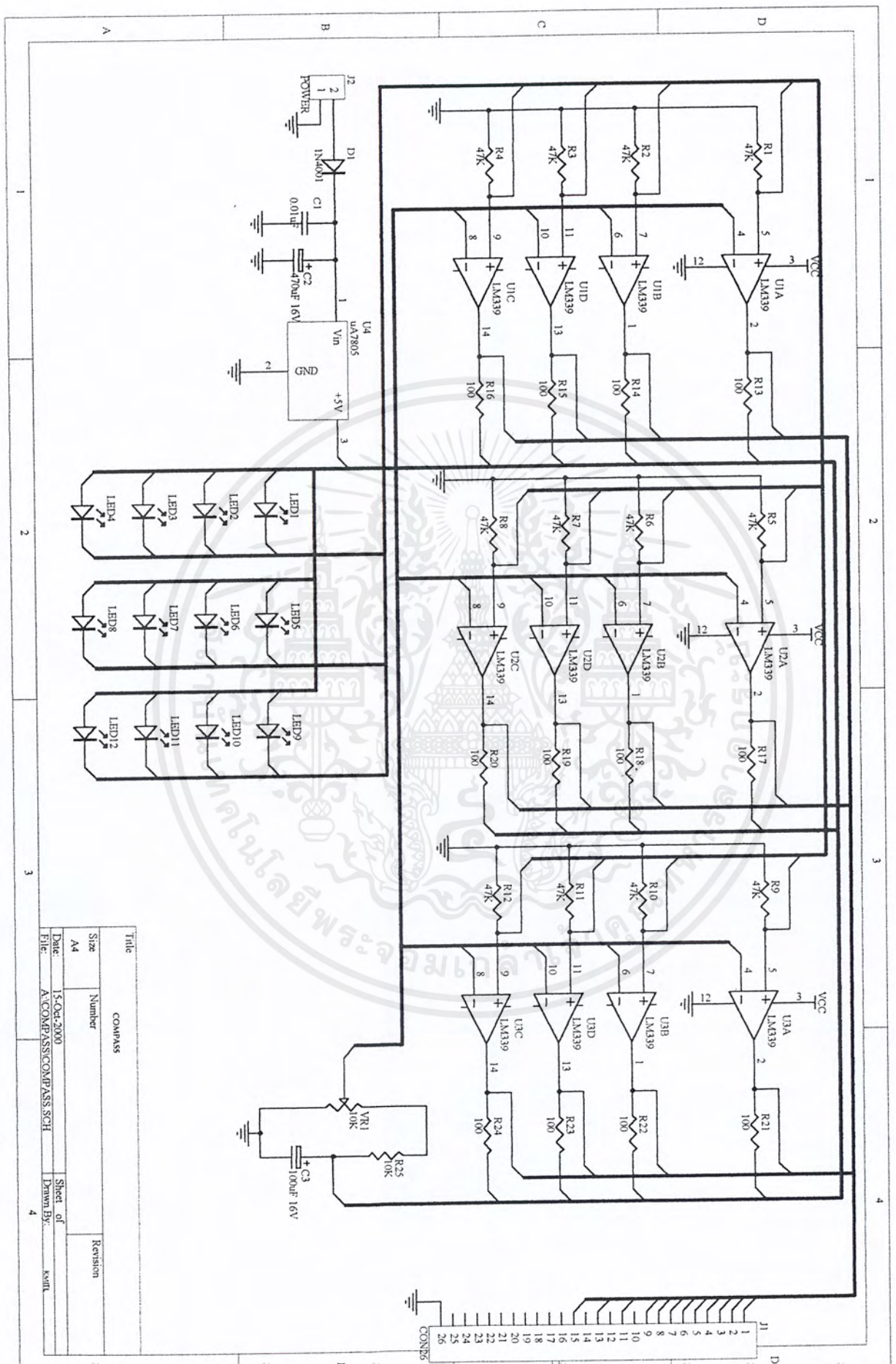


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปตัวรถหุ่นยนต์



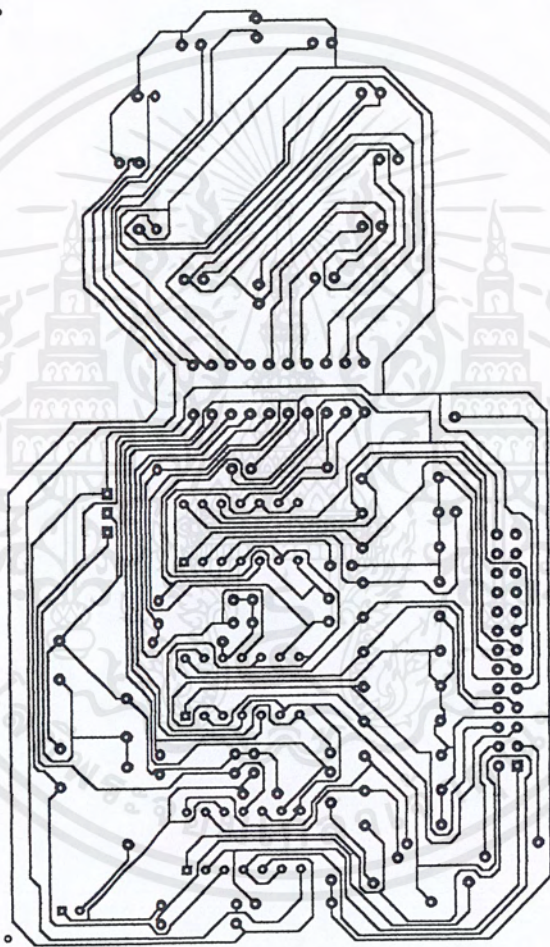
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Title		COMPASS	
Size	A4	Number	
Date:	15-Oct-2000	Sheet of	4
File:	A:\COMPASS\COMPASS.SCH	Drawn By:	ksnll
		Revision	

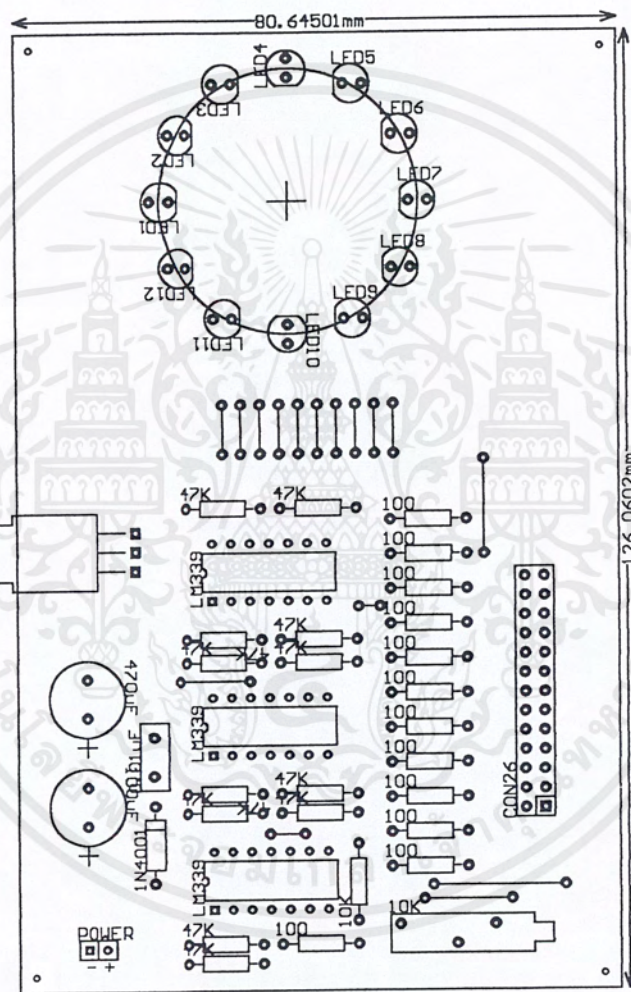
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายปริ้นท์วงจรพิมพ์อิเล็กทรอนิกส์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การลงอุปกรณ์วงจรเข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์

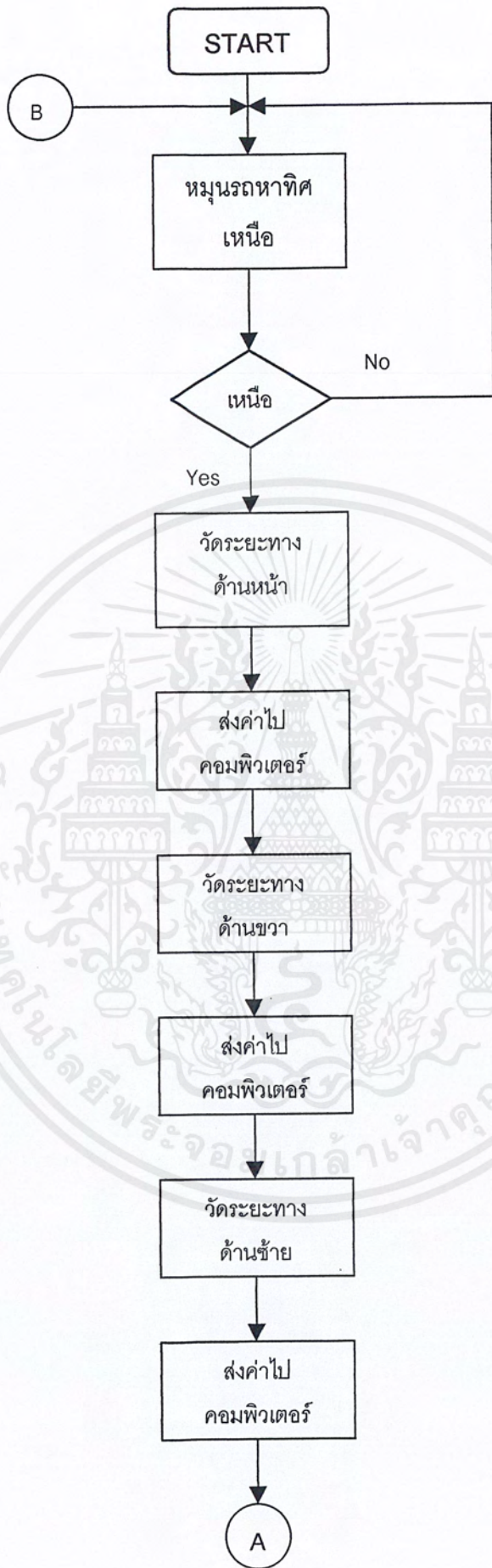


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

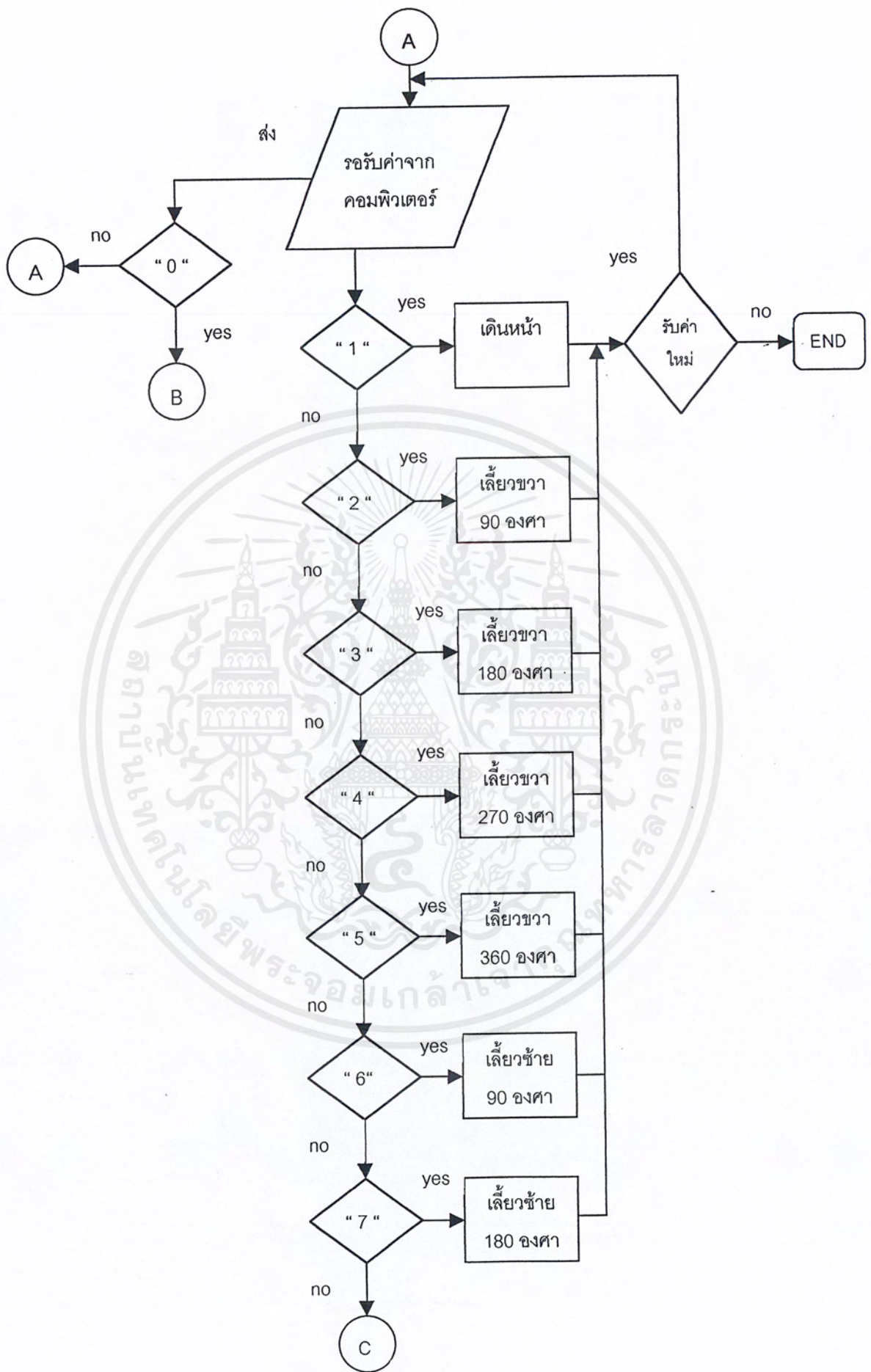
ภาคผนวก ข.



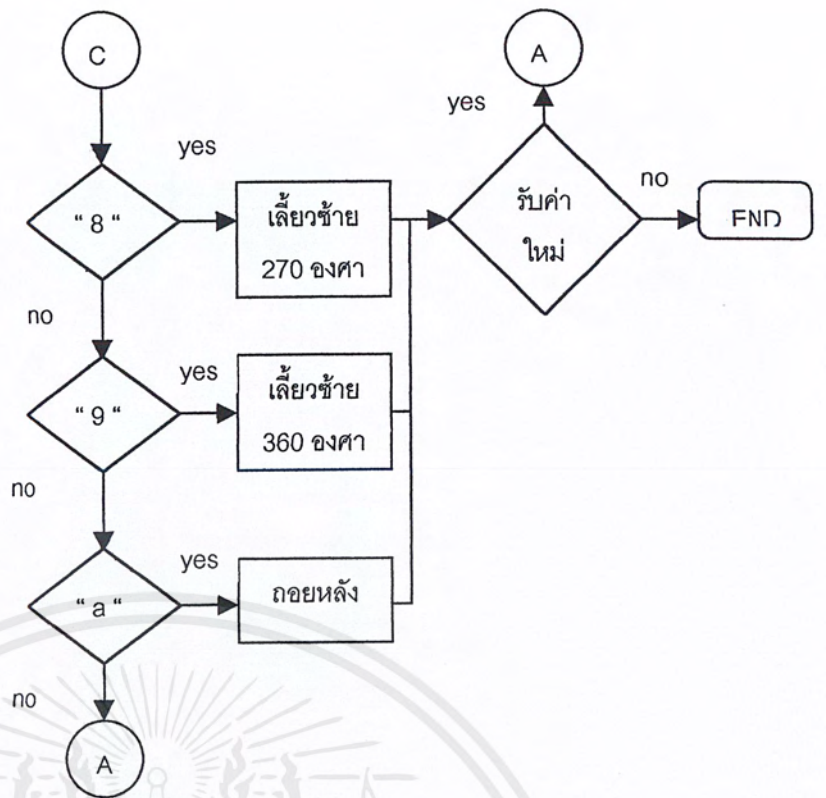
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

;/ set bit control while /;
an bit p3.4      ;re r_r
ao bit p3.5      ;re r_l
ap bit p3.6      ;r_r
aq bit p3.7      ;r_l
out bit p3.3     ;
;/ set address keep data/;
data equ 02fh
Bo_1 equ 02ah
Bo_2 equ 02bh
Bo_3 equ 02ch
Bo_4 equ 02dh
et equ 02eh
flag bit et.0

```

```

org 0000h
ljmp line

```

```

org 0003h
ljmp ter

```

```

line: mov p1,#00000000b
      mov tmod,#021h
      mov th1,#0fdh
      mov tl1,#0fdh
      mov scon,#040h

```

```

mn:  clr out
      clr flag
      clr an
      clr ao
      clr ap
      clr aq

```

```

main: mov ie,#81h
turn1: setb ap
      setb aq
      acall delay8
      clr ap
      clr aq
      acall delay8
      jb out,start
      sjmp turn1
delay8: mov 7,#20 ; delay 1ms
d8: mov 6,#0e6h
d9:  nop
      nop

```

```

      djnz r6,d9

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    djnz r7,d8
    ret

ter:   push acc
        clr ea
        acall delay10
        acall main_0
        acall send_loop
        acall r_r
        acall delay10
        acall main_0
        acall send_loop
        acall r_l
        acall r_l
        acall delay10
        acall main_0
        acall send_loop
        acall r_r
        setb out
        pop acc
        reti
start: mov a,#00h
        clr out
        setb ren
        clr ri
        setb tr1
        jnb ri,$
        mov a,sbuf
        acall compare
        jb flag,mn
        clr ri
        sjmp start
str:   setb ap
        clr aq
        sjmp str

main_0: mov r3,#03h
main0:  mov r4,#00h
        mov p0,#11111111b
        mov p2,#00001111b
        mov a,p0
        mov data,a
        mov a,p2
        mov r4,a
        cjne r4,#00001111b,led1
        sjmp main0
led1:  cjne r4,#00001110b,main0
        mov bo_1,data
main1:  mov p0,#11111111b
        mov p2,#00001111b
        mov a,p0

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

mov data,a
mov a,p2
mov r4,a
cjne r4,#00001110b,led2
sjmp main1
led2:  cjne r4,#00001101b,main1
      mov bo_2,data
main2:  mov p0,#11111111b
      mov p2,#00001111b
      mov a,p0
      mov data,a
      mov a,p2
      mov r4,a
      cjne r4,#00001101b,led3
      sjmp main2
led3:  cjne r4,#00001011b,main2
      mov bo_3,data
main3:  mov p0,#11111111b
      mov p2,#00001111b
      mov a,p0
      mov data,a
      mov a,p2
      mov r4,a
      cjne r4,#00001011b,led4
      sjmp main3
led4:  cjne r4,#00000111b,main3
      mov bo_4,data
      djnz r3,main0
      ret

r_r:   mov r0,#035h
      mov a,#11h
r_r1:  mov p1,a
      acall delay1
      rr a
      djnz r0,r_r1
      ret

r_l:   mov r0,#035h
      mov a,#11h
r_l1:  mov p1,a
      acall delay1
      rl a
      djnz r0,r_l1
      ret

delay1: mov 7,#30      ;delay 10ms
      dl1: mov 6,#0e6h
      dl2: nop
      nop
      djnz r6,dl2

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    djnz r7,d11
    ret
delay10: mov 7,#0ffh
    dl10: mov 6,#0e6h
    dl11: mov 5,#20h
    dl12: nop
        nop
    djnz r5,d12
    djnz r6,d11
    djnz r7,d10
    ret

```

```

send_loop: setb tr1
    mov a,bo_1
    clr ti
    mov sbuf,a
    jnb ti,$
    clr ti

    mov a,bo_2
    clr ti
    mov sbuf,a
    jnb ti,$
    clr ti

    mov a,bo_3
    clr ti
    mov sbuf,a
    jnb ti,$
    clr ti

    mov a,bo_4
    clr ti
    mov sbuf,a
    jnb ti,$
    clr ti
    clr tr1
    ret

```

```

compare: cjne a,#00110001b,opt1 ;for 1 step
    clr an
    clr ao
    clr ap
    clr aq
    acall step1
    ret
opt1: cjne a,#00110010b,opt2 ;left 90
    clr an
    clr ao
    clr ap
    clr aq

```

```

acall step2
ret
opt2: cjne a,#00110011b,opt3 ;left 180
clr an
clr ao
clr ap
clr aq

acall step2
acall step2
ret
opt3: cjne a,#00110100b,opt4 ;left 270
clr an
clr ao
clr ap
clr aq

acall step2
acall step2
acall step2
ret
opt4: cjne a,#00110101b,opt5 ;left 360
clr an
clr ao
clr ap
clr aq

acall step2
acall step2
acall step2
acall step2
ret
opt5: cjne a,#00110110b,opt6 ;right 90
clr an
clr ao
clr ap
clr aq

acall step3
ret
opt6: cjne a,#00110111b,opt7 ;right 180
clr an
clr ao
clr ap
clr aq

acall step3
acall step3
ret
opt7: cjne a,#00111000b,opt8 ;right 270

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

clr an
clr ao
clr ap
clr aq

```

```

acall step3
acall step3
acall step3
ret

```

```

opt8: cjne a,#00111001b,opt9 ;right 360
clr an
clr ao
clr ap
clr aq

```

```

acall step3
acall step3
acall step3
acall step3
ret

```

```

opt9: cjne a,#00111101b,opt10 ;back 1 step
clr an
clr ao
clr ap
clr aq

```

```

acall step4
ret

```

```

opt10: cjne a,#00110000b,k ; res
clr an
clr ao
clr ap
clr aq

```

```

acall reset
k: ret

```

```

res: setb flag
ret

```

```

step1: setb an ;forward
setb ap
setb aq
acall delay
clr ap
clr aq
acall delay
ret

```

```

step2: mov r2,#033h ;left
setb an

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

setb ao
stp2: setb ap
      setb aq
      acall delay
      clr ap
      clr aq
      acall delay
      djnz r2,stp2
      ret

```

```

step3: mov r2,#033h ;right
stp3: setb ap
      setb aq
      acall delay
      clr ap
      clr aq
      acall delay
      djnz r2,stp3
      ret

```

```

step4: setb ao ;backward
      setb ap
      setb aq
      acall delay
      clr ap
      clr aq
      acall delay
      ret

```

```

delay: mov 7,#30 ; delay
d1: mov 6,#0e6h
d2: nop
     nop
     djnz r6,d2
     djnz r7,d1
     ret

```

```

end

```

ภาคผนวก ค.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

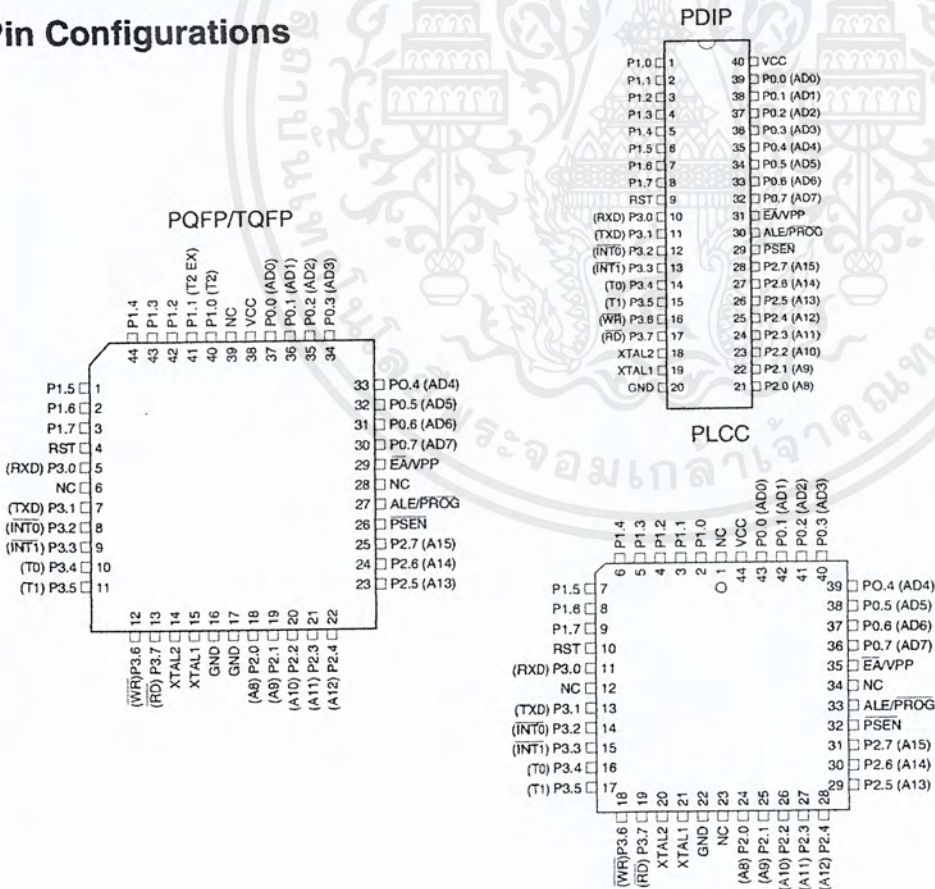
Features

- Compatible with MCS-51™ Products
- 4K Bytes of In-System Reprogrammable Flash Memory
 - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Three-level Program Memory Lock
- 128 x 8-bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Two 16-bit Timer/Counters
- Six Interrupt Sources
- Programmable Serial Channel
- Low-power Idle and Power-down Modes

Description

The AT89C51 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 4K bytes of Flash programmable and erasable read only memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry-standard MCS-51 instruction set and pinout. The on-chip Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C51 is a powerful microcomputer which provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

Pin Configurations



8-bit Microcontroller with 4K Bytes Flash

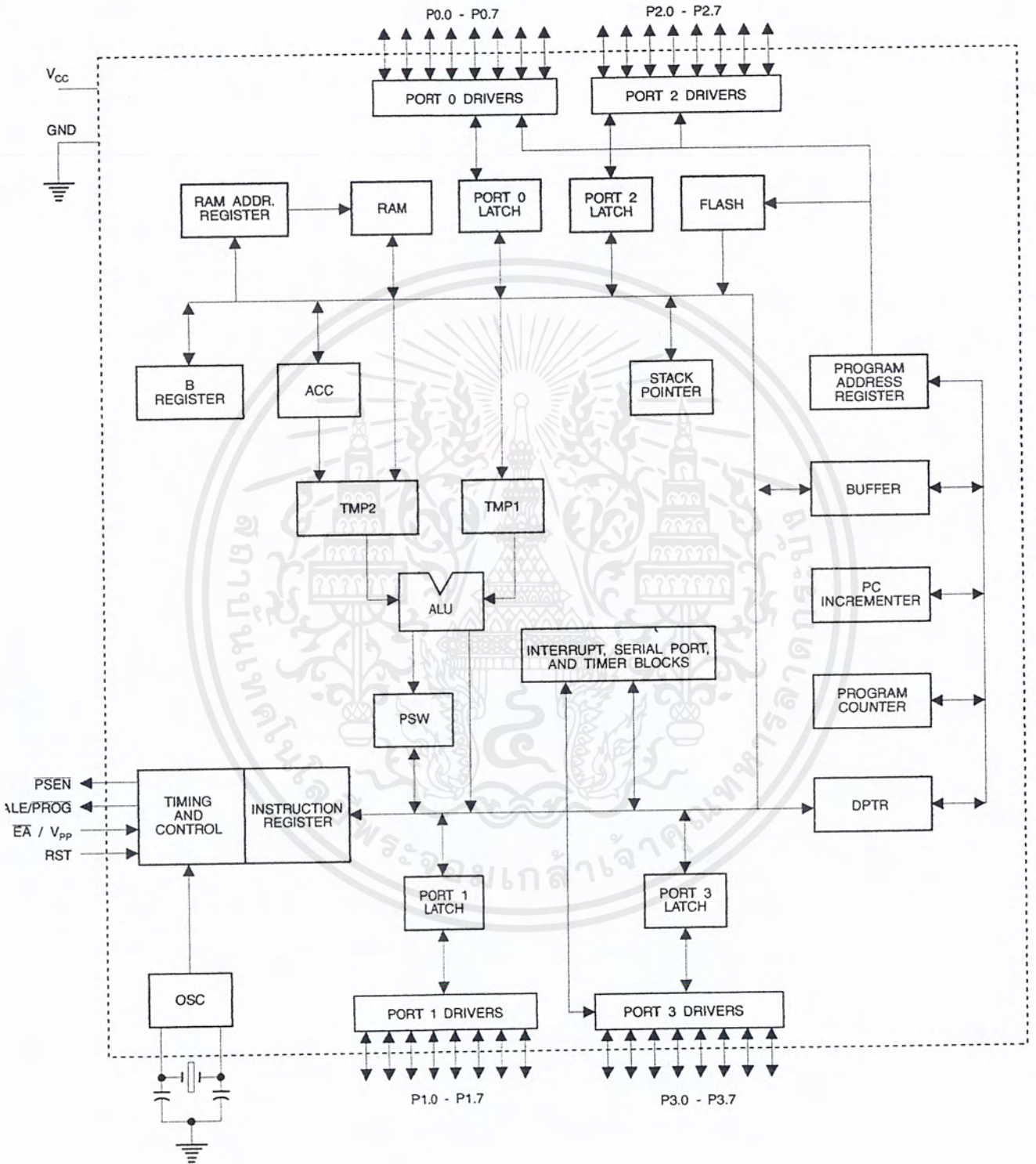
AT89C51

Rev. 0265G-02/00



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The AT89C51 provides the following standard features: 4K bytes of Flash, 128 bytes of RAM, 32 I/O lines, two 16-bit timer/counters, a five vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator and clock circuitry. In addition, the AT89C51 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port and interrupt system to continue functioning. The Power-down Mode saves the RAM contents but freezes the oscillator disabling all other chip functions until the next hardware reset.

Pin Description

VCC

Supply voltage.

GND

Ground.

Port 0

Port 0 is an 8-bit open-drain bi-directional I/O port. As an output port, each pin can sink eight TTL inputs. When 1s are written to port 0 pins, the pins can be used as high-impedance inputs.

Port 0 may also be configured to be the multiplexed low-order address/data bus during accesses to external program and data memory. In this mode P0 has internal pullups.

Port 0 also receives the code bytes during Flash programming, and outputs the code bytes during program verification. External pullups are required during program verification.

Port 1

Port 1 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 1 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 1 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 1 also receives the low-order address bytes during Flash programming and verification.

Port 2

Port 2 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 2 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 2 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs,

Port 2 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the internal pullups.

Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external program memory and during accesses to external data memory that use 16-bit addresses (MOVX @ DPTR). In this application, it uses strong internal pullups when emitting 1s. During accesses to external data memory that use 8-bit addresses (MOVX @ RI), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

Port 2 also receives the high-order address bits and some control signals during Flash programming and verification.

Port 3

Port 3 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 3 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 3 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current (I_{IL}) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C51 as listed below:

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	INT0 (external interrupt 0)
P3.3	INT1 (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)
P3.6	\overline{WR} (external data memory write strobe)
P3.7	\overline{RD} (external data memory read strobe)

Port 3 also receives some control signals for Flash programming and verification.

RST

Reset input. A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device.

ALE/ \overline{PROG}

Address Latch Enable output pulse for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input (\overline{PROG}) during Flash programming.

In normal operation ALE is emitted at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency, and may be used for external timing or clocking purposes. Note, however, that one ALE



pulse is skipped during each access to external Data Memory.

If desired, ALE operation can be disabled by setting bit 0 of SFR location 8EH. With the bit set, ALE is active only during a MOVX or MOV C instruction. Otherwise, the pin is weakly pulled high. Setting the ALE-disable bit has no effect if the microcontroller is in external execution mode.

PSEN

Program Store Enable is the read strobe to external program memory.

When the AT89C51 is executing code from external program memory, PSEN is activated twice each machine cycle, except that two PSEN activations are skipped during each access to external data memory.

EA/VPP

External Access Enable. EA must be strapped to GND in order to enable the device to fetch code from external program memory locations starting at 0000H up to FFFFH. Note, however, that if lock bit 1 is programmed, EA will be internally latched on reset.

EA should be strapped to V_{CC} for internal program executions.

This pin also receives the 12-volt programming enable voltage (V_{PP}) during Flash programming, for parts that require 12-volt V_{PP}.

XTAL1

Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

Oscillator Characteristics

XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier which can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 1. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left

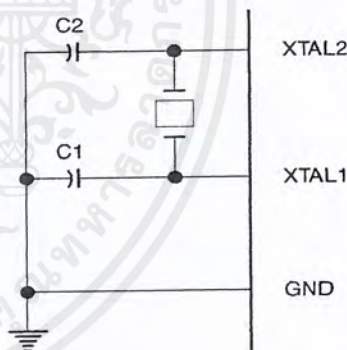
unconnected while XTAL1 is driven as shown in Figure 2. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum voltage high and low time specifications must be observed.

Idle Mode

In idle mode, the CPU puts itself to sleep while all the on-chip peripherals remain active. The mode is invoked by software. The content of the on-chip RAM and all the special functions registers remain unchanged during this mode. The idle mode can be terminated by any enabled interrupt or by a hardware reset.

It should be noted that when idle is terminated by a hardware reset, the device normally resumes program execution, from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to internal RAM in this event, but access to the port pins is not inhibited. To eliminate the possibility of an unexpected write to a port pin when Idle is terminated by reset, the instruction following the one that invokes Idle should not be one that writes to a port pin or to external memory.

Figure 1. Oscillator Connections

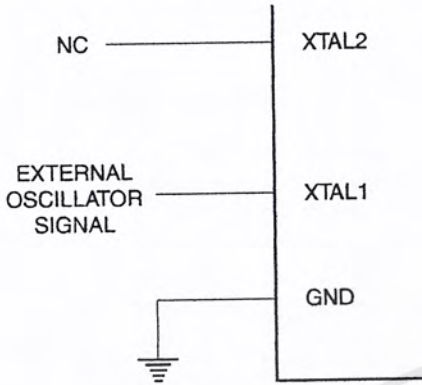


Note: C1, C2 = 30 pF ± 10 pF for Crystals
= 40 pF ± 10 pF for Ceramic Resonators

Status of External Pins During Idle and Power-down Modes

Mode	Program Memory	ALE	PSEN	PORT0	PORT1	PORT2	PORT3
Idle	Internal	1	1	Data	Data	Data	Data
Idle	External	1	1	Float	Data	Address	Data
Power-down	Internal	0	0	Data	Data	Data	Data
Power-down	External	0	0	Float	Data	Data	Data

Figure 2. External Clock Drive Configuration



ters retain their values until the power-down mode is terminated. The only exit from power-down is a hardware reset. Reset redefines the SFRs but does not change the on-chip RAM. The reset should not be activated before V_{CC} is restored to its normal operating level and must be held active long enough to allow the oscillator to restart and stabilize.

Program Memory Lock Bits

On the chip are three lock bits which can be left unprogrammed (U) or can be programmed (P) to obtain the additional features listed in the table below.

When lock bit 1 is programmed, the logic level at the \overline{EA} pin is sampled and latched during reset. If the device is powered up without a reset, the latch initializes to a random value, and holds that value until reset is activated. It is necessary that the latched value of \overline{EA} be in agreement with the current logic level at that pin in order for the device to function properly.

Power-down Mode

In the power-down mode, the oscillator is stopped, and the instruction that invokes power-down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Regis-

Lock Bit Protection Modes

	Program Lock Bits			Protection Type
	LB1	LB2	LB3	
1	U	U	U	No program lock features
2	P	U	U	MOVC instructions executed from external program memory are disabled from fetching code bytes from internal memory, \overline{EA} is sampled and latched on reset, and further programming of the Flash is disabled
3	P	P	U	Same as mode 2, also verify is disabled
4	P	P	P	Same as mode 3, also external execution is disabled





Programming the Flash

The AT89C51 is normally shipped with the on-chip Flash memory array in the erased state (that is, contents = FFH) and ready to be programmed. The programming interface accepts either a high-voltage (12-volt) or a low-voltage (V_{CC}) program enable signal. The low-voltage programming mode provides a convenient way to program the AT89C51 inside the user's system, while the high-voltage programming mode is compatible with conventional third-party Flash or EPROM programmers.

The AT89C51 is shipped with either the high-voltage or low-voltage programming mode enabled. The respective top-side marking and device signature codes are listed in the following table.

	$V_{PP} = 12V$	$V_{PP} = 5V$
Top-Side Mark	AT89C51 xxxx yyww	AT89C51 xxxx-5 yyww
Signature	(030H) = 1EH (031H) = 51H (032H) = F FH	(030H) = 1EH (031H) = 51H (032H) = 05H

The AT89C51 code memory array is programmed byte-by-byte in either programming mode. *To program any non-blank byte in the on-chip Flash Memory, the entire memory must be erased using the Chip Erase Mode.*

Programming Algorithm: Before programming the AT89C51, the address, data and control signals should be set up according to the Flash programming mode table and Figure 3 and Figure 4. To program the AT89C51, take the following steps.

1. Input the desired memory location on the address lines.
2. Input the appropriate data byte on the data lines.
3. Activate the correct combination of control signals.
4. Raise \overline{EA}/V_{PP} to 12V for the high-voltage programming mode.
5. Pulse $\overline{ALE}/\overline{PROG}$ once to program a byte in the Flash array or the lock bits. The byte-write cycle is self-timed and typically takes no more than 1.5 ms. Repeat steps 1 through 5, changing the address

and data for the entire array or until the end of the object file is reached.

Data Polling: The AT89C51 features \overline{Data} Polling to indicate the end of a write cycle. During a write cycle, an attempted read of the last byte written will result in the complement of the written datum on PO.7. Once the write cycle has been completed, true data are valid on all outputs, and the next cycle may begin. Data Polling may begin any time after a write cycle has been initiated.

Ready/Busy: The progress of byte programming can also be monitored by the RDY/BSY output signal. P3.4 is pulled low after ALE goes high during programming to indicate BUSY. P3.4 is pulled high again when programming is done to indicate READY.

Program Verify: If lock bits LB1 and LB2 have not been programmed, the programmed code data can be read back via the address and data lines for verification. The lock bits cannot be verified directly. Verification of the lock bits is achieved by observing that their features are enabled.

Chip Erase: The entire Flash array is erased electrically by using the proper combination of control signals and by holding $\overline{ALE}/\overline{PROG}$ low for 10 ms. The code array is written with all "1"s. The chip erase operation must be executed before the code memory can be re-programmed.

Reading the Signature Bytes: The signature bytes are read by the same procedure as a normal verification of locations 030H, 031H, and 032H, except that P3.6 and P3.7 must be pulled to a logic low. The values returned are as follows.

- (030H) = 1EH indicates manufactured by Atmel
- (031H) = 51H indicates 89C51
- (032H) = FFH indicates 12V programming
- (032H) = 05H indicates 5V programming

Programming Interface

Every code byte in the Flash array can be written and the entire array can be erased by using the appropriate combination of control signals. The write operation cycle is self-timed and once initiated, will automatically time itself to completion.

All major programming vendors offer worldwide support for the Atmel microcontroller series. Please contact your local programming vendor for the appropriate software revision.

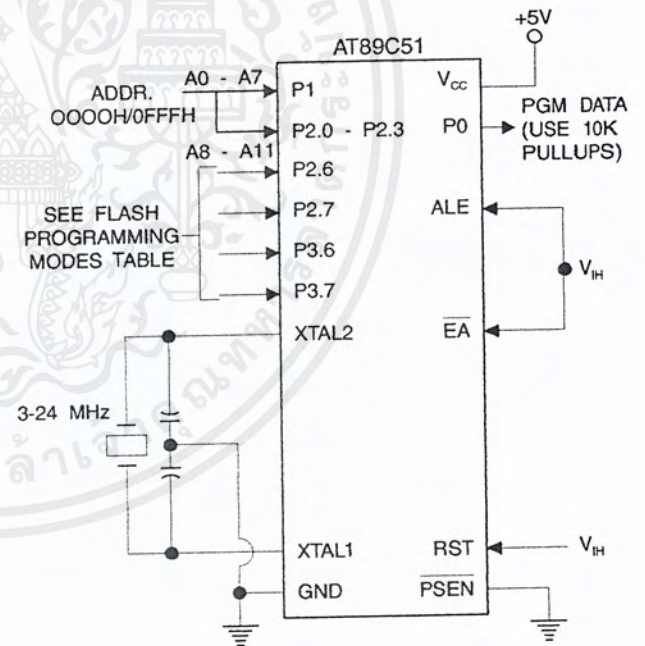
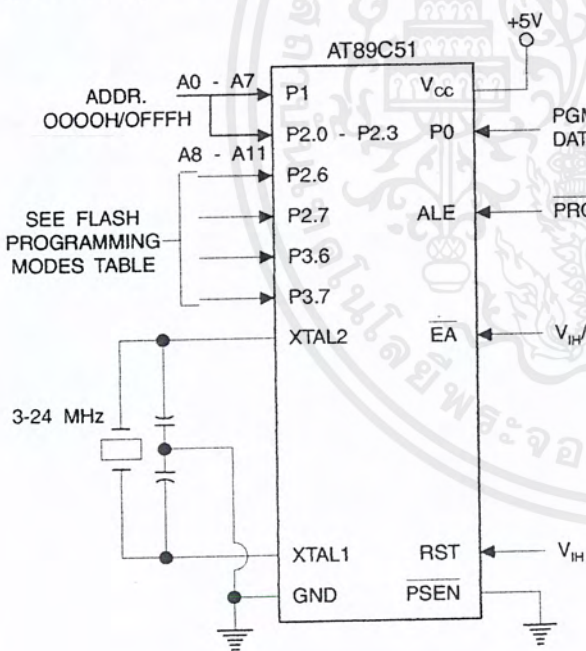
Flash Programming Modes

Mode	RST	$\overline{\text{PSEN}}$	ALE/PROG	EA/V_{PP}	P2.6	P2.7	P3.6	P3.7
Write Code Data	H	L		H/12V	L	H	H	H
Read Code Data	H	L	H	H	L	L	H	H
Write Lock	H	L		H/12V	H	H	H	H
				H/12V	H	H	L	L
				H/12V	H	L	H	L
Chip Erase	H	L		H/12V	H	L	L	L
Read Signature Byte	H	L	H	H	L	L	L	L

Note: 1. Chip Erase requires a 10 ms PROG pulse.

Figure 3. Programming the Flash

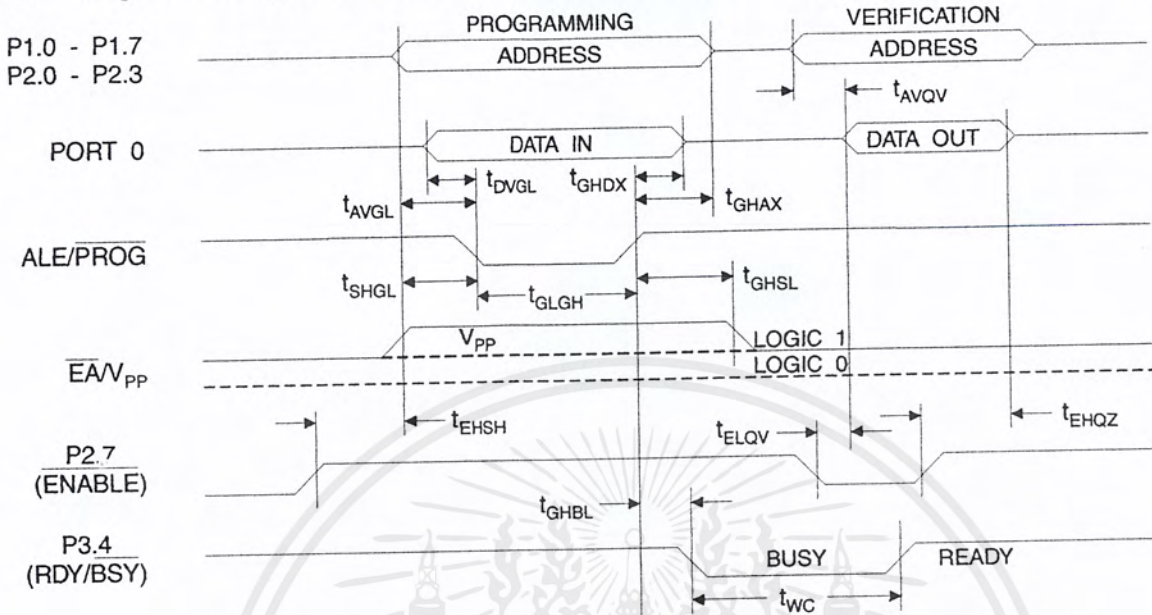
Figure 4. Verifying the Flash



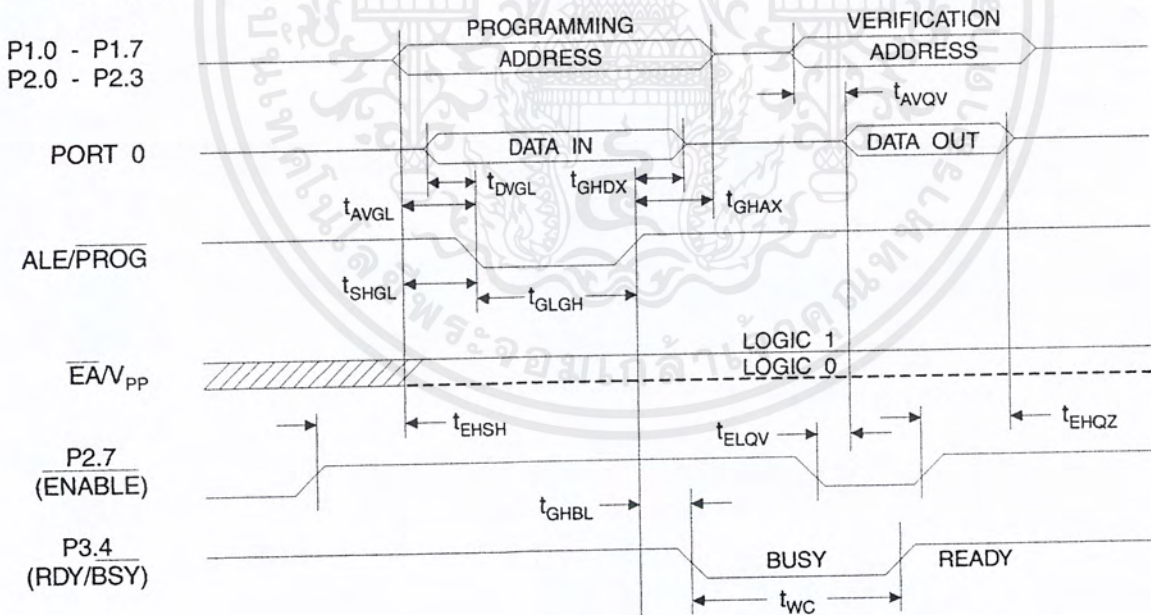
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Flash Programming and Verification Waveforms - High-voltage Mode ($V_{PP} = 12V$)



Flash Programming and Verification Waveforms - Low-voltage Mode ($V_{PP} = 5V$)



Flash Programming and Verification Characteristics

$T_A = 0^\circ\text{C to } 70^\circ\text{C}$, $V_{CC} = 5.0 \pm 10\%$

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
$V_{PP}^{(1)}$	Programming Enable Voltage	11.5	12.5	V
$I_{PP}^{(1)}$	Programming Enable Current		1.0	mA
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	3	24	MHz
t_{AVGL}	Address Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	$48t_{CLCL}$		
t_{GHAX}	Address Hold After $\overline{\text{PROG}}$	$48t_{CLCL}$		
t_{DVGL}	Data Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	$48t_{CLCL}$		
t_{GHDX}	Data Hold After $\overline{\text{PROG}}$	$48t_{CLCL}$		
t_{EHS}	P2.7 ($\overline{\text{ENABLE}}$) High to V_{PP}	$48t_{CLCL}$		
t_{SHGL}	V_{PP} Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	10		μs
$t_{GHSL}^{(1)}$	V_{PP} Hold After $\overline{\text{PROG}}$	10		μs
t_{GLGH}	$\overline{\text{PROG}}$ Width	1	110	μs
t_{AVQV}	Address to Data Valid		$48t_{CLCL}$	
t_{ELQV}	$\overline{\text{ENABLE}}$ Low to Data Valid		$48t_{CLCL}$	
t_{EHQZ}	Data Float After $\overline{\text{ENABLE}}$	0	$48t_{CLCL}$	
t_{GHBL}	$\overline{\text{PROG}}$ High to $\overline{\text{BUSY}}$ Low		1.0	μs
t_{WC}	Byte Write Cycle Time		2.0	ms

Note: 1. Only used in 12-volt programming mode.



Absolute Maximum Ratings*

Operating Temperature.....	-55°C to +125°C
Storage Temperature.....	-65°C to +150°C
Voltage on Any Pin with Respect to Ground.....	-1.0V to +7.0V
Maximum Operating Voltage.....	6.6V
DC Output Current.....	15.0 mA

*NOTICE: Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

DC Characteristics

$T_A = -40^\circ\text{C}$ to 85°C , $V_{CC} = 5.0\text{V} \pm 20\%$ (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Max	Units
V_{IL}	Input Low-voltage	(Except $\bar{E}\bar{A}$)	-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.1$	V
V_{IL1}	Input Low-voltage ($\bar{E}\bar{A}$)		-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.3$	V
V_{IH}	Input High-voltage	(Except XTAL1, RST)	$0.2 V_{CC} + 0.9$	$V_{CC} + 0.5$	V
V_{IH1}	Input High-voltage	(XTAL1, RST)	$0.7 V_{CC}$	$V_{CC} + 0.5$	V
V_{OL}	Output Low-voltage ⁽¹⁾ (Ports 1,2,3)	$I_{OL} = 1.6 \text{ mA}$		0.45	V
V_{OL1}	Output Low-voltage ⁽¹⁾ (Port 0, ALE, PSEN)	$I_{OL} = 3.2 \text{ mA}$		0.45	V
V_{OH}	Output High-voltage (Ports 1,2,3, ALE, PSEN)	$I_{OH} = -60 \mu\text{A}$, $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -25 \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -10 \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
V_{OH1}	Output High-voltage (Port 0 in External Bus Mode)	$I_{OH} = -800 \mu\text{A}$, $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -300 \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -80 \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
I_{IL}	Logical 0 Input Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 0.45\text{V}$		-50	μA
I_{TL}	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 2\text{V}$, $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$		-650	μA
I_{LI}	Input Leakage Current (Port 0, $\bar{E}\bar{A}$)	$0.45 < V_{IN} < V_{CC}$		± 10	μA
RRST	Reset Pull-down Resistor		50	300	K Ω
C_{IO}	Pin Capacitance	Test Freq. = 1 MHz, $T_A = 25^\circ\text{C}$		10	pF
I_{CC}	Power Supply Current	Active Mode, 12 MHz		20	mA
		Idle Mode, 12 MHz		5	mA
	Power-down Mode ⁽²⁾	$V_{CC} = 6\text{V}$		100	μA
		$V_{CC} = 3\text{V}$		40	μA

Notes: 1. Under steady state (non-transient) conditions, I_{OL} must be externally limited as follows:

Maximum I_{OL} per port pin: 10 mA
 Maximum I_{OL} per 8-bit port: Port 0: 26 mA
 Ports 1, 2, 3: 15 mA
 Maximum total I_{OL} for all output pins: 71 mA

If I_{OL} exceeds the test condition, V_{OL} may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.

2. Minimum V_{CC} for Power-down is 2V.

AC Characteristics

Under operating conditions, load capacitance for Port 0, ALE/ $\overline{\text{PROG}}$, and $\overline{\text{PSEN}}$ = 100 pF; load capacitance for all other outputs = 80 pF.

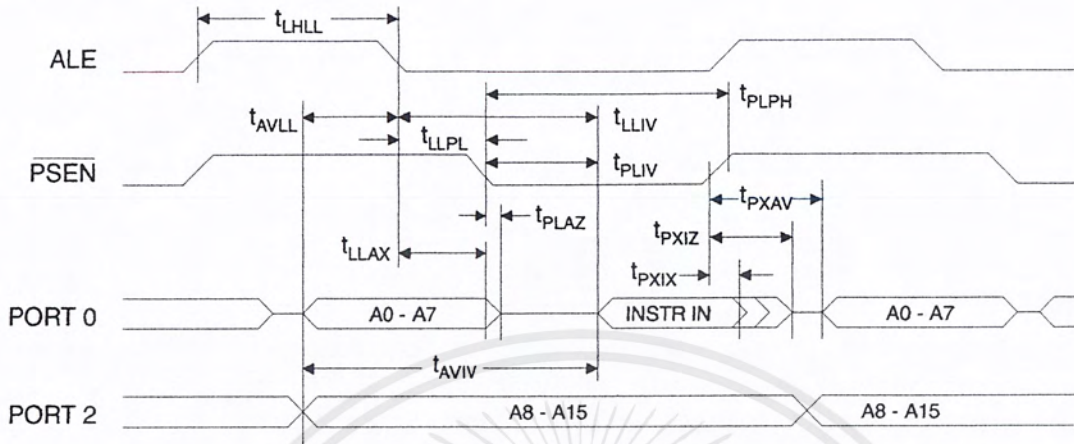
External Program and Data Memory Characteristics

Symbol	Parameter	12 MHz Oscillator		16 to 24 MHz Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
$1/t_{\text{CLCL}}$	Oscillator Frequency			0	24	MHz
t_{LHLL}	ALE Pulse Width	127		$2t_{\text{CLCL}}-40$		ns
t_{AVLL}	Address Valid to ALE Low	43		$t_{\text{CLCL}}-13$		ns
t_{LLAX}	Address Hold After ALE Low	48		$t_{\text{CLCL}}-20$		ns
t_{LLIV}	ALE Low to Valid Instruction In		233		$4t_{\text{CLCL}}-65$	ns
t_{LLPL}	ALE Low to $\overline{\text{PSEN}}$ Low	43		$t_{\text{CLCL}}-13$		ns
t_{PLPH}	$\overline{\text{PSEN}}$ Pulse Width	205		$3t_{\text{CLCL}}-20$		ns
t_{PLIV}	$\overline{\text{PSEN}}$ Low to Valid Instruction In		145		$3t_{\text{CLCL}}-45$	ns
t_{PXIX}	Input Instruction Hold After $\overline{\text{PSEN}}$	0		0		ns
t_{PXIZ}	Input Instruction Float After $\overline{\text{PSEN}}$		59		$t_{\text{CLCL}}-10$	ns
t_{PXAV}	$\overline{\text{PSEN}}$ to Address Valid	75		$t_{\text{CLCL}}-8$		ns
t_{AVIV}	Address to Valid Instruction In		312		$5t_{\text{CLCL}}-55$	ns
t_{PLAZ}	$\overline{\text{PSEN}}$ Low to Address Float		10		10	ns
t_{RLRH}	$\overline{\text{RD}}$ Pulse Width	400		$6t_{\text{CLCL}}-100$		ns
t_{WLWH}	$\overline{\text{WR}}$ Pulse Width	400		$6t_{\text{CLCL}}-100$		ns
t_{RLDV}	$\overline{\text{RD}}$ Low to Valid Data In		252		$5t_{\text{CLCL}}-90$	ns
t_{RHDX}	Data Hold After $\overline{\text{RD}}$	0		0		ns
t_{RHDX}	Data Float After $\overline{\text{RD}}$		97		$2t_{\text{CLCL}}-28$	ns
t_{LLDV}	ALE Low to Valid Data In		517		$8t_{\text{CLCL}}-150$	ns
t_{AVDV}	Address to Valid Data In		585		$9t_{\text{CLCL}}-165$	ns
t_{LLWL}	ALE Low to $\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ Low	200	300	$3t_{\text{CLCL}}-50$	$3t_{\text{CLCL}}+50$	ns
t_{AVWL}	Address to $\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ Low	203		$4t_{\text{CLCL}}-75$		ns
t_{QVWX}	Data Valid to $\overline{\text{WR}}$ Transition	23		$t_{\text{CLCL}}-20$		ns
t_{QVWH}	Data Valid to $\overline{\text{WR}}$ High	433		$7t_{\text{CLCL}}-120$		ns
t_{WHQX}	Data Hold After $\overline{\text{WR}}$	33		$t_{\text{CLCL}}-20$		ns
t_{RLAZ}	$\overline{\text{RD}}$ Low to Address Float		0		0	ns
t_{WHLH}	$\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ High to ALE High	43	123	$t_{\text{CLCL}}-20$	$t_{\text{CLCL}}+25$	ns

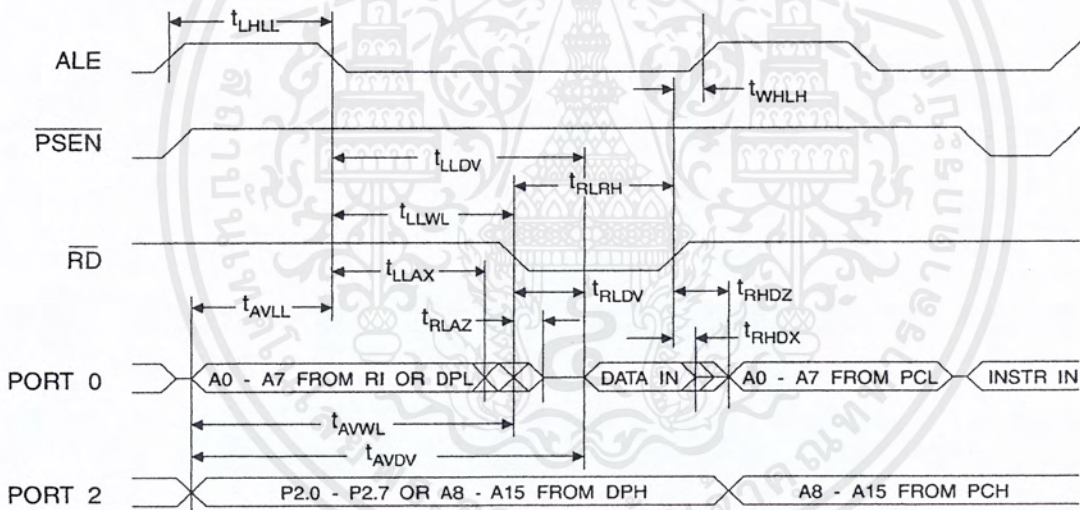


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

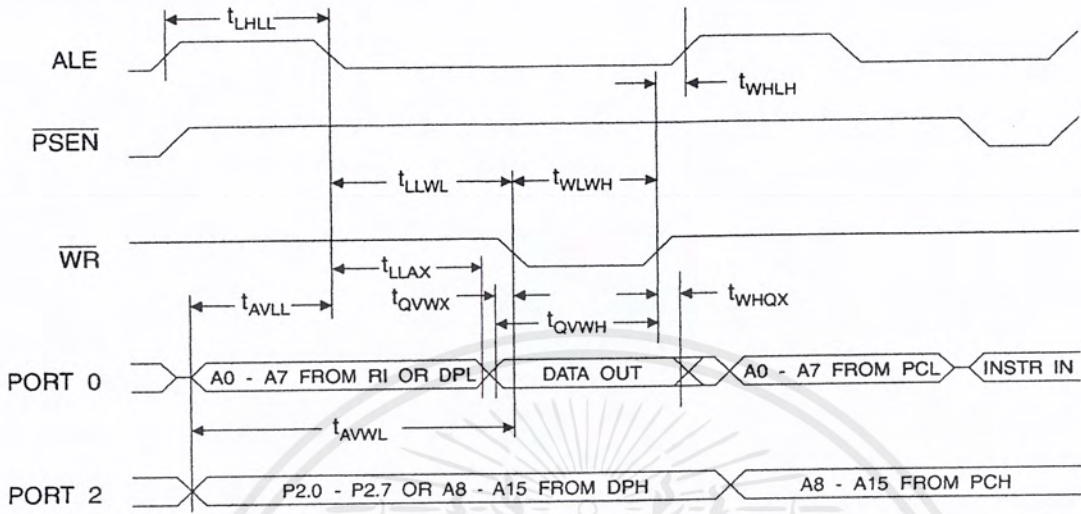
External Program Memory Read Cycle



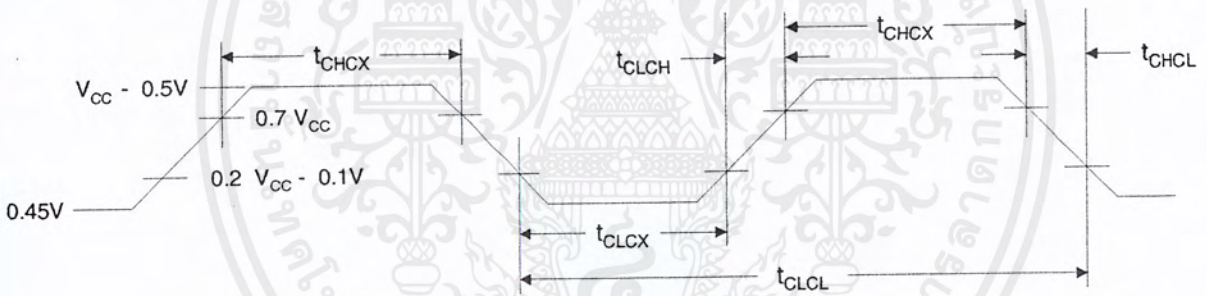
External Data Memory Read Cycle



External Data Memory Write Cycle



External Clock Drive Waveforms



External Clock Drive

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	0	24	MHz
t_{CLCL}	Clock Period	41.6		ns
t_{CHCX}	High Time	15		ns
t_{CLCX}	Low Time	15		ns
t_{CLCH}	Rise Time		20	ns
t_{CHCL}	Fall Time		20	ns



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

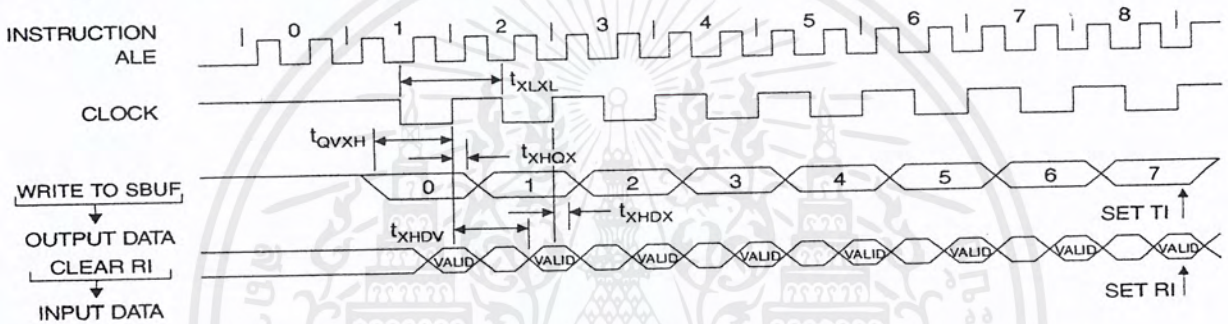


Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions

($V_{CC} = 5.0\text{ V} \pm 20\%$; Load Capacitance = 80 pF)

Symbol	Parameter	12 MHz Osc		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
t_{XLXL}	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		$12t_{CLCL}$		μs
t_{QVXH}	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		$10t_{CLCL}-133$		ns
t_{XHGX}	Output Data Hold After Clock Rising Edge	50		$2t_{CLCL}-117$		ns
t_{XHDX}	Input Data Hold After Clock Rising Edge	0		0		ns
t_{XHDV}	Clock Rising Edge to Input Data Valid		700		$10t_{CLCL}-133$	ns

Shift Register Mode Timing Waveforms



AC Testing Input/Output Waveforms⁽¹⁾ Float Waveforms⁽¹⁾



Note: 1. AC Inputs during testing are driven at $V_{CC} - 0.5\text{V}$ for a logic 1 and 0.45V for a logic 0. Timing measurements are made at V_{IH} min. for a logic 1 and V_{IL} max. for a logic 0.

Note: 1. For timing purposes, a port pin is no longer floating when a 100 mV change from load voltage occurs. A port pin begins to float when 100 mV change from the loaded V_{OH}/V_{OL} level occurs.

Ordering Information

Speed (MHz)	Power Supply	Ordering Code	Package	Operation Range	
12	5V ± 20%	AT89C51-12AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)	
		AT89C51-12JC	44J		
		AT89C51-12PC	40P6		
		AT89C51-12QC	44Q		
			AT89C51-12AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
			AT89C51-12JI	44J	
			AT89C51-12PI	40P6	
			AT89C51-12QI	44Q	
16	5V ± 20%	AT89C51-16AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)	
		AT89C51-16JC	44J		
		AT89C51-16PC	40P6		
		AT89C51-16QC	44Q		
			AT89C51-16AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
			AT89C51-16JI	44J	
			AT89C51-16PI	40P6	
			AT89C51-16QI	44Q	
20	5V ± 20%	AT89C51-20AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)	
		AT89C51-20JC	44J		
		AT89C51-20PC	40P6		
		AT89C51-20QC	44Q		
			AT89C51-20AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
			AT89C51-20JI	44J	
			AT89C51-20PI	40P6	
			AT89C51-20QI	44Q	
24	5V ± 20%	AT89C51-24AC	44A	Commercial (0°C to 70°C)	
		AT89C51-24JC	44J		
		AT89C51-24PC	40P6		
		AT89C51-24QC	44Q		
			AT89C51-24AI	44A	Industrial (-40°C to 85°C)
			AT89C51-24JI	44J	
			AT89C51-24PI	40P6	
			AT89C51-24QI	44Q	

Package Type

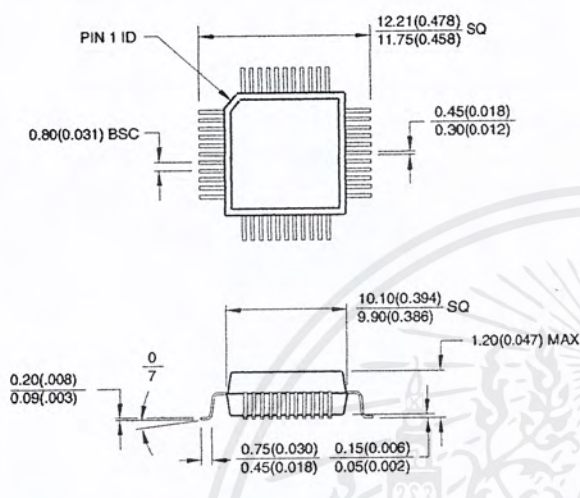
44A	44-lead, Thin Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP)
44J	44-lead, Plastic J-leaded Chip Carrier (PLCC)
40P6	40-lead, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
44Q	44-lead, Plastic Gull Wing Quad Flatpack (PQFP)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

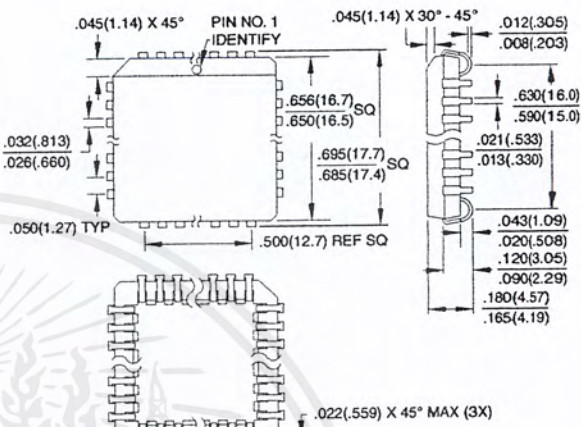
Packaging Information

44A, 44-lead, Thin (1.0 mm) Plastic Gull Wing Quad Flatpack (TQFP)
Dimensions in Millimeters and (Inches)*
JEDEC STANDARD MS-026 ACB

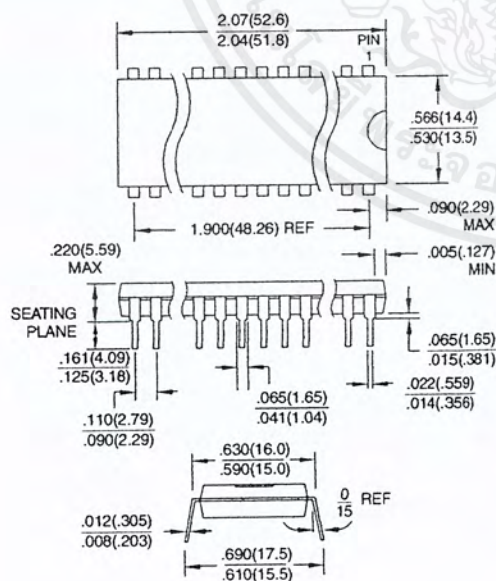


Controlling dimension: millimeters

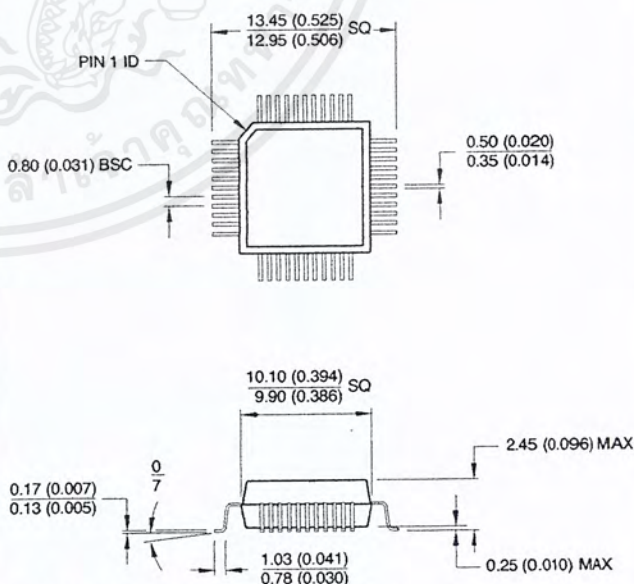
44J, 44-lead, Plastic J-leaded Chip Carrier (PLCC)
Dimensions in Inches and (Millimeters)
JEDEC STANDARD MS-018 AC



40P6, 40-lead, 0.600" Wide, Plastic Dual Inline Package (PDIP)
Dimensions in Inches and (Millimeters)



44Q, 44-lead, Plastic Quad Flat Package (PQFP)
Dimensions in Millimeters and (Inches)*
JEDEC STANDARD MS-022 AB



Controlling dimension: millimeters



Atmel Headquarters

Corporate Headquarters
2325 Orchard Parkway
San Jose, CA 95131
TEL (408) 441-0311
FAX (408) 487-2600

Europe

Atmel U.K., Ltd.
Coliseum Business Centre
Riverside Way
Camberley, Surrey GU15 3YL
England
TEL (44) 1276-686-677
FAX (44) 1276-686-697

Asia

Atmel Asia, Ltd.
Room 1219
Chinachem Golden Plaza
77 Mody Road Tsimhatsui
East Kowloon
Hong Kong
TEL (852) 2721-9778
FAX (852) 2722-1369

Japan

Atmel Japan K.K.
9F, Tonetsu Shinkawa Bldg.
1-24-8 Shinkawa
Chuo-ku, Tokyo 104-0033
Japan
TEL (81) 3-3523-3551
FAX (81) 3-3523-7581

Atmel Operations

Atmel Colorado Springs
1150 E. Cheyenne Mtn. Blvd.
Colorado Springs, CO 80906
TEL (719) 576-3300
FAX (719) 540-1759

Atmel Rousset

Zone Industrielle
13106 Rousset Cedex
France
TEL (33) 4-4253-6000
FAX (33) 4-4253-6001

Fax-on-Demand

North America:
1-(800) 292-8635

International:
1-(408) 441-0732

e-mail

literature@atmel.com

Web Site

<http://www.atmel.com>

BBS

1-(408) 436-4309

© Atmel Corporation 2000.

Atmel Corporation makes no warranty for the use of its products, other than those expressly contained in the Company's standard warranty which is detailed in Atmel's Terms and Conditions located on the Company's web site. The Company assumes no responsibility for any errors which may appear in this document, reserves the right to change devices or specifications detailed herein at any time without notice, and does not make any commitment to update the information contained herein. No licenses to patents or other intellectual property of Atmel are granted by the Company in connection with the sale of Atmel products, expressly or by implication. Atmel's products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems.

Marks bearing ® and/or ™ are registered trademarks and trademarks of Atmel Corporation.

Terms and product names in this document may be trademarks of others.



Printed on recycled paper.

0265G-02/00/xM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



MM74C925, MM74C926, MM74C927, MM74C928 4-Digit Counters with Multiplexed 7-Segment Output Drivers

General Description

These CMOS counters consist of a 4-digit counter, an internal output latch, NPN output sourcing drivers for a 7-segment display, and an internal multiplexing circuitry with four multiplexing outputs. The multiplexing circuit has its own free-running oscillator, and requires no external clock. The counters advance on negative edge of clock. A high signal on the Reset input will reset the counter to zero, and reset the carry-out low. A low signal on the Latch Enable input will latch the number in the counters into the internal output latches. A high signal on Display Select input will select the number in the counter to be displayed; a low level signal on the Display Select will select the number in the output latch to be displayed.

The MM74C925 is a 4-decade counter and has Latch Enable, Clock and Reset inputs.

The MM74C926 is like the MM74C925 except that it has a display select and a carry-out used for cascading counters. The carry-out signal goes high at 6000, goes back low at 0000.

The MM74C927 is like the MM74C926 except the second most significant digit divides by 6 rather than 10. Thus, if the clock input frequency is 10 Hz, the display would read tenths of seconds and minutes (i.e., 9:59.9).

The MM74C928 is like the MM74C926 except the most significant digit divides by 2 rather than 10 and the

carry-out is an overflow indicator which is high at 2000, and it goes back low only when the counter is reset. Thus, this is a 3 1/2-digit counter.

Features

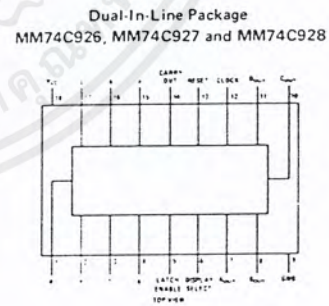
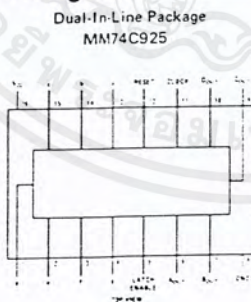
- Wide supply voltage range 3V to 6V
- Guaranteed noise margin 1V
- High noise immunity $0.45V_{CC}$ (typ.)
- High segment sourcing current 40 mA @ $V_{CC} - 1.6V$, $V_{CC} = 5V$
- Internal multiplexing circuitry

Design Considerations

Segment resistors are desirable to minimize power dissipation and chip heating. The DS75492 serves as a good digit driver when it is desired to drive bright displays. When using this driver with a 5V supply at room temperature, the display can be driven without segment resistors to full illumination. The user must use caution in this mode however, to prevent overheating of the device by using too high a supply voltage or by operating at high ambient temperatures.

The input protection circuitry consists of a series resistor, and a diode to ground. Thus input signals exceeding V_{CC} will not be clamped. This input signal should not be allowed to exceed 15V.

Connection Diagram



Functional Description

- Reset — Asynchronous, active high
- Display Select — High, displays output of counter
Low, displays output of latch
- Latch Enable — High, flow through condition
Low, latch condition
- Clock — Negative edge sensitive

- Segment Output — Current sourcing with 40 mA @ $V_{OUT} = V_{CC} - 1.6V$ (typ.)
Also, sink capability = 2 LTTL loads
- Digit Output — Current sourcing with 1 mA @ $V_{OUT} = 1.75V$. Also, sink capability = 2 LTTL loads
- Carry-out — 2 LTTL loads. See carry-out waveforms.

Absolute Maximum Ratings (Note 1)

Voltage at Any Output Pin	Gnd - 0.3V to V _{CC} +0.3V
Voltage at Any Input Pin	Gnd - 0.3V to +15V
Operating Temperature Range (T _A)	-40°C to +85°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Package Dissipation	Refer to P _{D(MAX)} vs T _A Graph
Operating V _{CC} Range	3V to 6V
V _{CC}	6.5V
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	300°C

DC Electrical Characteristics Min/max limits apply at -40°C ≤ T_j ≤ +85°C, unless otherwise noted.

PARAMETER		CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
CMOS TO CMOS						
V _{IN(1)}	Logical "1" Input Voltage	V _{CC} = 5.0V	3.5			V
V _{IN(0)}	Logical "0" Input Voltage	V _{CC} = 5.0V			1.5	V
V _{OUT(1)}	Logical "1" Output Voltage (Carry-out and Digit Output Only)	V _{CC} = 5.0V, I _O = -10 μA	4.5			V
V _{OUT(0)}	Logical "0" Output Voltage	V _{CC} = 5.0V, I _O = 10 μA			0.5	V
I _{IN(1)}	Logical "1" Input Current	V _{CC} = 5.0V, V _{IN} = 15V		0.005	1.0	μA
I _{IN(0)}	Logical "0" Input Current	V _{CC} = 5.0V, V _{IN} = 0V	-1.0	-0.005		μA
I _{CC}	Supply Current	V _{CC} = 5.0V, Outputs Open Circuit, V _{IN} = 0V or 5V		20	1000	μA
CMOS/LPTTL INTERFACE						
V _{IN(1)} *	Logical "1" Input Voltage	V _{CC} = 4.75V	V _{CC} -1.5			V
V _{IN(0)}	Logical "0" Input Voltage	V _{CC} = 4.75V			0.8	V
V _{OUT(1)}	Logical "1" Output Voltage (Carry-Out and Digit Output Only)	V _{CC} = 4.75V, I _O = -360 μA	2.4			V
V _{OUT(0)}	Logical "0" Output Voltage	V _{CC} = 4.75V, I _O = 360 μA			0.4	V
OUTPUT DRIVE						
V _{OUT}	Output Voltage (Segment Sourcing Output)	I _{OUT} = -65 mA, V _{CC} = 5V, T _j = 25°C I _{OUT} = -40 mA, V _{CC} = 5V T _j = 100°C T _j = 150°C	V _{CC} -1.6 V _{CC} -2	V _{CC} -1.3 V _{CC} -1.2 V _{CC} -1.4		V
R _{ON}	Output Resistance (Segment Sourcing Output)	I _{OUT} = -65 mA, V _{CC} = 5V, T _j = 25°C I _{OUT} = -40 mA, V _{CC} = 5V T _j = 100°C T _j = 150°C		20 30 35	40 50	Ω
	Output Resistance (Segment Output) Temperature Coefficient			0.6	0.8	%/°C
I _{SOURCE}	Output Source Current (Digit Output)	V _{CC} = 4.75V, V _{OUT} = 1.75V, T _j = 150°C	-1	-2		mA
I _{SOURCE}	Output Source Current (Carry-out)	V _{CC} = 5V, V _{OUT} = 0V, T _j = 25°C	-1.75	-3.3		mA
I _{SINK}	Output Sink Current (All Outputs)	V _{CC} = 5V, V _{OUT} = V _{CC} , T _j = 25°C	1.75	3.6		mA
θ _{JA}	Thermal Resistance	MM74C925 (Note 4) MM74C926, MM74C927, MM74C928		75 70	100 90	°C/M

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

Note 2: Capacitance is guaranteed by periodic testing.

Note 3: C_{PD} determines the no load ac power consumption of any CMOS device. For complete explanation see 54C/74C Family Characteristics application note, AN-90.

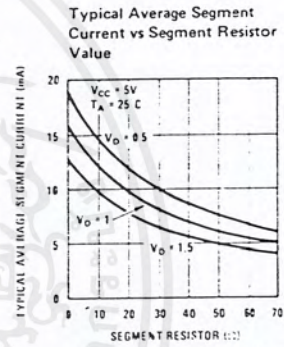
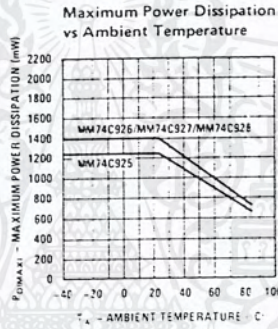
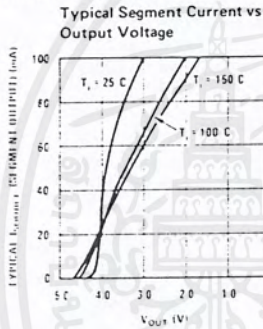
Note 4: θ_{JA} measured in free-air with device soldered into printed circuit board.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC Electrical Characteristics $T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_L = 50\text{pF}$, unless otherwise noted

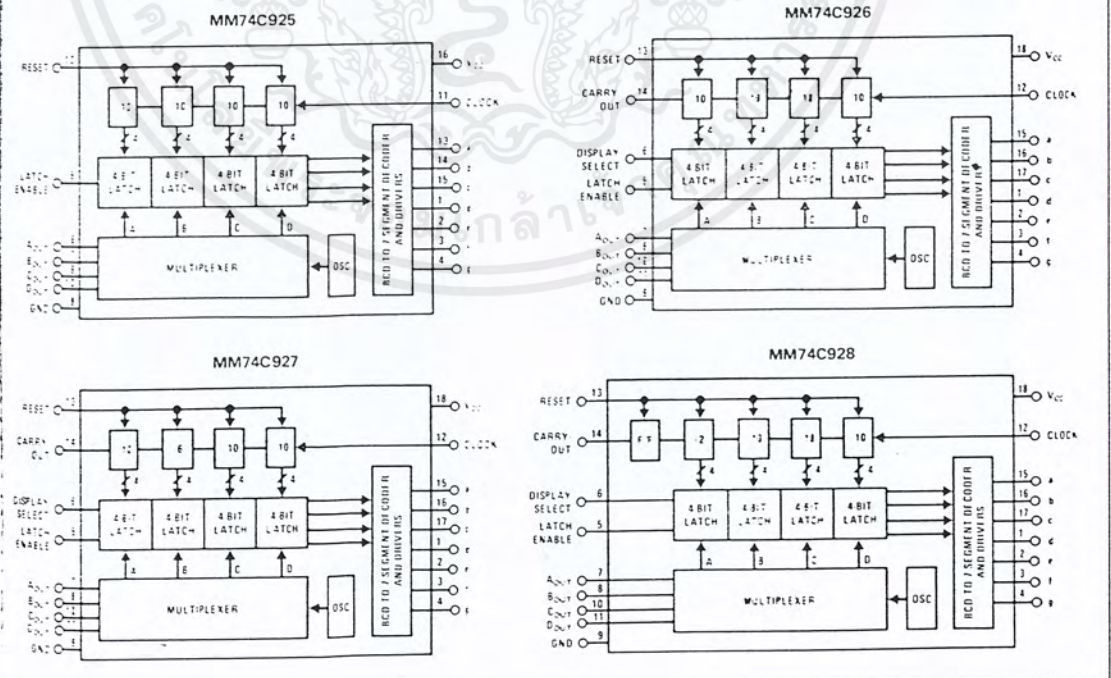
PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS	
f_{CLK}	Maximum Clock Frequency	$V_{CC} = 5.0\text{V}$, Square Wave Clock	$T_j = 25^\circ\text{C}$ $T_j = 100^\circ\text{C}$	2 1.5	4 3	MHz MHz
$t_{r,f}$	Maximum Clock Rise or Fall Time	$V_{CC} = 5.0\text{V}$			15	μs
$t_{W,R}$	Reset Pulse Width	$V_{CC} = 5.0\text{V}$	$T_j = 25^\circ\text{C}$ $T_j = 100^\circ\text{C}$	250 320	100 125	ns ns
$t_{W,LE}$	Latch Enable Pulse Width	$V_{CC} = 5.0\text{V}$	$T_j = 25^\circ\text{C}$ $T_j = 100^\circ\text{C}$	250 320	100 125	ns ns
$t_{SET-CLK,LE}$	Clock to Latch Enable Set-Up Time	$V_{CC} = 5.0\text{V}$	$T_j = 25^\circ\text{C}$ $T_j = 100^\circ\text{C}$	2500 3200	1250 1600	ns ns
t_{LH}	Latch Enable to Reset Wait Time	$V_{CC} = 5.0\text{V}$	$T_j = 25^\circ\text{C}$ $T_j = 100^\circ\text{C}$	0 0	-100 -100	ns ns
t_{SET-LE}	Reset to Latch Enable Set-Up Time	$V_{CC} = 5.0\text{V}$	$T_j = 25^\circ\text{C}$ $T_j = 100^\circ\text{C}$	320 -100	160 200	ns ns
f_{MUX}	Multiplexing Output Frequency	$V_{CC} = 5.0\text{V}$			1000	Hz
C_{IN}	Input Capacitance	Any Input (Note 2)			5	pF

Typical Performance Characteristics



Note. V_D = Voltage across digit driver.

Logic and Block Diagrams

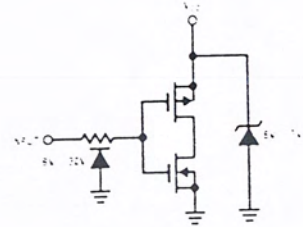


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

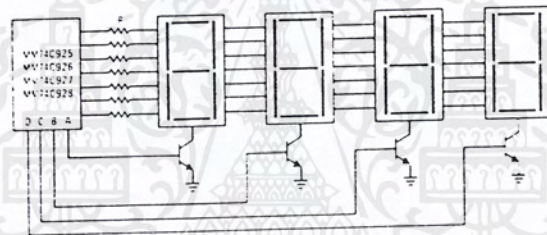
Segment Output Driver



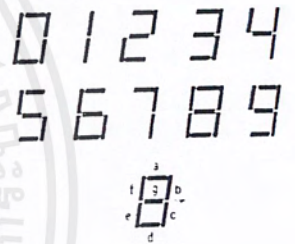
Input Protection



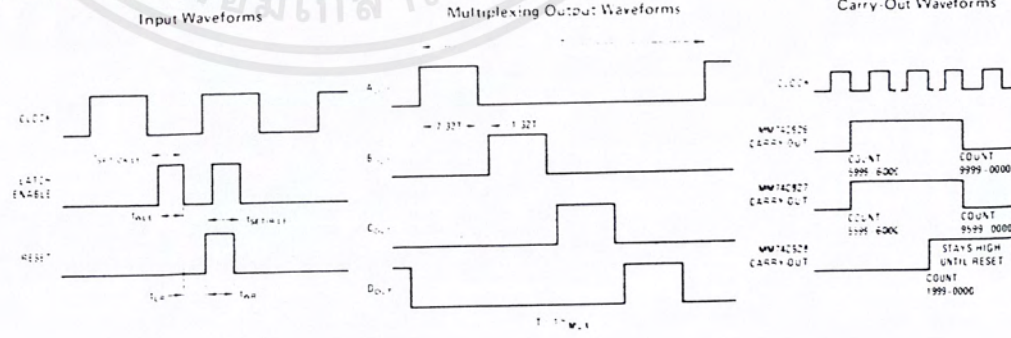
Common Cathode LED Display



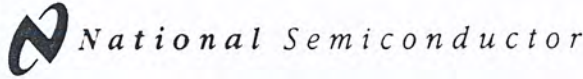
Segment Identification



Switching Time Waveforms



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



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.

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

Features

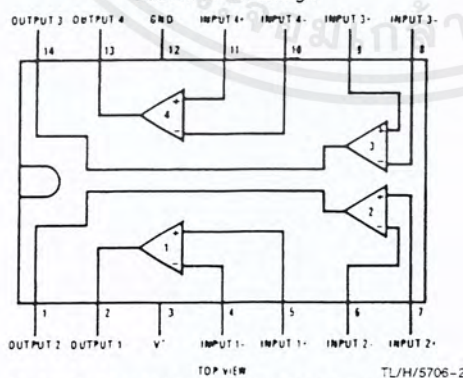
- Wide supply voltage range
 - LM139 series, $2 V_{DC}$ to $36 V_{DC}$ or $\pm 1 V_{DC}$ to $\pm 18 V_{DC}$
 - LM139A series, LM2901 $2 V_{DC}$ to $28 V_{DC}$ or $\pm 1 V_{DC}$ to $\pm 14 V_{DC}$
 - LM3302
- Very low supply current drain (0.8 mA) — independent of supply voltage
- Low input biasing current 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

Advantages

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

Connection Diagrams

Dual-In-Line Package



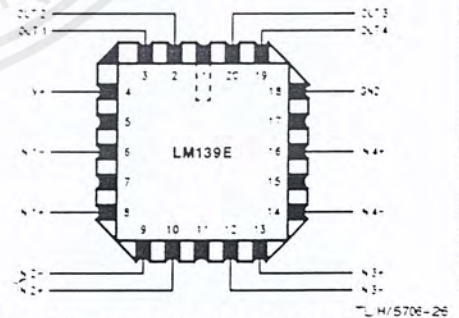
Order Number LM139J, LM139J/883*, LM139AJ, LM139AJ/883**, LM239J, LM239AJ, LM339J, See NS Package Number J14A

Order Number LM339AM, LM339M or LM2901M See NS Package Number M14A

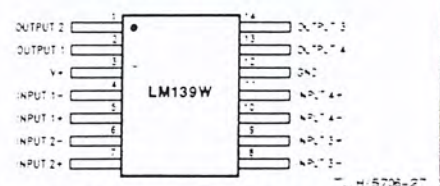
Order Number LM339N, LM339AN, LM2901N or LM3302N See NS Package Number N14A

*Available per LM38510/11201

**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)

Parameter	LM139/LM239/LM339 LM139A/LM239A/LM339A LM2901	LM3302	LM139/LM239/LM339 LM139A/LM239A/LM339A LM2901	LM3302
Supply Voltage, V^+	$36 V_{DC}$ or $1.8 V_{DC}$	$24 V_{DC}$ or $1.4 V_{DC}$	Operating Temperature Range LM339/LM339A LM239/LM239A LM2901 LM139/LM139A	LM3302 LM139A/LM239A/LM339A LM2901
Differential Input Voltage (Note 8)	$36 V_{DC}$	$24 V_{DC}$ or $1.8 V_{DC}$	0°C to 170°C 25°C to 185°C 40°C to 185°C 55°C to 125°C	40°C to 185°C
Input Voltage	$0.3 V_{DC}$ to $1.36 V_{DC}$	$0.3 V_{DC}$ to $1.28 V_{DC}$		
Input Current ($V_{IN} = 0.3 V_{DC}$) (Note 3)	50 mA	50 mA		
Power Dissipation (Note 1)	1050 mW	1050 mW	Soldering Information	260°C
Molded DIP	1190 mW	1190 mW	Dual-In-Line Package	215°C
Cavity DIP	760 mW	760 mW	Soldering (10 seconds)	220°C
Small Outline Package			Small Outline Package	
Output Short-Circuit to GND, (Note 2)	Continuous	Continuous	Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Storage Temperature Range	-65°C to 150°C	-65°C to 150°C	Infrared (15 seconds)	220°C
Load Temperature	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
(Soldering, 10 seconds)			ESD rating (1.5 k Ω in series with 100 pF)	600V

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

Parameter	Conditions	LM139A			LM239A, LM339A			LM139			LM239, LM339			LM2901			LM3302			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage (Note 9)		1.0	2.0	2.0	1.0	2.0	2.0	2.0	5.0	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	25	250	25	100	25	25	250	25	250	25	250	25	500		nA _{DC}	
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$, $V_{CM} = 0V$	3.0	25	5.0	5.0	50	5.0	25	3.0	25	5.0	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	$V^+ - 1.5$	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	1.0	2.5	0.8	2.0	1.0	2.5	0.8	2.0	0.8	2.0	0.8	2.0		mA _{DC}	
Voltage Gain	$R_L = 15 k\Omega$, $V^+ = 15 V_{DC}$, $V_O = 1 V_{DC}$ to $11 V_{DC}$	50	200	50	200	50	200	50	200	50	200	50	200	25	100	2	30		V/mV	
Large Signal Response Time	V_{IN} TTL Logic Swing, $V_{OUT} = 1.4 V_{DC}$, $V_{TH} = 5 V_{DC}$, $R_L = 5.1 k\Omega$	300		300		300		300		300		300		300		300			ns	
Response Time	$V_{TH} = 5 V_{DC}$, $R_L = 5.1 k\Omega$, (Note 7)	1.3		1.3		1.3		1.3		1.3		1.3		1.3		1.3			μs	
Output Sink Current	$V_{IN} = 1 V_{DC}$, $V_{OUT} = 0$, $V_O = 1.5 V_{DC}$	6.0	16	6.0	16	6.0	16	6.0	16	6.0	16	6.0	16	6.0	16	6.0	16		mA _{DC}	

Electrical Characteristics (V_I = 5 V_{DC}, T_A = 25°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} = 4 mA	250	400	400	250	400	250	400	250	400	250	400	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		0.1		0.1	nA _{DC}

Electrical Characteristics (V_I = 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	
Input Offset Voltage	(Note 9)	4.0		4.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	15	15	40	40	mV _{DC}
Input Offset Current	I _{IN(+)} = I _{IN(-)} ; V _{CM} = 0V	100		150	100	100	100	150	150	200	200	300	300	nA _{DC}
Input Bias Current	I _{IN(+)} or I _{IN(-)} with Output in Linear Range, V _{CM} = 0V (Note 5)	300		400	300	300	300	400	400	500	500	1000	1000	nA _{DC}
Input Common-Mode Voltage Range	V _I = 30 V _{DC} (LM3302, V _I = 28 V _{DC}) (Note 6)	0	V _I - 2.0	0	V _I - 2.0	0	V _I - 2.0	0	V _I - 2.0	0	V _I - 2.0	0	V _I - 2.0	V _{DC}
Saturation Voltage	V _{IN(-)} = 1 V _{DC} ; V _{IN(+)} = 0; I _{SINK} = 4 mA	700		700	700	700	700	700	700	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	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	μA _{DC}
Differential Input Voltage	Keep all V _{IN} 's < 0 V _I K; (or V _I if used), (Note 8)	36		36	36	36	36	36	36	36	36	36	28	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" characteristics of the outputs keep the chip dissipation very small (I₁ = 100 nW), provided the output transistors are allowed to saturate.

Note 2: Heat currents from the output to V_I can cause excessive heating and eventual destruction. When connecting input circuits to ground, the maximum output current is approximately 20 mA independent of the magnitude of V_I.

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 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_IK; (at 25°C).

Note 4: These specifications are limited to 0°C; T_A = 125°C, for the LM139/LM139A, LM2901, LM3302, and 40°C; T_A = 105°C, for the LM239/LM239A, LM339, LM339A temperature specifications are limited to 25°C; T_A = 105°C, for the LM139/LM139A temperature specifications.

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 other 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_I - 1.5V at 25°C, but either or both inputs can go to 0.30 V_IK; without damage (25V for LM3302), independent of the magnitude of V_I.

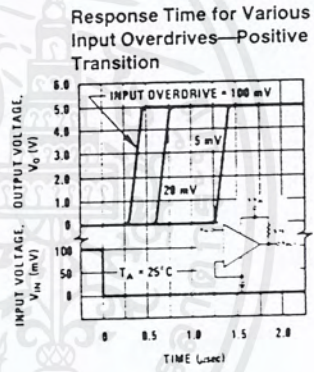
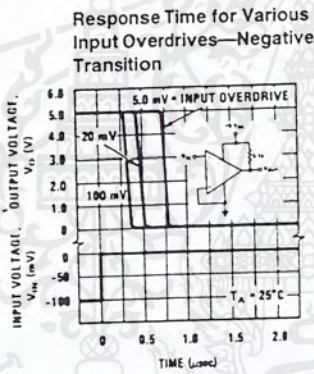
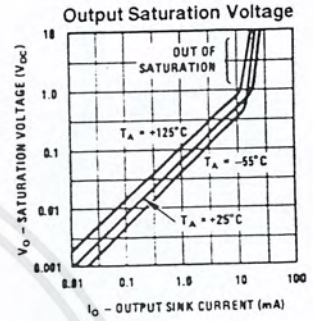
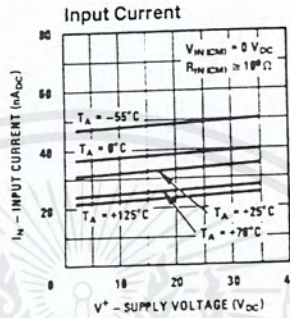
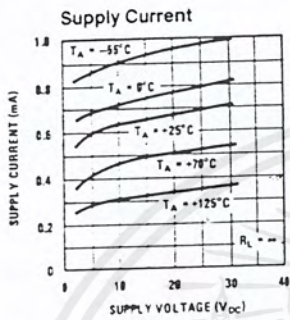
Note 7: The response time specified is a 100 mV input step with 5 mV overdrive. For longer overdrive signals, 300 ns can be obtained, see typical performance characteristics section.

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_IK; for 0.3 V_IK; below the magnitude of the negative power supply, if used) (at 25°C).

Note 9: At output switch point, V_O = 1.4 V_{DC}; R_S = 01 with V_I from 5 V_IK; to 30 V_IK; and over the full input common-mode range (0 V_IK; to V_I - 1.5 V_IK; at 25°C. For LM3302, V_I from 5 V_IK; to 28 V_IK; at 25°C.

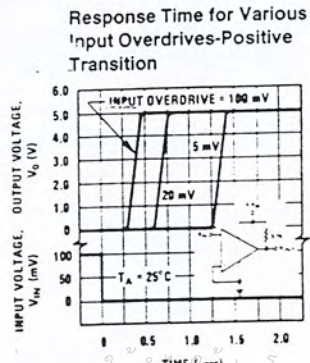
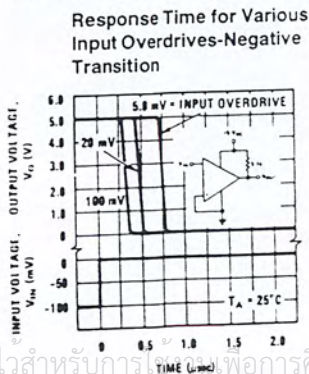
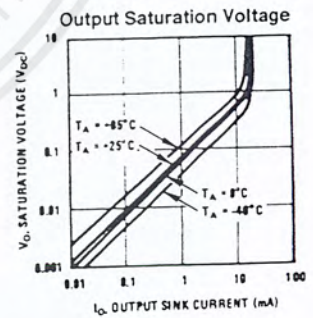
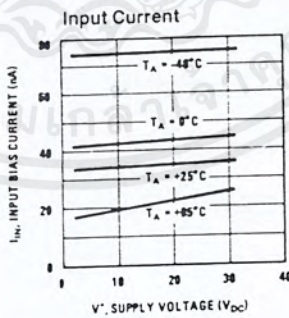
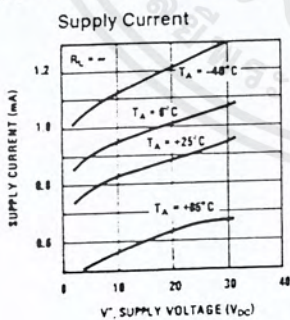
Note 10: Refer to RETS139AX for LM139A military specifications and to RETS139X for LM139 military specifications.

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



TL/H/5706-6

Typical Performance Characteristics LM2901



TL/H/5706-7

Application Hints

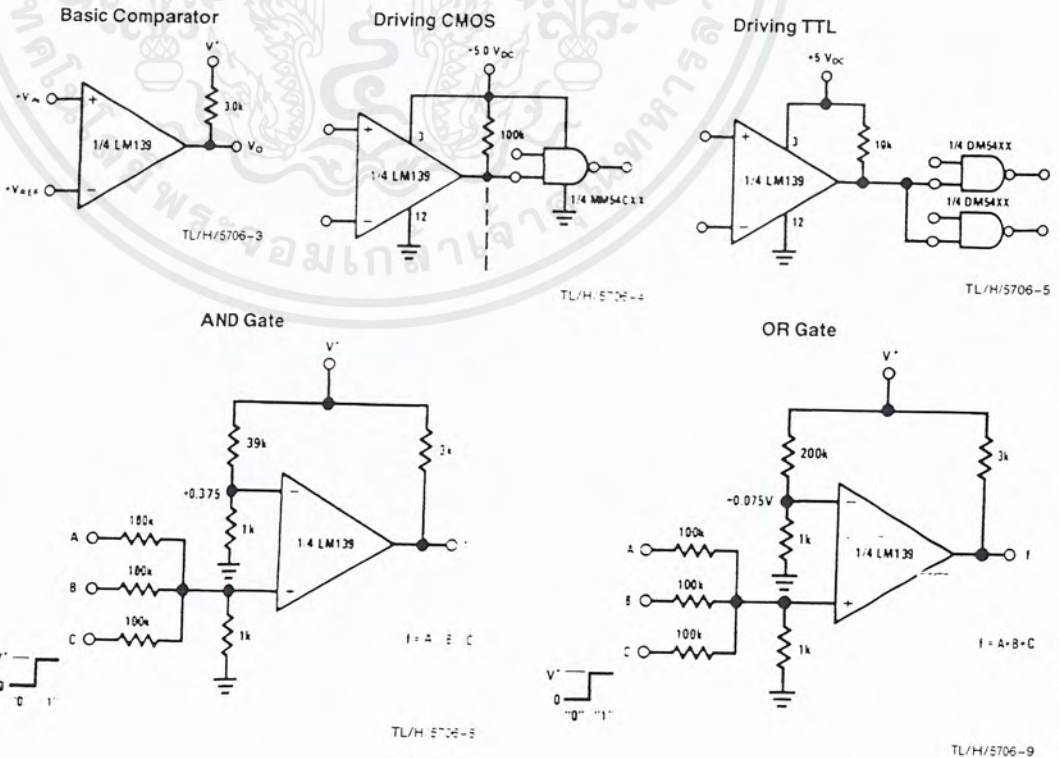
The LM139 series are high gain, wide bandwidth devices which, like most comparators, can easily oscillate if the output lead is inadvertently allowed to capacitively couple to the inputs via stray capacitance. This shows up only during the output voltage transition intervals as the comparator changes 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.

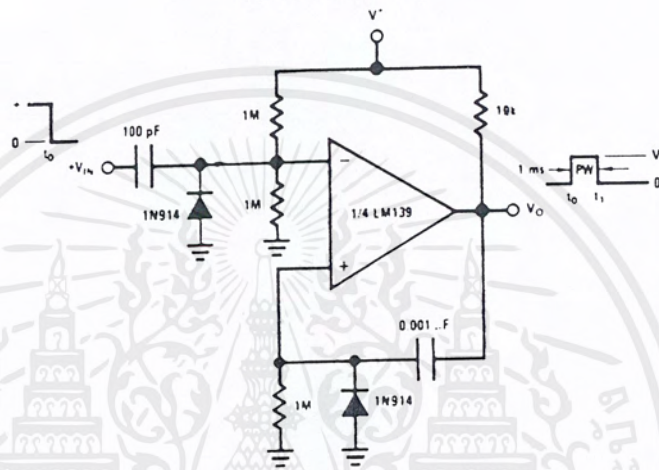
The output of the LM139 series is the uncommitted collector of a grounded-emitter NPN output transistor. Many collectors can be tied together to provide an output OR'ing function. An output pull-up resistor can be connected to any available power supply voltage within the permitted supply voltage range 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 ($V^+ = 5.0\text{ V}_{\text{DC}}$)



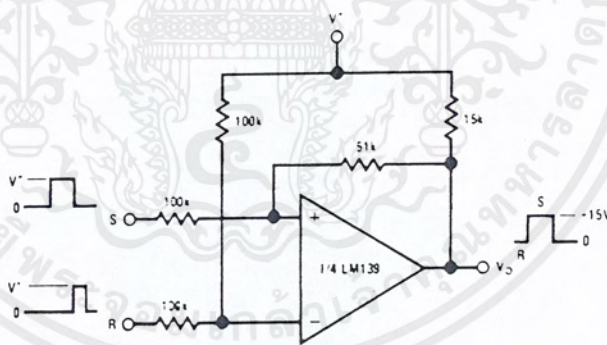
Typical Applications ($V^+ = 15\text{ V}_{DC}$) (Continued)

One-Shot Multivibrator



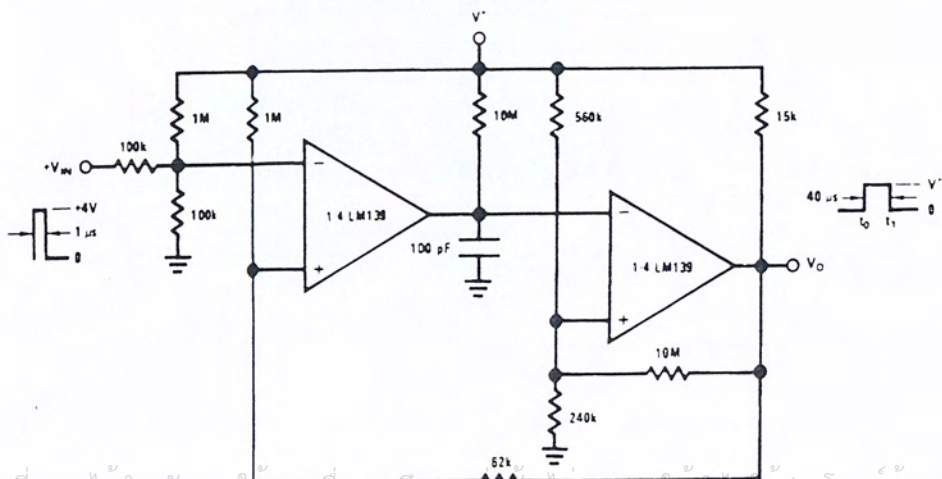
TL/H/5706-1C

Bi-Stable Multivibrator



TL/H/5706-11

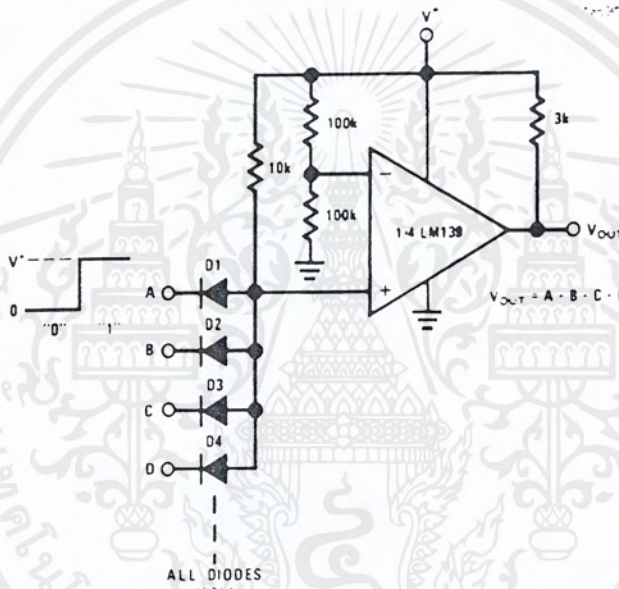
One-Shot Multivibrator with Input Lock Out



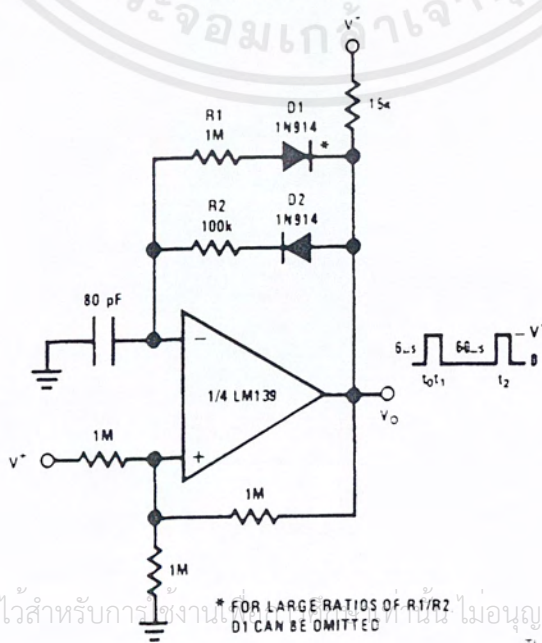
TL/H/5706-12

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

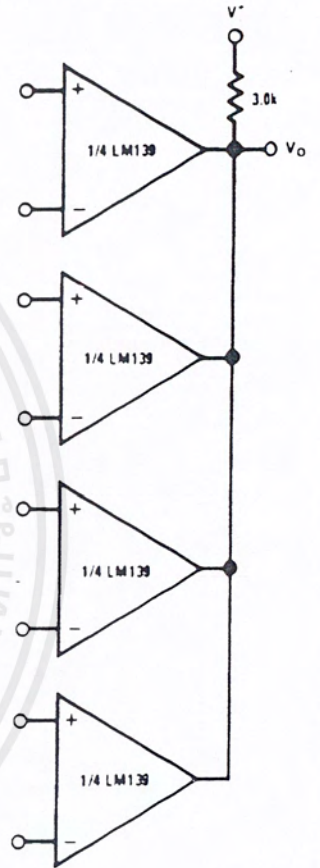
Large Fan-In AND Gate



Pulse Generator



ORing the Outputs

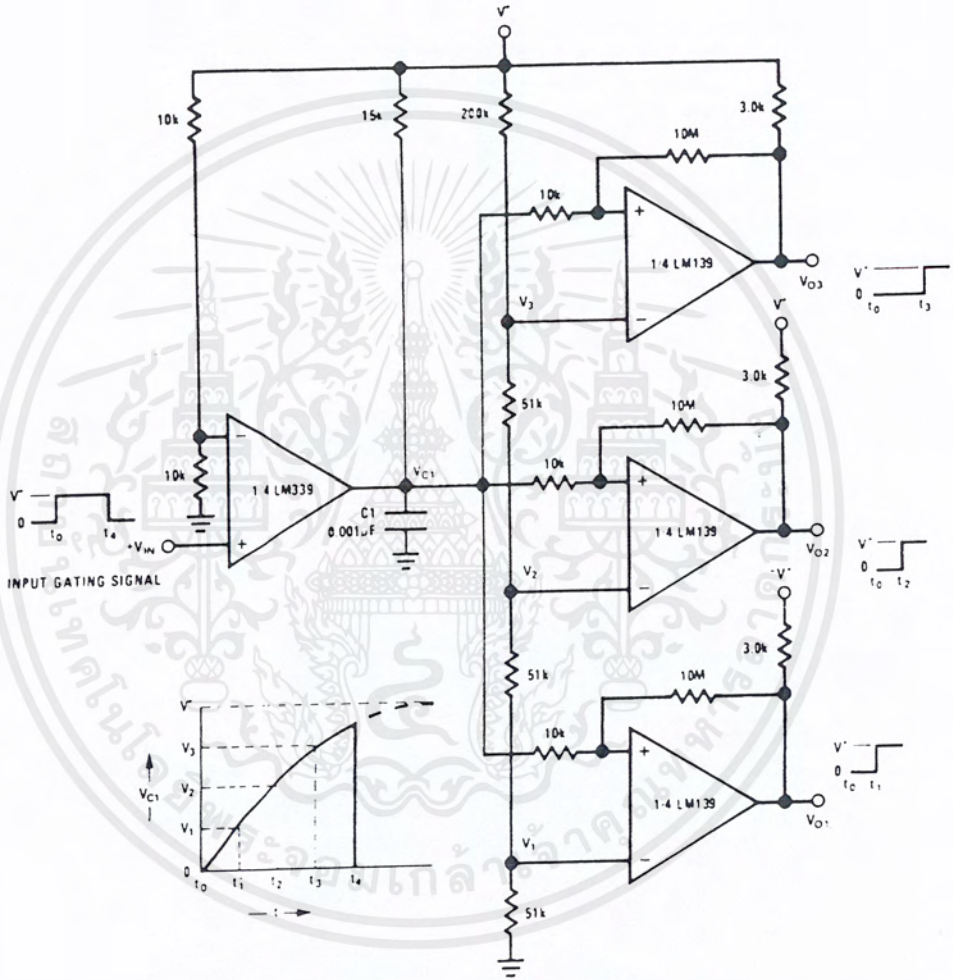


TL/H/5706-15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในร่มเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

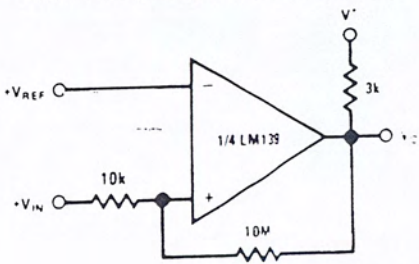
Typical Applications ($V^- = 15\text{ V}_{DC}$) (Continued)

Time Delay Generator



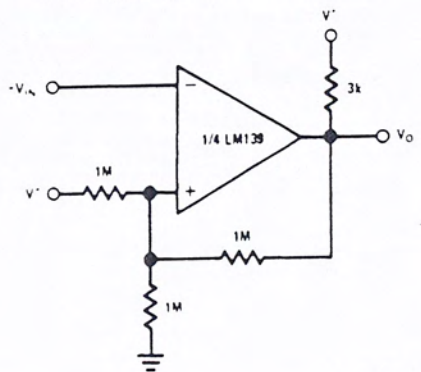
TL/H 5706-14

Non-Inverting Comparator with Hysteresis



TL/H 5706-18

Inverting Comparator with Hysteresis

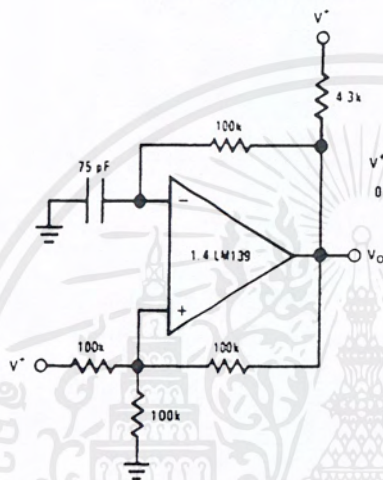


TL/H 5706-19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

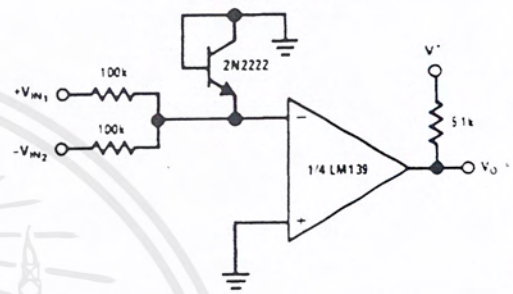
Typical Applications ($V^- = 15 V_{DC}$) (Continued)

Squarewave Oscillator



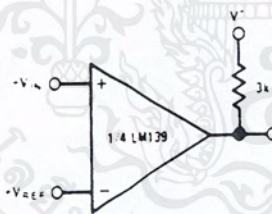
TL/H-5726-16

Comparing Input Voltages of Opposite Polarity



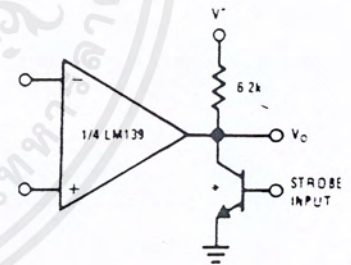
TL/H-5726-20

Basic Comparator



TL/H-5726-21

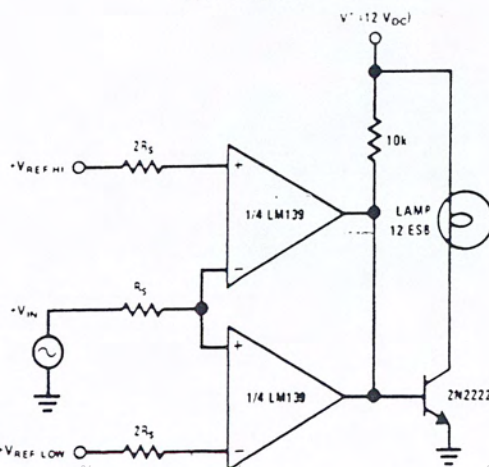
Output Strobing



TL/H-5726-22

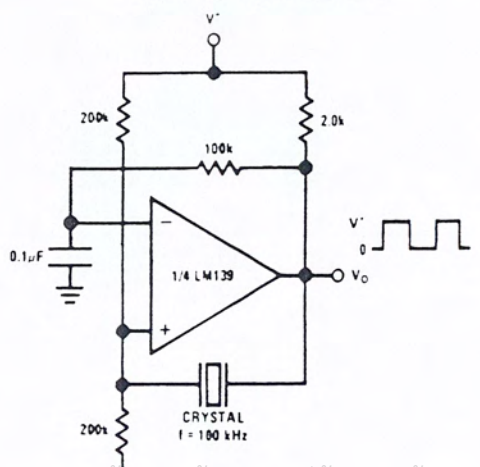
*Or open-collector logic gate without pull-up resistor

Limit Comparator



TL/H-5726-24

Crystal Controlled Oscillator

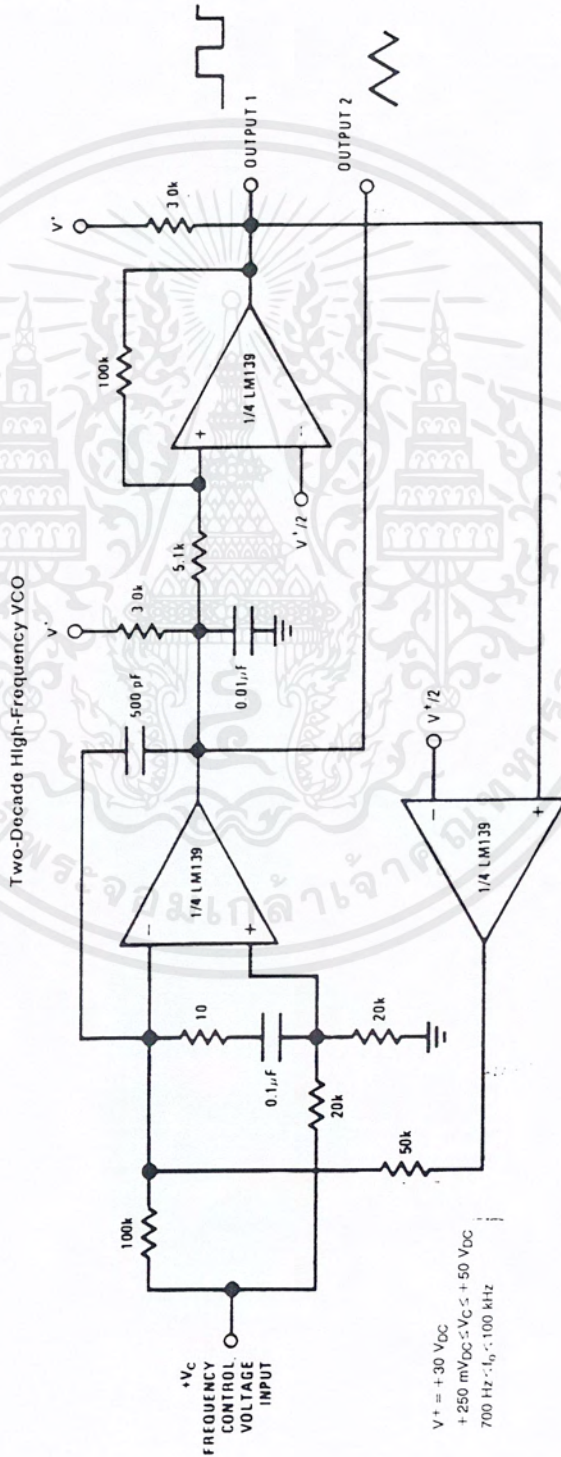


TL/H-5726-25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

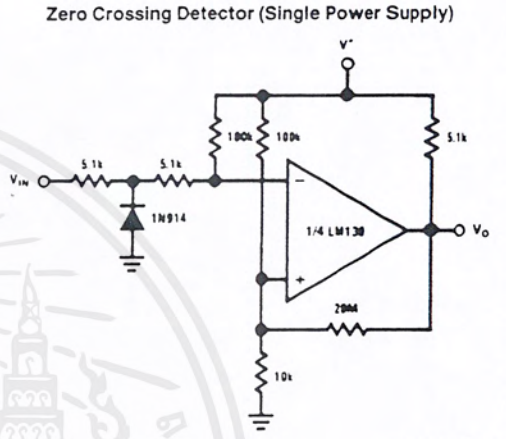
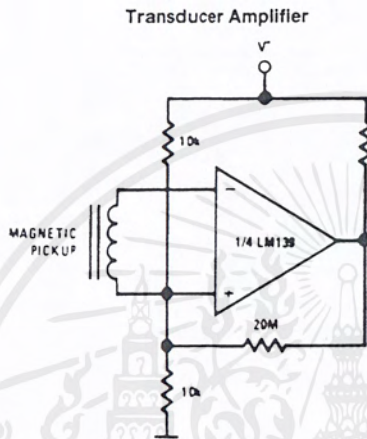
Typical Applications ($V^- = 15 V_{DC}$) (Continued)

23-90257/H/TL



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

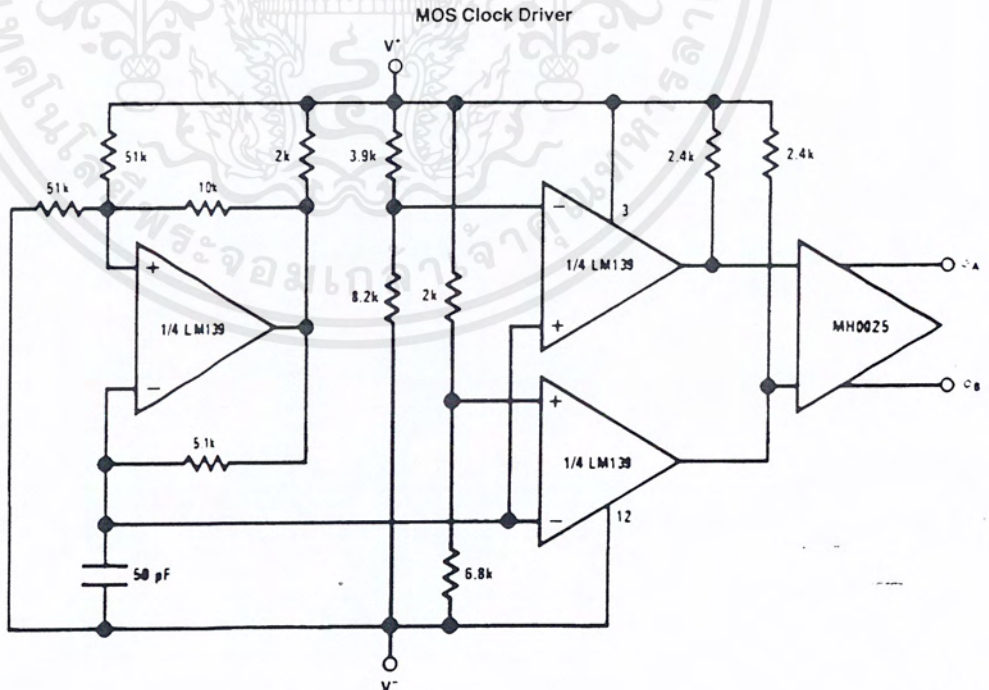
Typical Applications ($V^+ = 5 V_{DC}$) (Continued)



TL/H/5706-28

TL/H/5706-30

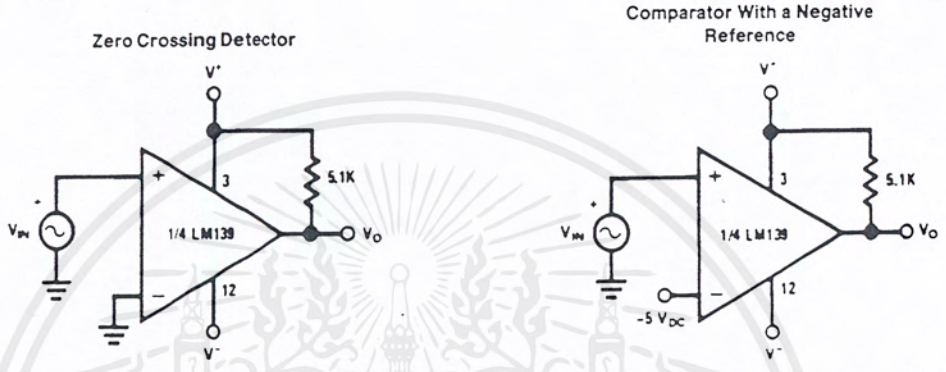
Split-Supply Applications ($V^+ = +15 V_{DC}$ and $V^- = -15 V_{DC}$)



TL/H/5706-31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

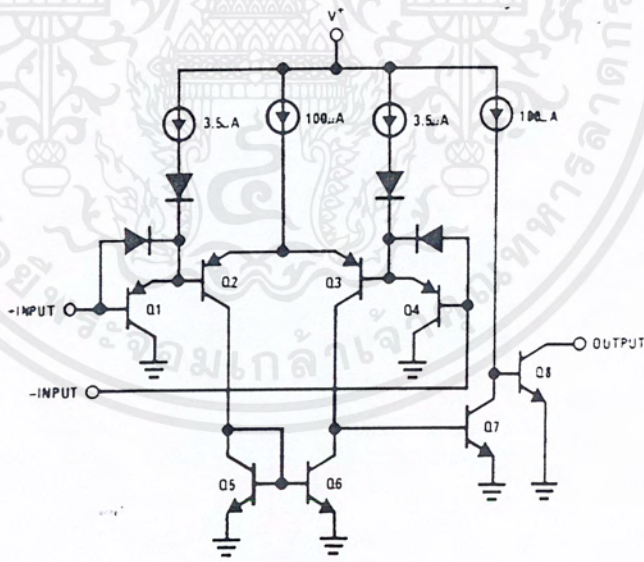
Split-Supply Applications ($V^+ = -15 V_{DC}$ and $V^- = -15 V_{DC}$) (Continued)



TL/H/5706-32

TL/H 5706-33

Schematic Diagram



TL/H 5706-1

GL380/GL381

High Output, ϕ 3mm Resin Mold Type Infrared Emitting Diode

■ Features

- High output
(I_E : MIN. 4.5mW/sr at $I_F = 50\text{mA}$, GL380)
(I_E : MIN. 8.5mW/sr at $I_F = 50\text{mA}$, GL381)
- Compact ϕ 3mm resin mold package
- Narrow beam angle ($\Delta\theta$: TYP. $\pm 13^\circ$)

■ Applications

- Floppy disk drives
- Optoelectronic switches
- Infrared applied systems

■ Absolute Maximum Ratings (Ta = 25°C)

Parameter	Symbol	Rating	Unit
Forward current	I_F	60	mA
*1 Peak forward current	I_{FM}	1	A
Reverse voltage	V_R	6	V
Power dissipation	P	150	mW
Operating temperature	T_{opr}	- 25 to + 85	°C
Storage temperature	T_{stg}	- 40 to + 85	°C
*2 Soldering temperature	T_{sol}	260	°C

*1 Pulse width $\leq 100\mu\text{s}$, Duty ratio = 0.01

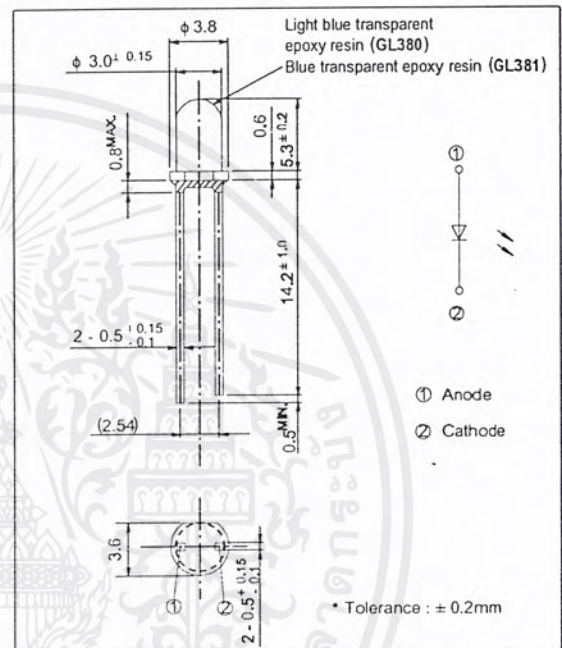
*2 For 3 seconds at the position of 2.6mm from the bottom face of resin package.

■ Electro-optical Characteristics (Ta = 25°C)

Parameter	Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit
Forward voltage	V_F	$I_F = 50\text{mA}$	-	1.3	1.5	V
Peak forward voltage	V_{FM}	$I_{FM} = 0.5\text{A}$	-	2.2	3.5	V
Reverse current	I_R	$V_R = 3\text{V}$	-	-	10	μA
*3 Radiant intensity	GL380	$I_F = 50\text{mA}$	4.5	11	-	mW/sr
	GL381		8.5	20	-	
Peak emission wavelength	λ_p	$I_F = 5\text{mA}$	-	950	-	nm
Half intensity wavelength	$\Delta\lambda$	$I_F = 5\text{mA}$	-	45	-	nm
Terminal capacitance	C_t	$V_R = 0, f = 1\text{MHz}$	-	70	-	pF
Response frequency	f_c		-	300	-	kHz
Half intensity angle	$\Delta\theta$	$I_F = 20\text{mA}$	-	± 13	-	°

*3 I_E : Value obtained by converting the value in power of radiant fluxes at the solid angle of 0.01 sr (steradian) the direction of mechanical axis of the the lens portion into 1 sr of all those emitted from the light emitting diode.

■ Outline Dimensions (Unit : mm)



In the absence of confirmation by device specification sheets, SHARP takes no responsibility for any defects that occur in equipment using any of SHARP's devices, shown in catalogs, data books, etc. Contact SHARP in order to obtain the latest version of the device specification sheets before using any SHARP's device.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig. 1 Forward Current vs. Ambient Temperature

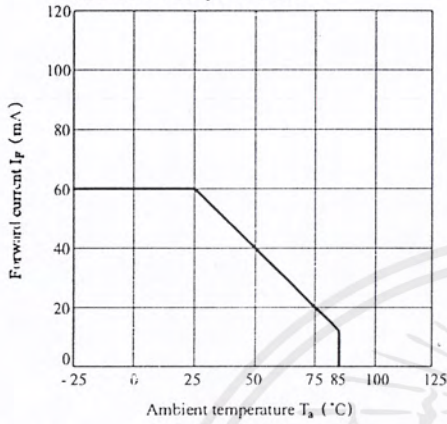


Fig. 2 Peak Forward Current vs. Duty Ratio

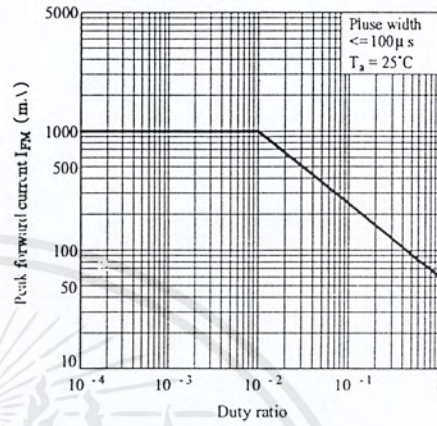


Fig. 3 Spectral Distribution

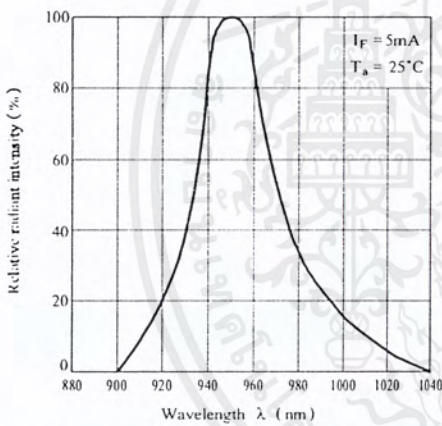


Fig. 4 Peak Emission Wavelength vs. Ambient Temperature

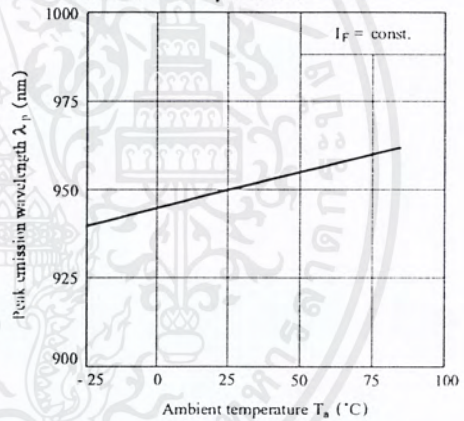


Fig. 5 Forward Current vs. Forward Voltage

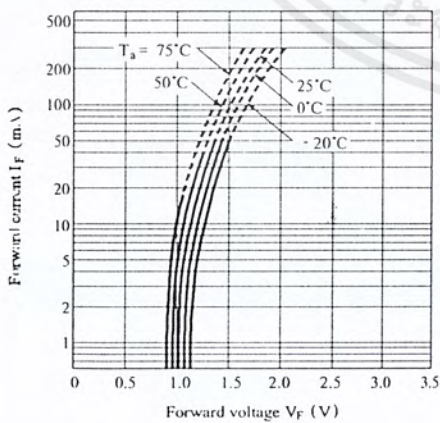
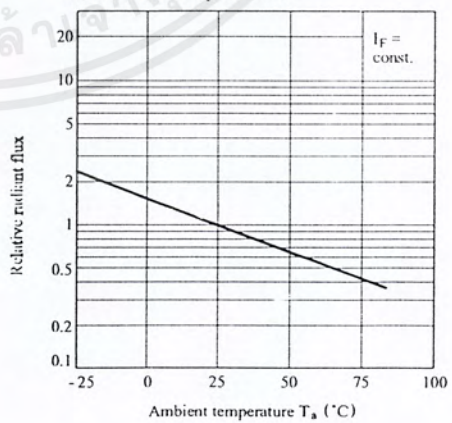


Fig. 6 Relative Radiant Flux vs. Ambient Temperature



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig. 7 Radiant Intensity vs. Forward Current

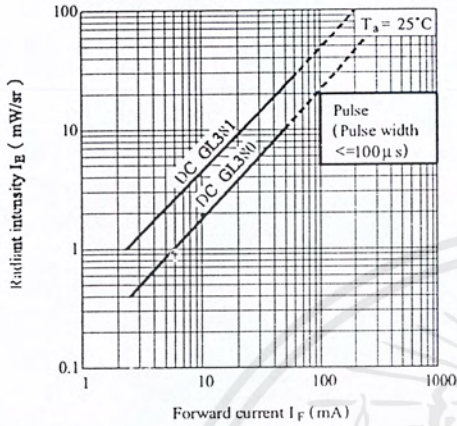


Fig. 8 Relative Collector Current vs. Distance

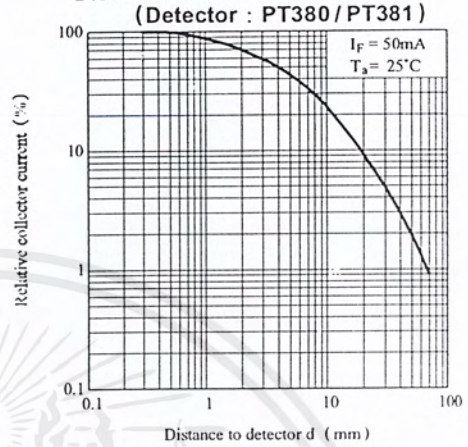
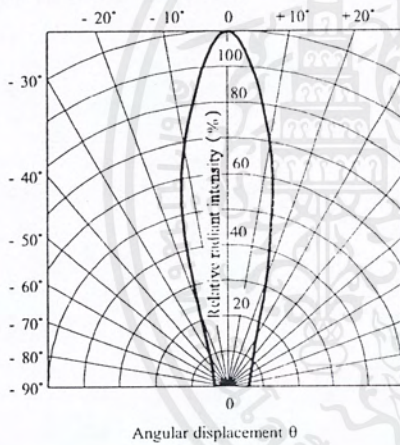


Fig. 9 Radiation Diagram



● Please refer to the chapter "Precautions for Use"

PT380/PT380F PT381/PT381F

High Sensitivity, ϕ 3mm Resin Mold Type Phototransistor

■ Features

1. High sensitivity
(I_c : MIN.160 μ A at $E_v = 100lx$, **PT380**)
(I_c : MIN.120 μ A at $E_v = 2lx$, **PT381**)
2. Compact ϕ 3mm resin mold package
3. Intermediate acceptance ($\Delta\theta$: TYP. $\pm 20^\circ$)
4. Visible light cut-off type : **PT380F / PT381F**

■ Model Line-ups

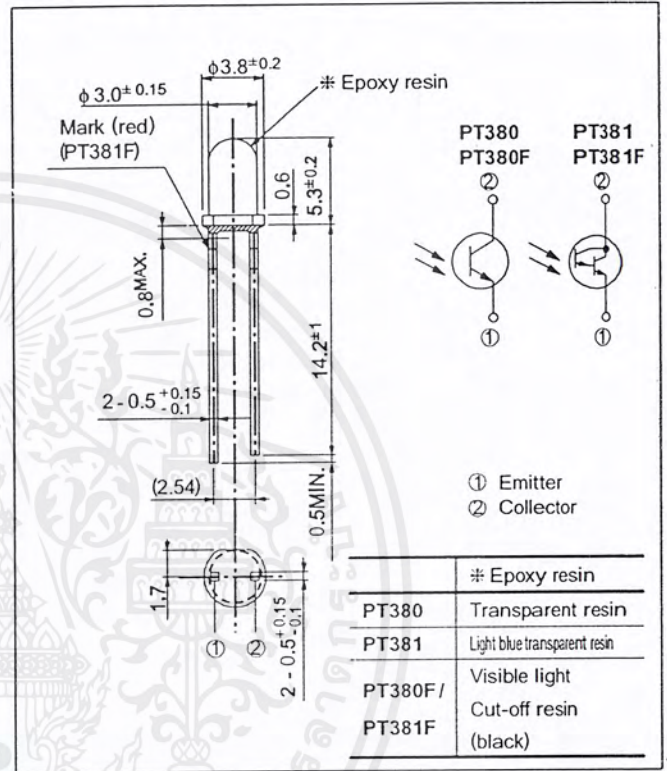
	Single photo-transistor output	Darlington photo-transistor output
No visible light cut-off filter	PT380	PT381
Built-in visible light cut-off filter	PT380F	PT381F

■ Applications

1. Floppy disk drives
2. Optoelectronic switches
3. Infrared applied systems

■ Outline Dimensions

(Unit : mm)



■ Absolute Maximum Ratings

($T_a = 25^\circ C$)

Parameter	Symbol	Rating	Unit
Collector-emitter voltage	V_{CEO}	35	V
Emitter-collector voltage	V_{ECO}	6	V
Collector current	I_c	20	mA
Collector power dissipation	P_c	50	mW
Operating temperature	T_{opr}	- 25 to + 85	$^\circ C$
Storage temperature	T_{stg}	- 40 to + 85	$^\circ C$
*1 Soldering temperature	T_{sol}	260	$^\circ C$

*1 For 3 seconds at the position of 1.4mm from the bottom face of resin package

* In the absence of confirmation by device specification sheets, SHARP takes no responsibility for any defects that occur in equipment using any of SHARP's devices, shown in catalogs, data books, etc. Contact SHARP in order to obtain the latest version of the device specification sheets before using any SHARP's device.

■ Electro-optical Characteristics

(Ta = 25°C)

Parameter		Symbol	Conditions	MIN.	TYP.	MAX.	Unit
*2Collector current	PT380	I _C	E _v = 100lx	0.16	-	1.17	mA
	PT380F		V _{CE} = 5V	0.095	-	0.90	
	PT381		E _v = 2lx	0.12	-	1.5	
	PT381F		V _{CE} = 10V	0.07	-	1.08	
Collector dark current	PT380 / PT380F	I _{CEO}	E _e = 0, V _{CE} = 20V	-	-	0.1	μA
	PT381 / PT381F		E _e = 0, V _{CE} = 10V	-	-	1.0	
*2Collector-emitter saturation voltage	PT380 / PT380F	V _{CE(sat)}	E _e = 10mW/cm ² , I _C = 0.5mA	-	0.2	0.4	V
	PT381 / PT381F		E _e = 1mW/cm ² , I _C = 2.5mA	-	-	1.0	
Collector-emitter breakdown voltage		BV _{CEO}	I _C = 0.1mA E _e = 0	35	-	-	V
Emitter-Collector breakdown voltage		BV _{ECO}	I _C = 0.01mA E _e = 0	6	-	-	V
Peak sensitivity wavelength	PT380 / PT381	λ _p	-	-	800	-	nm
	PT380F / PT381F		-	-	860	-	
Response time	Rise time	t _r	V _{CE} = 20V, I _C = 1mA, R _L = 1kΩ	-	10	40	μs
			V _{CE} = 2V, I _C = 10mA, R _L = 100Ω	-	100	400	
	Fall time	t _f	V _{CE} = 20V, I _C = 1mA, R _L = 1kΩ	-	8	35	
			V _{CE} = 2V, I _C = 10mA, R _L = 100Ω	-	100	400	
Half intensity angle		Δθ	-	-	±20	-	°

*2 E_v, E_e : Illuminance, irradiance by CIE standard light source A (tungsten lamp)

Fig. 1 Collector Power Dissipation vs. Ambient Temperature

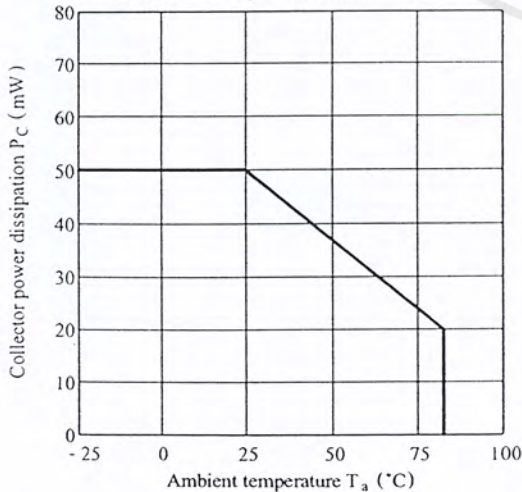


Fig. 2-a Collector Dark Current vs. Ambient Temperature (PT380/PT380F)

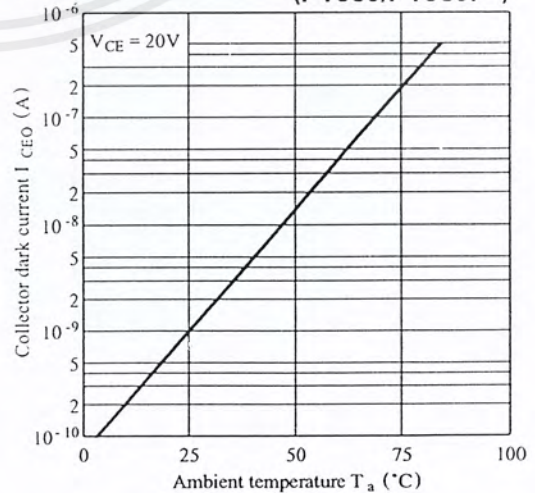


Fig. 2-b Collector Dark Current vs. Ambient Temperature (PT381/381F)

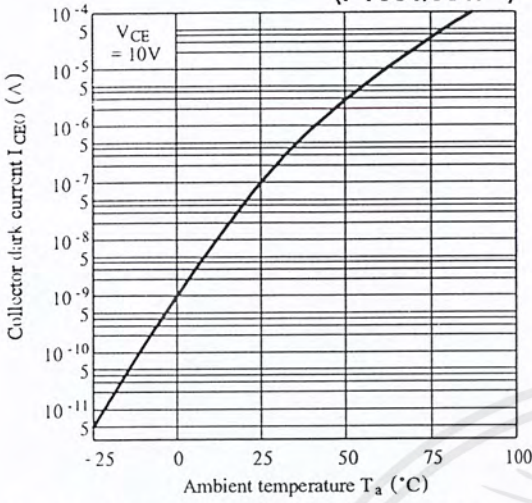


Fig. 3-a Relative Collector Current vs. Ambient Temperature (PT380/PT380F)

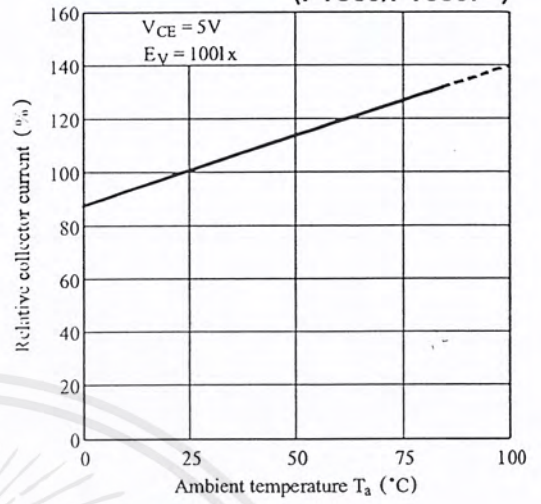


Fig. 3-b Relative Collector Current vs. Ambient Temperature (PT381/PT381F)

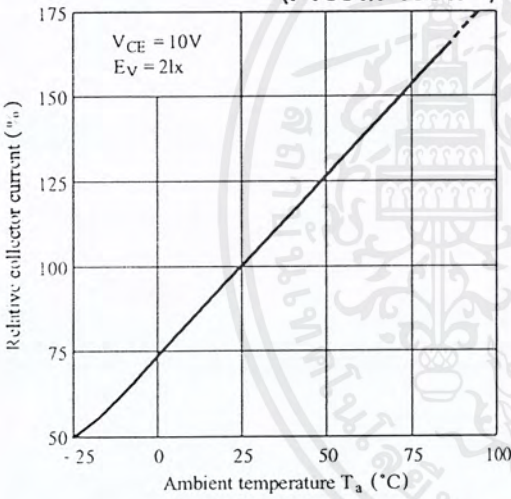


Fig. 4-a Collector Current vs. Irradiance (PT380/380F)

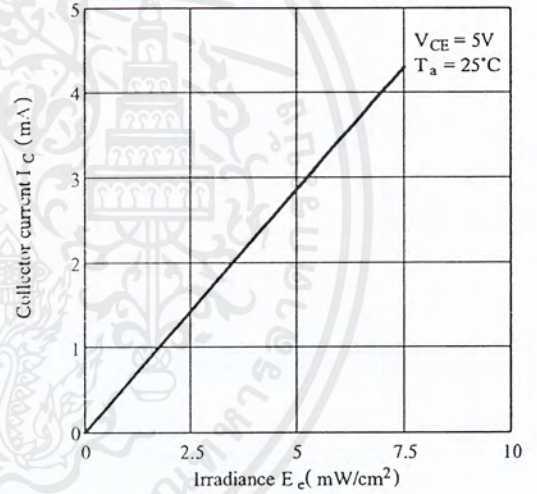


Fig. 4-b Collector Current vs. Irradiance (PT381/PT381F)

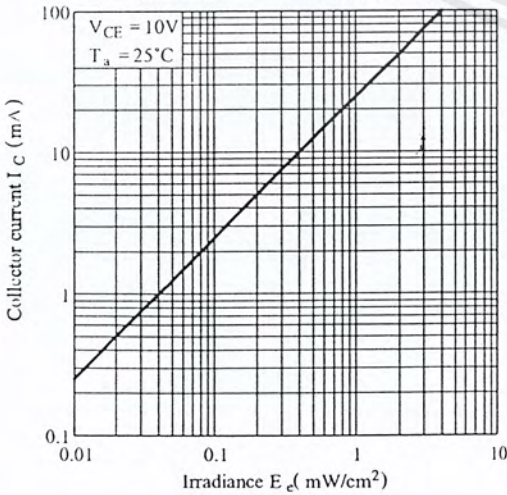


Fig. 5-a Collector Current vs. Collector-emitter Voltage (PT380/380F)

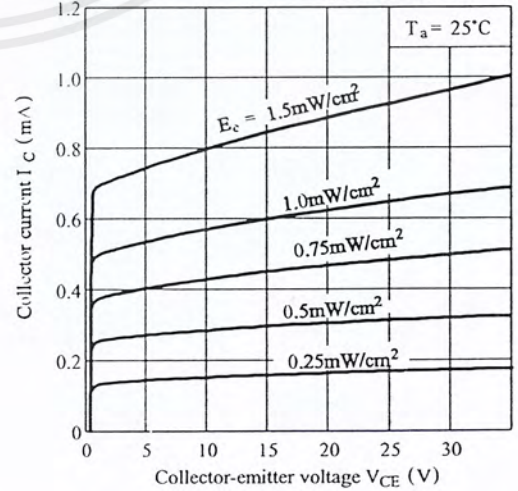


Fig. 5-b Collector Current vs. Collector-emitter Voltage (PT381/381F)

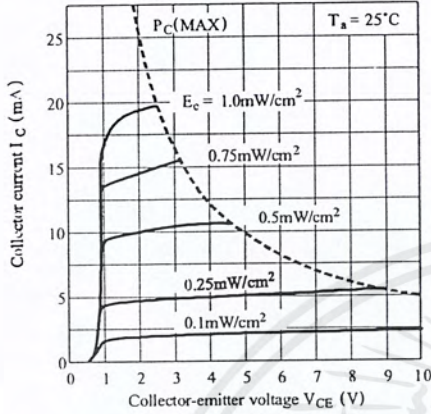


Fig. 6 Spectral Sensitivity

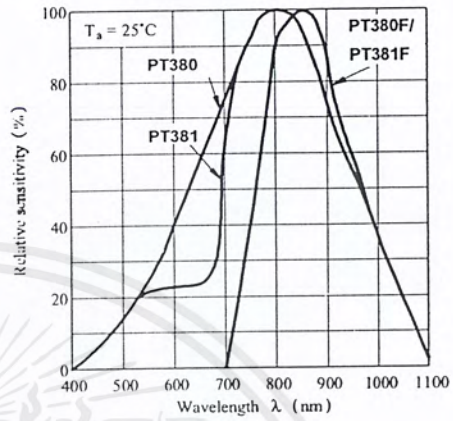
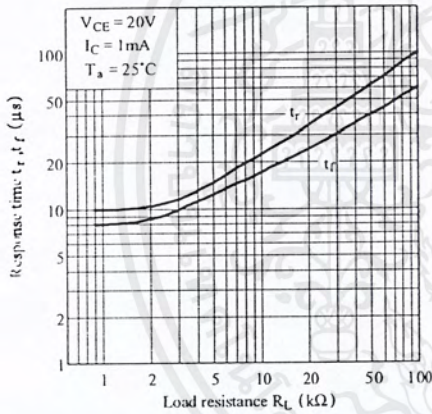


Fig. 7-a Response Time vs. Load Resistance (PT380/PT380F)



Test Circuit for Response Time

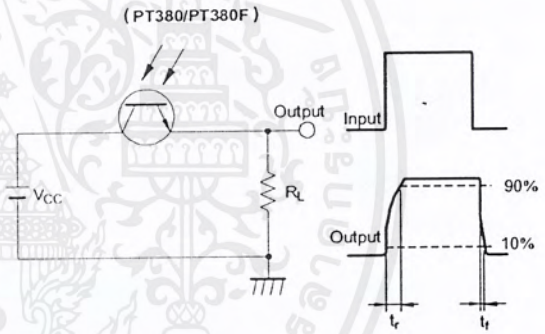
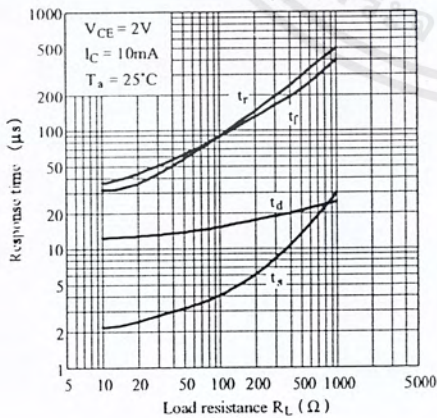
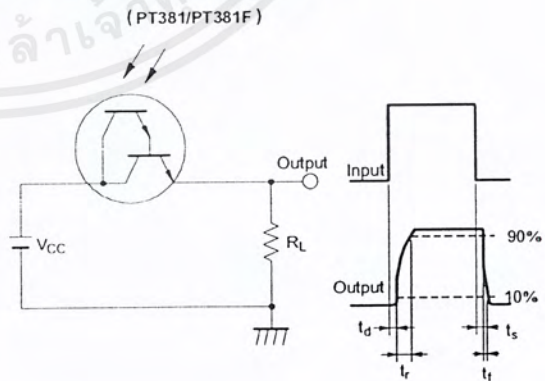


Fig. 7-b Response Time vs. Load Resistance (PT381/381F)



Test Circuit for Response Time



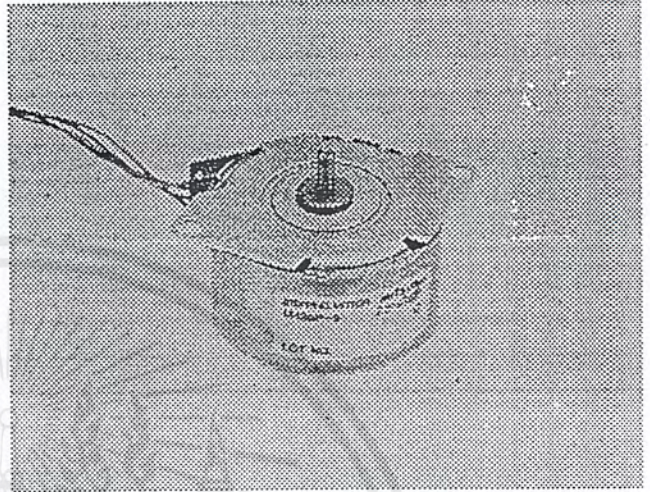
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Stepping Motors M42SP-5

OUTLINE

"M42SP-5" has acquired the highest output torque among the outer diameter 42mm model series-holding torque : 800g-cm, pull-out torque : 280g-cm/200pps, and pull-in torque : 270g-cm/200pps (12V DC).

With superior running noiselessness and other features, this model motor is the most suited to future, compact electronic equipment.



FEATURES

1. High output torque.
2. Superior running quietness and stability.
3. Step angle : 7.5°.
4. Excellent responsiveness acquired.

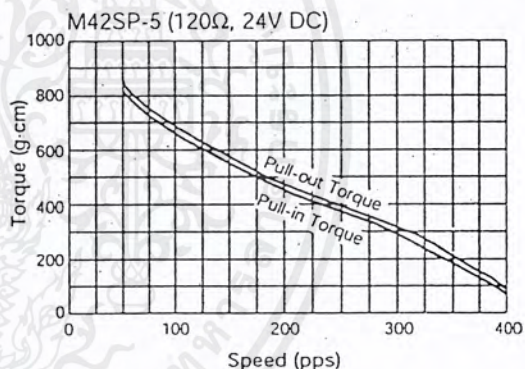
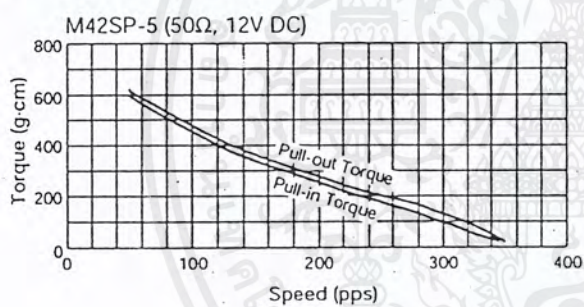
USES

Printers, typewriters, word processors, facsimiles, copy machines, and such.

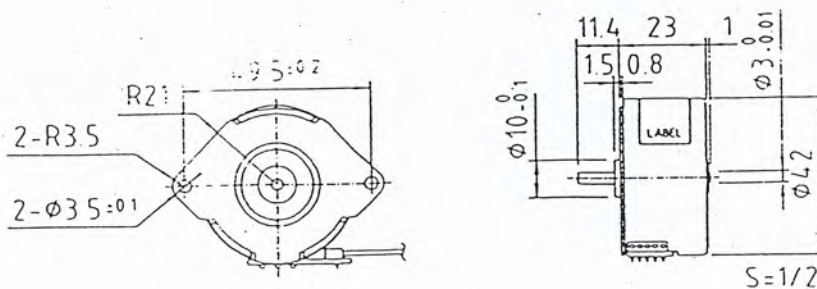
SPECIFICATIONS

Items	M42SP-5	
	DC 12V	DC 24V
Rated Voltage	DC 12V	DC 24V
Working Voltage	DC 10.8-13.2V	DC 21.6-26.4V
Rated Current/Phase	259mA	216mA
No. of Phase	4 Phase	4 Phase
Coil DC Resistance	50Ω/phase±7%	120Ω/phase±7%
Step Angle	7.5°/step	7.5°/step
Excitation Method	2-2 Phase excitation (Unipolar driving)	
Insulation Class	Class E insulation	Class E insulation
Holding Torque	800g·cm	960g·cm
Pull-out Torque	280g·cm/200pps	470g·cm/200pps
Pull-in Torque	270g·cm/200pps	465g·cm/200pps
Max. Pull-out Pulse Rate	375pps	445pps
Max. Pull-in Pulse Rate	365pps	435pps

CHARACTERISTICS



DIMENSIONS

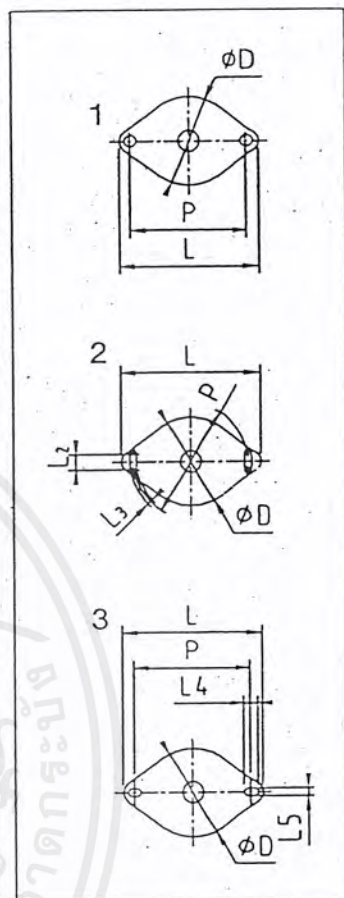


Unit : mm, General tolerance : ±0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

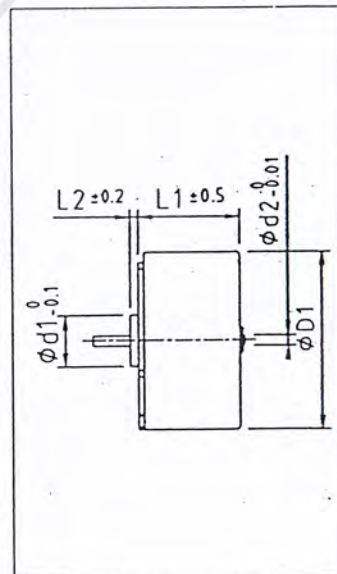
STANDARD FLANGE DIMENSIONS

Type	P	L	ØD	Mounting	Shape	Model
M12SP	16±0.1	20±0.5	12	Ø2.2 Hole	1	1N
M25SP Series	32±0.2	38±0.5	25	Ø3.2 Hole, M3Burring	1	3, 4, 5
M35SP Series	42±0.2	49.2±0.5	35	Ø3.5 Hole	1	5,6,7,8,9,10
	42±0.2	49.2±0.5	35	Ø2.75 Hole, Burring	1	5,6,7,8,9,10
	42±0.2	49.2±0.5	35	M3Burring	1	5,6,7,8,9,10
	40±0.2	47±0.5	35	M2.6Burring	1	5,6,7,8,9,10
M42SP Series	42±0.2	50±0.5	35	Long hole L ₂ =6.5 L ₃ =3.3	2	5,6,7,8,9,10
	49.5±0.2	56.5±0.5	42	Ø3.5 Hole	1	5, 6NPK
	49.5±0.2	56.5±0.5	42	Ø2.75 Hole, Burring	1	5, 6NPK
	49.5±0.2	56.5±0.5	42	M3Burring	1	5, 6NPK
	49.5±0.2	57±0.5	42	Long hole L ₂ =6.5 L ₃ =3.3	2	5, 6NPK 4NPK
M49SP Series	49.5±0.2	56.7±0.5	42	Ø3.5 Hole	1	4, 7
	49.5±0.2	56.7±0.5	42	M3Burring	1	4, 7
	54.5±0.2	64±0.5	49	Long hole L ₄ =5.8 L ₅ =3.8	3	1
	56.5±0.2	64±0.5	49	M3Burring	1	1
	57.5±0.2	64±0.5	49	Ø4.0Hole	1	1
M55SP Series	59.5±0.2	68.5±0.5	49	Ø5.0Hole	1	1
	66.7±0.2	79.4±0.5	55	Ø4.3Hole	1	1
	66.7±0.2	79.4±0.5	55	Long hole L ₂ =4.6 L ₃ =4.4	2	1



STANDARD OUTER DIMENSIONS

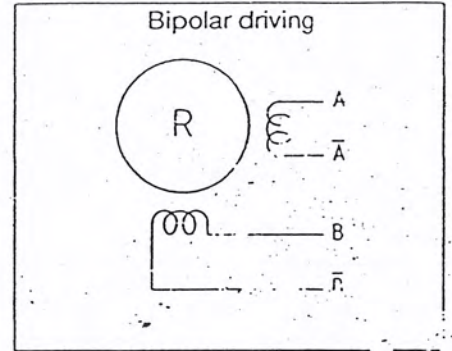
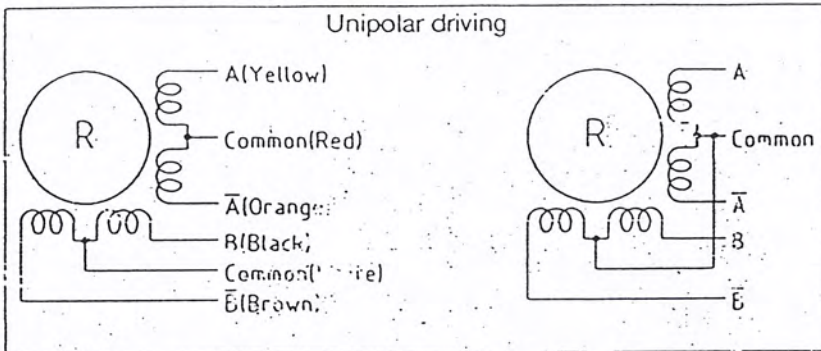
Model	ØD	Ød ₁	Ød ₂	L ₁	L ₂	Step Angle
M12SP-1N	12	5	1.5	10.4	1	18°
M25SP-3	25	7	2	15	1	7.5°
M25SP-4	25	7	2	15	1	15°
M25SP-5	25	7	2	12	1.5	7.5°
M35SP-5	35	10	2	20	1.5	7.5°
M35SP-6	35	10	2	20	1.5	15°
M35SP-7	35	10	2	15	1.5	7.5°
M35SP-8	35	10	3	21.8	1.5	7.5°
M35SP-9	35	10	2	15	1.5	7.5°
M35SP-10N	35	10	2	15	1.5	3.75°
M42SP-4	42	10	3	15.7	1.5	3.75°
M42SP-4NPK	42	10	3	17.9	1.5	3.75°
M42SP-5	42	10	3	23	1.5	7.5°
M42SP-6NPK	42	10	3	17.9	1.5	7.5°
M42SP-7	42	10	3	15.7	1.5	7.5°
M49SP-1	49	10	3	29.5	1.5	7.5°
M55SP-1	55	11.13	4	23	2	7.5°



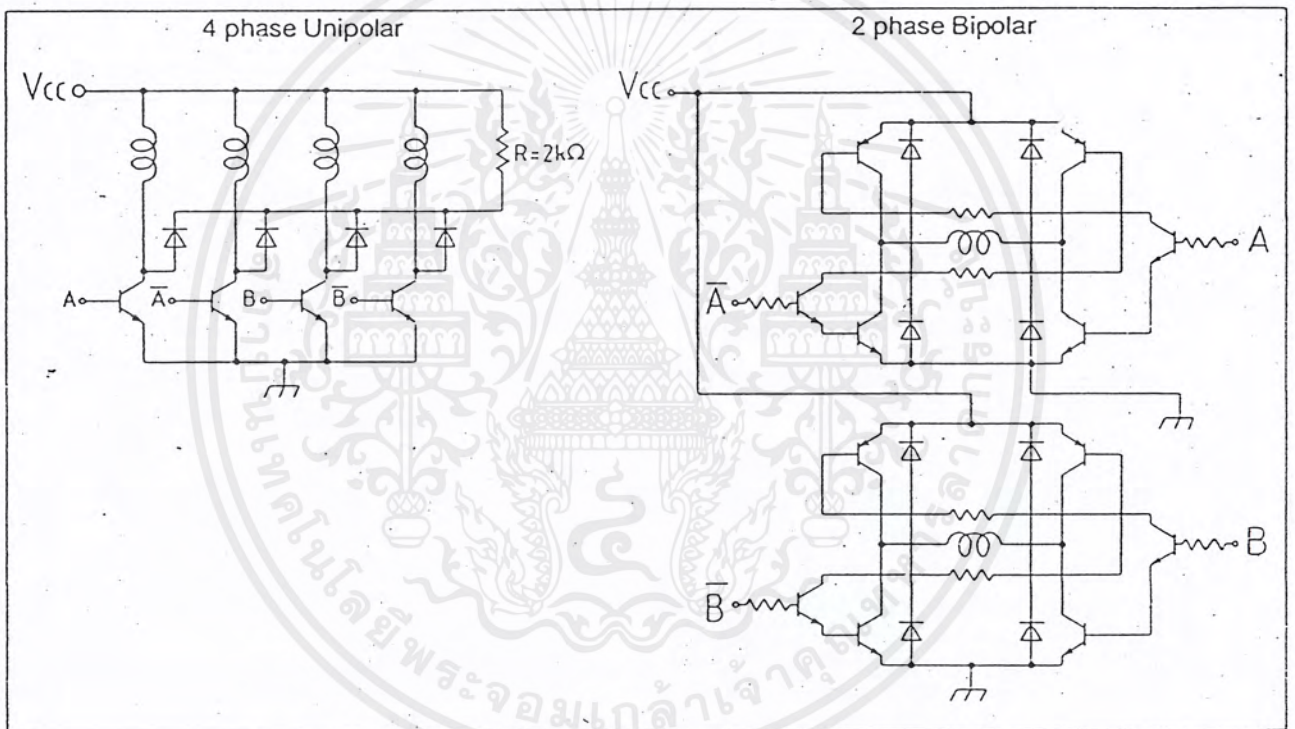
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

GENERAL DESCRIPTION

LEAD WIRE CONNECTION



DRIVING CIRCUITS



SPECIAL SPECIFICATIONS

Coil resistance.
Shaft dimensions.
Pinion.
Mounting plate.
Lead wire length and connectors.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้