

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

เครื่องวัดระยะทางและความเร็ว

DISTANCE AND SPEED MEASURING EQUIPMENTS



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DISTANCE AND SPEED MEASURING EQUIPMENTS



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR IN DEPARTMENT OF INFORMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องวัดระยะทางและความเร็ว	
TITLE	DISTANCE AND SPEED MEASURING EQUIPMENTS	
โดย	นายกฤษณะ เนียมหอม	รหัสประจำตัว 46015657
	นายชัยณรงค์ เกตุแก้ว	รหัสประจำตัว 46015664
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	รศ.ดร.กนก เจนจิระพงศ์เวช)	
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ	
ปีการศึกษา	2548	

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
 ลาดกระบัง

(รศ.ดร.กนก เจนจิระพงศ์เวช)
 อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	เครื่องวัดระยะทางและความเร็ว		
ชื่อนักศึกษา	นายกฤษณะ เนียมหอม	รหัสนักศึกษา	46015657
	นายชัยณรงค์ เกตุแก้ว	รหัสนักศึกษา	46015664
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.กนก เจริญพงษ์เวช		
ระดับการศึกษา	ปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
	สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ		
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
ปีการศึกษา	2548		

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้กล่าวถึงการออกแบบเครื่องตรวจจับความเร็ววัตถุ และทำการวัดระยะทางของวัตถุ โดยใช้เซ็นเซอร์อินฟราเรดและอัลตราโซนิกเป็นตัวตรวจจับความเร็วและระยะทางและจะแสดงผลออกทางหน้าจอแอลซีดีมอดูลสองจอ โดยมีมอดูลที่หนึ่งจะทำการตรวจจับวัดระยะทางส่วนมอดูลที่สองจะทำการวัดความเร็วของวัตถุ โดยจะใช้โปรแกรมทำการประมวลผลซึ่งผลที่ได้จากการทดลองเป็นที่น่าพอใจ

Thesis Title DISTANCE AND SPEED MEASURING EQUIPMENTS
Student Mr. Kitsana Nioumhom ID 46015657
Mr. Chainarong Gatkhaw ID. 46015664
Advisor Assoc. Prof. Dr. Kanok Janchitrapongvej
Graduate Level Bachelor Degree of Information Engineering
Information Engineering
Academic Year 2005

ABSTRACT

This thesis describes the designing of distance and speed measured results are display on LCD monitors. Herein, 2 LCD display are utilized. One used for measuring the target distance and the rest are used to measure the speed of moving object . Computer programs are used in associated with the real time experiment.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วย ก็เพราะได้รับความอนุเคราะห์จาก รศ.ดร. กนก เจริญระพงษ์เวช อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้คำแนะนำแก่ผู้จัดทำมาตลอด พร้อมทั้งคณาจารย์ทุกท่าน และขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การสนับสนุนและคอยเป็นกำลังใจตลอดมา

รวมไปถึงบุคคลที่มีรายนามต่อไปนี้

1. นายประจักษ์ งามมี
2. นายสุวัจน์ เขียวหอม
3. นายอภิรักษ์ วันขวัญ
4. นายวัลลภ จิตต์บันเทิง

และบุคคลอื่นๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ แต่ไม่ได้กล่าวถึง

กลุ่มผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง มา ณ โอกาสนี้ด้วย

ผู้จัดทำ

นายกฤษณะ เนียมหอม

นายชัยณรงค์ เกตุแก้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญรูปภาพ	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา	2
1.2 จุดประสงค์	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการทำงาน	4
2.1 กลิ่นอุตสาหกรรมไอซนิก	4
2.2 เปียโซอิเล็กทริก ทรานสดิวเซอร์	10
2.3 อุปกรณ์แสง	17
2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	35
2.5 จอแสดงผลแบบ LCD module	40
2.6 การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ DS 1307 และ EEPLM 24C16	47
2.7 เครื่องกำเนิดสัญญาณอินพุท	54
บทที่ 3 การออกแบบการทำงานของวงจร	56
3.1 เครื่องวัดระยะทางโดยใช้กลิ่นอุตสาหกรรมไอซนิก	56
3.2 เครื่องวัดความเร็วโดยใช้แสงอินฟราเรด	58
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	60
4.1 การทดลองและผลการทดลองเครื่องวัดระยะทางอุตสาหกรรมไอซนิก	60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

4.2 การทดลองและผลการทดลองเครื่องวัดความเร็วโดยใช้อินฟาเรด	65
บทที่ 5 บทสรุป	69
5.1 สรุปการพัฒนาโครงการ	69
5.2 ปัญหาต่าง ๆ และข้อจำกัดของโครงการ	69
บรรณานุกรม	71
ภาคผนวก	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงแพทเทอร์นของการบีบอัดและการเบี่ยงเบนของคลื่นเสียง	6
รูปที่ 2.2 แสดงผลของเปียโซอิเล็กทริก	11
รูปที่ 2.3 แสดงผลึกควอตซ์ และลักษณะการตัดผลึก	13
รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะของแรงที่มากกระทำกับแผ่นซิมเปลเพลท	14
รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะการต่อวัสดุเปียโซอิเล็กทริกแบบไบมอร์ฟ	15
รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะการต่อวัสดุเปียโซอิเล็กทริก	15
รูปที่ 2.7 แสดงการต่อวัสดุเปียโซอิเล็กทริกเป็นแบบสเต็ค	16
รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างและระดับพลังงานของอะตอม	17
รูปที่ 2.9 แสดงระดับพลังงานและขั้นตอนของการถ่ายเท	18
รูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างการจัดอิเล็กตรอนและนิวเคลียสในสารกึ่งตัวนำ	19
รูปที่ 2.11 แสดงระดับพลังงานในสารกึ่งตัวนำ	19
รูปที่ 2.12 แสดงช่วงความยาวคลื่นแสงของ LED	20
รูปที่ 2.13 แสดงความยาวคลื่นแสงที่ปล่อยออกมาของสารกึ่งตัวนำแต่ละชนิด	21
รูปที่ 2.14 แสดงระดับพลังงานของสารกึ่งตัวนำแบบ P - TYPE และ N -TYPE	22
รูปที่ 2.15 แสดงโครงสร้างและระดับพลังงานของ LED	23
รูปที่ 2.16 แสดงตัวอย่างโครงสร้างของ LED แบบปล่อยแสงทางด้านหน้า	23
รูปที่ 2.17 แสดงตัวอย่างโครงสร้างของ LED แบบปล่อยแสงออกทางด้านข้าง	24
รูปที่ 2.18 แสดง OUT PUT WAVE FORM ของแสงและการผสม	25
รูปที่ 2.19 แสดงการผสมแบบ LIGHT INTENSITY MODULATION	25
รูปที่ 2.20 แสดงการขับ LED ด้วยตัวต้านทาน	26
รูปที่ 2.21 แสดงการขับด้วยทรานซิสเตอร์	27
รูปที่ 2.22 การขับ LED	27
รูปที่ 2.23 แสดง DEPLETION ZONE	28
รูปที่ 2.24 แสดงความยาวคลื่นการรับแสงของอุปกรณ์รับแสงแต่ละชนิด	29
รูปที่ 2.25 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้และ PHOTO CURRENT	32
รูปที่ 2.26 แสดงคุณสมบัติของ VOLTAGE - CURRENT	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.27 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51	36
รูปที่ 2.28 สัญญาณต่าง ๆ ของ MCS-51 เบอร์ 8051	39
รูปที่ 2.29 จอแสดงผลแบบ LCD module	40
รูปที่ 2.30 ไอซีเบอร์ 1307	49
รูปที่ 2.31 การจัดสรรหน่วยความจำแรมภายใน DS1307	50
รูปที่ 2.32 รูปแบบข้อมูลสำหรับติดต่อกับ DS1307	52
รูปที่ 2.33 แสดงโครงสร้างภายในวงจรรวมสำเร็จรูป SRF 04	54
รูปที่ 2.34 ไคอะแกรมเวลาที่ส่งไปและตอบกลับของวงจร SRF 04	55
รูปที่ 3.1 แสดงบล็อควัดไคอะแกรมการทำงานของเครื่องวัดระยะทาง	56
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรของเครื่องวัดระยะทางโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก	57
รูปที่ 3.3 แสดงวงจรส่วนภาคส่งของเครื่องวัดความเร็วโดยใช้แสงอินฟราเรด	58
รูปที่ 3.4 แสดงวงจรส่วนภาครับของเครื่องวัดความเร็วโดยใช้แสงอินฟราเรด	59
รูปที่ 4.1 แสดงหลักการตรวจจับวัตถุโดยใช้สัญญาณความถี่เหนือเสียง	60
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความผิดพลาดระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่วัดได้	63
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงรูปคลื่นเสียงภาคส่ง	64
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงรูปคลื่นเสียงภาครับที่ระยะทาง 50 cm	64
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงรูปคลื่นเสียงภาครับที่ระยะทาง 70 cm	64

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงความเร็วของคลื่นอุลตราโซนิคในแก๊ส	8
ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง	34
ตารางที่ 2.3 แสดงไมโครโปรเซสเซอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ต่างๆ	35
ตารางที่ 2.4 แสดงสัญญาณและหน้าที่ของพอร์ต	39
ตารางที่ 2.5 แสดงรายละเอียดการใช้งานขาของ LCD module	40
ตารางที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขา RS ,R/W และ E ของ LCD module	41
ตารางที่ 2.7 แสดงชุดคำสั่งควบคุมของไมโครคอนโทรลเลอร์ภายในแอลซีดีมอดูล	41
ตารางที่ 4.1 การทดลองการวัดระยะทางโดยเครื่องอุลตราโซนิกวัดขนาด 5×5 cm	60
ตารางที่ 4.2 การทดลองการวัดระยะทางโดยเครื่องอุลตราโซนิกวัดขนาด 40×60 cm	62
ตารางที่ 4.3 การทดลองการวัดความเร็วโดยใช้อินฟาเรด	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ในการวัดระยะทางและความเร็ว ได้มีการพัฒนาไปค่อนข้างมาก และมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในงานหลายๆด้าน โดยเฉพาะ อุปกรณ์ เรดาร์ หรือ อุปกรณ์ เช่น เซอร์ต่างๆ ที่ใช้หลักการการทำงานที่แตกต่างกันออกไป เช่น คลื่นเสียง หรือ คลื่นแสง โดยในที่นี้จะเป็นการวัดระยะทางและความเร็วในเวลาเดียวกันหรือพร้อมกัน โดยประยุกต์ใช้ เช่น เซอร์มาทดแทนในการวัดระยะทาง และตรวจจับความเร็วของวัตถุที่เคลื่อนที่ เหตุผลที่นำ เช่น เซอร์มาทดแทนการทำงานของ เรดาร์ ก็เพราะ มีราคาที่ถูกกว่าและหาซื้อได้ง่ายกว่า ตามท้องตลาดและที่สำคัญยังมีหลักการการทำงานที่คล้ายคลึงกัน คือ ใช้หลักการสะท้อนของคลื่นในการวัดระยะทางของวัตถุและใช้อินฟราเรดมาประยุกต์ใช้ในการวัดความเร็วในการเคลื่อนที่ของวัตถุ

ในการทำงานของ Doppler Radar นั้นจะมีตัวกำเนิดสัญญาณที่มีความถี่ 10GHz ออกมา เมื่อมีวัตถุหรือผู้บุกรุกเคลื่อนที่ตัดผ่านสัญญาณความถี่จะทำให้ความถี่เปลี่ยนแปลง

ส่วนในการทำงานของเครื่องมือวัดระยะทางโดยใช้ เช่น เซอร์ นั้นจะทำงานที่มีหลักการการทำงานที่ต่างกัน ซึ่งแล้วแต่ชนิดของ เช่น เซอร์นั้นๆ ในที่นี้เราจะใช้ เช่น เซอร์ แบบ เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ (piezo-electric transducer) และ อินฟราเรด (Infrarad) ในการนำมาประยุกต์ใช้งานเป็นอุปกรณ์วัดระยะทางและวัดความเร็วตามลำดับ ในชนิดของ เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์ (piezo-electric transducer) นั้นจะทำงานโดยมีตัวส่งคลื่นและตัวรับคลื่นดังส่งจะมีการแปลงสัญญาณทางไฟฟ้ามาเป็นพลังงานทางกลเพื่อกำเนิดคลื่น แล้วส่งคลื่นออกไปเมื่อมีวัตถุตัดผ่านก็จะสะท้อนมายังตัวรับ ตัวรับก็จะรับสัญญาณมาแล้วแปลงกลับมาเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าตามเดิม ในตัวส่งและตัวรับของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์(piezo-electric transducer) นั้นจะทำงานที่ความถี่

รีโซแนนท์ที่ตรงกันคือช่วงตั้งแต่ ความถี่ 23-40 KHz ในส่วนของ อินฟราเรด(Infrarad) นั้นก็จะมีทั้งภาคขับแสงและ ภาครับ โดยในภาครับนั้นจะมีการส่งคลื่นแสงอินฟราเรดออกมาในรูปของสัญญาณพัลส์ เพื่อให้คลื่นที่ส่งออกไปสามารถตรวจจับได้ง่ายโดยตัวรับ เนื่องจากคลื่นแสงที่เป็นรูปพัลส์นี้จะได้ไม่ไปปนกับแสงอินฟราเรดของดวงอาทิตย์

เราสามารถนำเครื่องมือวัดระยะทางและความเร็วโดยเช่น เซอร์ ไปประยุกต์ใช้ในงานหลากหลาย เช่น ตรวจจับความเคลื่อนไหวสิ่งแปลกปลอม เช่น บุคคลที่บุกรุกเข้ามา เป็นต้น ภายในอาคารหรือบ้านเรือนและประยุกต์ใช้เป็นสัญญาณเตือน ใช้วัดระยะห่างและวัดการเคลื่อนที่ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของวัตถุ ใช้ควบคุมระบบการปฏิบัติงานในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ตั้งเวลาหยุดหรือ ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นสิ่งสำคัญที่ใช้ในการวัดความเร็วของวัตถุชนิดต่างๆ

1.1 แนวคิดและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันงานในด้านอุตสาหกรรมหรืองานที่ต้องการทราบตำแหน่งและความเร็วของวัตถุ นั้นมีความจำเป็นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากการพัฒนาที่ไม่หยุดนิ่งของภาคอุตสาหกรรมโดยเฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการทราบระยะทางและความเร็วของวัตถุเพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการปฏิบัติงาน และอาจใช้เป็นสัญญาณเตือนเมื่อมีสิ่งแปลกปลอมเข้ามาในบริเวณที่เราหวงห้าม เพื่อป้องกันอันตรายหรือความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น ซึ่งเครื่องวัดระยะทางและความเร็วมักใช้การทำงานของเรดาร์ แต่เนื่องจากเรดาร์มีราคา ดังนั้นผู้จัดทำจึงเกิดความคิดที่จะสร้างเครื่องวัดระยะทางและความเร็วขึ้น โดยใช้ เซ็นเซอร์ เป็นตัวตรวจจับวัตถุแทนการใช้เรดาร์เพื่อลดต้นทุนการผลิต ซึ่งทำให้ผู้ที่ต้องการใช้อุปกรณ์ที่สามารถวัดระยะทางและความเร็ววัตถุได้ในเวลาเดียวกันหรือพร้อมกันสามารถซื้อได้ในราคาที่ถูกลง โดยเมื่อเราติดตั้งเครื่องวัดระยะทางและความเร็วโดยเซ็นเซอร์ในตำแหน่งที่เราต้องการ เมื่อมีวัตถุเข้ามา ณ จุดที่เซ็นเซอร์สามารถตรวจจับได้ เครื่องนี้ก็จะแสดงผลออกทางหน้าจอ LCD เพื่อบอกระยะทางของวัตถุที่อยู่ห่างออกไป และในกรณีที่วัตถุนั้นมีการเคลื่อนที่ผ่านเซ็นเซอร์อินฟราเรด เครื่องนี้ก็จะแสดงความเร็ว พร้อมทั้งเวลาที่วัตถุนั้นเคลื่อนที่ผ่านออกมาทางหน้าจอ LCD อีกตัวหนึ่ง ดังนั้นเครื่องวัดระยะทางและความเร็วโดยเซ็นเซอร์นี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานด้านต่างๆ ได้อย่างสะดวก และรวดเร็ว

1.2 จุดประสงค์

- 2.1 เพื่อวัดระยะทางของวัตถุ
- 2.2 เพื่อตรวจจับความเร็วของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่
- 2.3 เพื่อประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ ที่ต้องการวัดระยะทางและความเร็วของวัตถุในเวลาเดียวกัน หรือพร้อมกัน

1.3 ขอบเขตของโครงการ

- 3.1 ตรวจจับวัตถุระยะทางตั้งแต่ 15 เซนติเมตร ถึง 3 เมตรและแสดงผลที่วัดได้บนจอ LCD
 - 3.2 ตรวจจับความเร็วของวัตถุในหน่วย กิโลเมตร/ชั่วโมง (km/hr) แสดงเวลา ณ เวลาที่วัตถุนั้นเคลื่อนที่ และแสดงลำดับของวัตถุได้ 60 ลำดับ และแสดงผลที่วัดได้บนจอ LCD
- เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 4.1 โครงการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทดแทนเรดาร์ได้
- 4.2 โครงการนี้สามารถตรวจจับวัตถุในระยะทางตั้งแต่ 15 เซนติเมตร ถึง 3 เมตร ได้
- 4.3 โครงการนี้สามารถนำมาตรวจจับการเคลื่อนที่เพื่อวัดความเร็วของวัตถุได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการทำงาน

ทฤษฎีและหลักการทำงานของ เซ็นเซอร์ ทรานสดิวเซอร์

เครื่องวัดระยะทางโดยใช้เครื่องอัลตราโซนิก

2.1 คลื่นอัลตราโซนิก (ultrasonic wave)

2.1.1 ความหมายของคลื่นอัลตราโซนิก

อัลตราโซนิก หมายถึง คลื่นที่มีความถี่สูงเกินกว่าที่มนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้วหูของมนุษย์จะได้ยินเสียงในย่านความถี่ 20 Hz ถึง 20 KHz อัลตราโซนิกที่กล่าวถึง โดยทั่วไปจึงหมายถึงคลื่นที่มีความถี่สูงกว่า 20 KHz ขึ้นไป

2.1.2 ชนิดของคลื่นอัลตราโซนิก

คลื่นอัลตราโซนิกที่เดินทางผ่านตัวกลางต่างๆมีหลายชนิดด้วยกันแต่ละชนิดจะแตกต่างกันตามการเคลื่อนที่ของอนุภาคในตัวกลางนั้นๆ โดยสามารถแบ่งได้ดังนี้

2.1.2.1 คลื่นตามยาว (longitudinal wave) เป็นลักษณะของคลื่นที่ทุกๆจุดบนคลื่นมีการเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกันกับทิศทางการเคลื่อนที่ การเคลื่อนที่ของอนุภาคจะเกิดขึ้นอย่างหนาแน่นและเบาบางสลับกันไปและจะเปลี่ยนแปลงไปเช่นนี้ในแต่ละปริมาตรของปริมาตรของอนุภาค คลื่นตามยาวนี้สามารถเดินทางผ่านของแข็ง ของเหลวและแก๊ส โดยมากถ้ากล่าวถึงความเร็วของคลื่นแล้วจะหมายถึงความเร็วของคลื่นตามยาว ในการพิจารณาคลื่นตามยาวที่เดินทางผ่านตัวกลางต่างๆได้นั้น ตัวกลางจะต้องมีขนาดใหญ่พอเมื่อเปรียบเทียบกับความยาวคลื่น

2.1.2.2 คลื่นตามขวาง (transverse wave) คือ คลื่นที่ทุกๆจุดบนคลื่นมีการเคลื่อนที่ในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางซึ่งคลื่นเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็งได้ คลื่นชนิดนี้ไม่สามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของเหลวและแก๊ส

คลื่นตามขวางมีลักษณะเสมือนการเกิดขั้วลบกับขั้วบวกซึ่งเป็นเหตุว่ากาเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคเป็นไปเพียงทิศทางเดียว เช่น ในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของคลื่นที่ เคลื่อนที่ไป ดังนั้นกำเนิดของคลื่นตามขวางเป็นพื้นที่หน้าทีหน้าเรียบของระนาบ ที่เกิดจากการ เปลี่ยนแปลงของอนุภาคอันเนื่องจากการแกว่งความหนาแน่นของตัวกลางจะไม่เปลี่ยนแปลง โดยการเคลื่อนที่ของคลื่นแบบตาม

ขวางความเร็วของคลื่นชนิดนี้จะน้อยกว่าความเร็วของคลื่นชนิดตามยาวในขณะที่เดินทางผ่านตัวกลางชนิดเดียวกัน ดังนั้นที่ความถี่เดียวกัน ความยาวคลื่นของคลื่นตามขวางจะน้อยกว่าคลื่นตามยาวเสมอ

2.1.2.3 คลื่นผิวหน้า (surface wave) เป็นคลื่นชนิดหนึ่งซึ่งคล้ายกับคลื่นตามขวางต่างกันตรง ที่ว่าการเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคไม่เป็นเพียงในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของ คลื่นเท่านั้น แต่ยังมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกันกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่นด้วย จึงทำให้คลื่นเคลื่อนที่ไปตามแนวระนาบในแนวนอน ด้วยเหตุนี้คลื่นจึงเดินทางผ่านไปเฉพาะบนผิวของตัวกลางเท่านั้น

2.1.3 การเกิดคลื่นอุลตราโซนิค

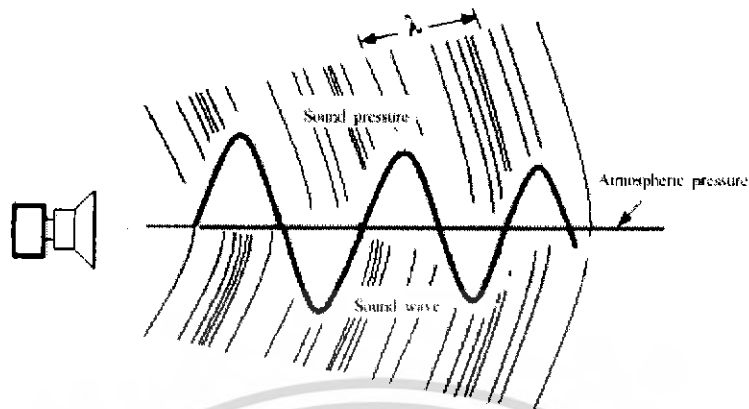
อุลตราโซนิคเป็นคลื่นที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานรูปอื่นให้มาเป็นพลังงานกล โดยการสั่นไปมา หรือเกิดการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกล ทำให้เกิดคลื่นย่านอุลตราโซนิค กระจายออกไปในอากาศ ดังนั้นจึงถือได้ว่าคลื่นที่เกิดขึ้นเป็นคลื่นกล (mechanical wave) คลื่นยุคอุลตราโซนิค สามารถถูกสร้างได้โดยตัวทรานสดิวเตอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล

ในที่นี้จะใช้ทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริก (piezo-electric transducer) โดยจะทำการเปลี่ยนไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกล และมีความถี่เรโซแนนท์ (resonant frequency) คงที่อยู่ค่าหนึ่ง สำหรับแบบเปียโซอิเล็กทริกนี้ เป็นแบบที่นิยมใช้เพราะมีราคาถูกและหาซื้อง่าย

2.1.4 ความถี่และความยาวคลื่น

ความถี่ คือ จำนวนของการออสซิลเลตหรือการแกว่งที่สมบูรณ์จากแหล่งกำเนิดคลื่นภายใน 1 วินาที คลื่นที่ถูกส่งจากแหล่งกำเนิดจะเดินทางด้วยความถี่เดียวกันนี้ เช่น อัตราการสั่นของสายไวโอลินที่มีความถี่ 440 Hz มันก็จะมีค่าความถี่เดียวกันกับคลื่นที่ถูกส่งและรับได้จากผู้ฟัง

ความยาวคลื่น คือ ระยะทางที่คลื่นเดินทางระหว่างแต่ละการสั่นที่สมบูรณ์ หรือการเดินทางครบ 1 รอบ (1 cycle) สามารถกล่าวได้ว่า ความยาวคลื่นเป็นระยะทางระหว่างการอัดอย่างต่อเนื่อง (successive โมเลกุลและแรงดันมากกว่าบริเวณรอบๆ ส่วนการเบาบางเป็นบริเวณเฉพาะที่เกิดการลดความหนาแน่นของโมเลกุลและแรงดันสัมพันธ์ กับแรงดันของบรรยากาศปกติ รูปที่ 2.1 แสดงรูปแบบของการอัดและการเบาบางของรอบๆแหล่งกำเนิดคลื่นเสียงและแสดงความยาวคลื่นที่เกิดขึ้น



รูปที่ 2.1 แสดงแพทเทิร์นของการบีบอัดและการเบาบางของคลื่นเสียงที่อยู่รอบๆ แหล่งกำเนิดเสียง ระยะระหว่างการอัดที่สมบูรณ์และระยะระหว่างการเบาบางของคลื่น จะแสดงถึงความยาวคลื่นของคลื่น (λ)

ความถี่และความยาวคลื่นมีความสัมพันธ์ตามต้องการข้างล่าง

$$v = f\lambda \quad (\text{m/s}) \quad (4)$$

v = ความเร็วที่คลื่นสามารถเดินทางได้ในตัวกลาง (m/s)

f = ความถี่ของคลื่น

λ = ความยาวคลื่น (m)

2.1.5 ความเร็วของคลื่นวัตถุอุตร้าโซนิค

คลื่นเหนือเสียงหรือคลื่นอุตร้าโซนิคที่เดินทางในตัวกลางที่แตกต่างกันย่อมจะมีความเร็วในการเดินทางผ่านตัวกลางนั้นๆ แตกต่างกันไป โดยขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลางหรือแก๊ส แรงดันของแก๊สเมื่อกำหนดให้คลื่นเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นแก๊สรวมทั้งอุณหภูมิในขณะนั้น สำหรับทฤษฎีที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นในตัวกลางที่เป็นแก๊สกับคุณสมบัติของแก๊สเหล่านั้น สามารถแสดงได้ดังนี้

$$v = (\gamma p / \rho)^{1/2} \quad (\text{m/s}) \quad (5)$$

v = ความเร็วที่คลื่นอุตร้าโซนิคสามารถเดินทางได้ในแก๊ส (m/s)

γ = ค่าอัตราส่วนของความร้อนของแก๊สที่แรงดันคงที่ต่อความร้อนที่

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

p = ความดันของแก๊สในหน่วย Pascal (ความดันของอากาศที่ระดับ

น้ำทะเล = 1.01325×10^6 Pascal)

ρ = ความหนาแน่นของแก๊ส (kg / m^3) อากาศจะมี $\rho = 1.29 \text{ kg/m}^3$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากในอากาศประกอบด้วยโมเลกุลอะตอมคู่เป็นพื้นฐาน ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลให้ค่า adiabatic bulk modulus ของอากาศเป็น 1.4 และเมื่อแทนลงไปในความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2 ความเร็วของคลื่นอุตราโซนิกในอากาศก็จะเป็นดังสมการ

$$v = (1.4 P / \rho)^{1/2} \quad (\text{m/s}) \quad (6)$$

สำหรับแก๊สในอุดมคติ จะมีความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตร อุณหภูมิและแรงดันดังนี้

$$PV = RT \quad (7)$$

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

T = ค่าอุณหภูมิสัมพัทธ์ (Kelvin)

V = ปริมาตรของแก๊ส (m^3)

P = ความดันของแก๊ส (Newton / m^2)

ความสัมพันธ์ดังสมการที่(7) สามารถแทนอยู่ในรูปของความสัมพันธ์ดังนี้

$$P = \rho RT / M \quad (\text{Newton} / \text{m}^2) \quad (8)$$

เมื่อ M เป็นมวลโมเลกุลของแก๊ส และจากความสัมพันธ์ดังสมการที่ 8 เมื่อนำไปแทนกลับที่ ความสัมพันธ์ดังสมการที่ 5 เราจะได้ความเร็วของคลื่นอุตราโซนิกในอากาศเป็นดังนี้

$$v = (\gamma R T / M)^{1/2} \quad (\text{m/s}) \quad (9)$$

จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ 9 นี้ ความเร็วของคลื่นในแก๊สอุดมคติจะขึ้นอยู่กับชนิดของแก๊สและอุณหภูมิ โดยเป็นอิสระจากการเปลี่ยนแปลงความดัน ดังนั้นความเร็วของคลื่นที่ขอดเขาก็ควรจะเหมือนกับที่เชิงเขาถ้าอุณหภูมิเท่ากัน ในทางปฏิบัติ ที่กล่าวมานี้จะเป็นสำหรับความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2 โดยความดันของแก๊สและความหนาแน่นของแก๊สจะลดลงเมื่อความสูงนั้นสูงกว่าระดับน้ำทะเลมากยิ่งขึ้น และผลของความกดดันทางบรรยากาศจะมีผลต่อความเร็วของคลื่นเล็กน้อย

ความเร็วของอุตราโซนิกที่ยอมรับได้ในอุณหภูมิปกติ จะมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$$v = 331.45 + 0.607t \quad (\text{m/s}) \quad (10)$$

$$v = 1,052.03 + 1.106 \quad (\text{ft/s}) \quad (11)$$

โดย t = อุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส

F = อุณหภูมิในหน่วยองศาฟาเรนไฮด์

สำหรับอุณหภูมิที่แตกต่างกันมากกว่า 20 องศาเซลเซียส เพื่อให้การคำนวณมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น จะใช้ความสัมพันธ์ดังสมการข้างล่างนี้

$$v = 331.45 (T/273)^{1/2} \quad (\text{m/s}) \quad (12)$$

T = อุณหภูมิในหน่วยเคลวิน

GAS	VELOCITY
1. AIR (0 องศาเซลเซียส)	331.45
2. ARGON	319
3. CARBON MONOXIDE	338
4. CARBON DIOXIDE	259
5. HELIUM	965
6. HYDROGEN	1,284
7. METHANE	430
8. NEON	435
9. NITROGEN	334
10. OXYGEN	435
11. STREAM (134 องศาเซลเซียส)	494

ตารางที่ 2.1 แสดงความเร็วของคลื่นอุลตราโซนิคในแก๊สต่างๆที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส

2.1.6 ปริมาณพลังงานของคลื่นอุลตราโซนิค

ปริมาณพลังงานของคลื่นอุลตราโซนิคจะถูกวัดในรูปความเข้มของคลื่น ซึ่งจะมีหน่วยเป็นวัตต์ ต่อ ตารางเซนติเมตร (W/cm^2) การไหลของพลังงานผ่านพื้นที่ 1 ตารางเมตรซึ่งตั้งฉากกับทิศทางการเดินทางของคลื่นภายในเวลา 1 วินาที

2.1.7 การลดทอนของคลื่นอุลตราโซนิค

เมื่อคลื่นอุลตราโซนิคเดินทางผ่านตัวกลาง ลำคลื่น (beam) ของคลื่นอุลตราโซนิคจะสูญเสียความเข้มต่อไป เนื่องมาจากเกิดการลู่ออกของลำคลื่น หรือเกิดการกระจายพลังงานของคลื่นออกจากลำคลื่น เพราะความไม่ต่อเนื่องภายในตัวกลาง (non homogenous) และอาจเกิดจากการดูดซับพลังงานส่วนหนึ่งของคลื่น โดยตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน พลังงานที่ถูกดูดซับนี้จะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน การดูดซับพลังงานนี้ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของตัวกลาง ความยืดหยุ่นและความหนาแน่น รวมทั้งความถี่ของคลื่นอุลตราโซนิคที่ใช้ ยิ่งความถี่สูงพลังงานก็ยิ่งถูกดูดซับไปมาก ดังนั้นคลื่นอุลตราโซนิคที่นำมาใช้งาน โดยมากจะมีความถี่จำกัดอยู่ไม่เกิน 50 KHz หากความถี่สูงกว่านี้แล้ว เมื่อคลื่นเดินทางไปในอากาศในระยะทางไกลๆ ความแรงของคลื่นจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องมาจากสาเหตุดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ทำให้ความแรงของคลื่นสะท้อนกลับมีขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไม่แรงพอที่จะทำให้เครื่องรับทำงานได้ นั่นหมายถึง ยิ่งคลื่นอุลตราโซนิกมีความถี่สูงขึ้นเพียงใด รัศมีทำการก็ยิ่งสั้นลง

การแยกแยะ

การแยกแยะหรือรีโซลูชัน (resolution) ของการส่งระบบพัลส์คลื่นสะท้อน สามารถถูกใช้เป็นตัวกำหนดความสามารถของระบบที่แยกความแตกต่างระหว่างตัวสะท้อน 2 ตัวที่อยู่ใกล้กัน การแยกแยะที่สำคัญมีอยู่ 2 ชนิด

2.1.7.1 การแยกแยะทางด้านข้าง (azimuth resolution) หรือการแยกแยะตามแนวอาซิมุท เป็นตัวกำหนดความสามารถในการแยกความแตกต่างของเป้าสองอัน ซึ่งวางในแนวนอน และตั้งฉากกับทิศทางของลำคลื่น ในระยะทางที่เท่ากันและขึ้นอยู่กับความกว้างของลำคลื่นที่ใช้ส่ง ซึ่งก็คือคลื่นอุลตราโซนิกนั่นเอง

2.1.7.2 การแยกแยะตามแนวแกนของลำคลื่น (range resolution) เป็นการวัดความสามารถในการแยกความแตกต่างของเป้า 2 อัน ตามแนวแกนของลำคลื่น ซึ่งถูกกำหนดโดยความยาวของพัลส์สะท้อนของคลื่นอุลตราโซนิกจากเป้าเล็กๆในทางอุดมคติ ซึ่งพัลส์คลื่นสะท้อนจากเป้าที่ระยะสั้นๆ จะมาถึงตัวรับก่อนที่พัลส์ของตัวมันจะหมดไป ซึ่งจะทำให้คลื่นสะท้อนเกิดการซ้อนกัน

2.1.8 ประโยชน์ในการใช้งานของคลื่นอุลตราโซนิก

คลื่นอุลตราโซนิกเป็นคลื่นที่มีทิศทาง ทำให้สามารถกำหนดจุดที่คลื่นจะเดินทางไปยังเป้าหมายได้โดยเจาะจงยิ่งคลื่นมีความถี่สูงขึ้น ความยาวคลื่นก็จะยิ่งสั้นขึ้น ถ้าความยาวคลื่นยาวกว่าช่องเปิดที่ให้คลื่นออกมาของตัวที่ให้กำเนิดเสียงความถี่นั้น เช่น คลื่นความถี่ 300 Hz ในอากาศ จะมีความยาวคลื่นถึงประมาณ 1 เมตรเศษๆ ซึ่งจะยาวกว่าช่องเปิดที่ให้คลื่นเสียงออกมาจากแหล่งกำเนิดเสียงโดยทั่วไปมากมาย คลื่นจะหักเหที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดคลื่นนั้นๆ แต่ความถี่สูงขึ้นไปอยู่ในย่านอุลตราโซนิก อย่างเช่น 40 KHz ซึ่งจะมีความยาวคลื่นในอากาศเพียง 8 มิลลิเมตรเท่านั้น และจะเล็กกว่าช่องเปิดที่ให้เสียงลอดออกมา ที่ความถี่นี้ คลื่นจะไม่มี การเลี้ยวเบนที่ขอบ จึงพุ่งออกมาเป็นลำแคบๆ หรือที่เราเรียกว่า มีทิศทางนั่นเอง การมีทิศทางของคลื่นเสียงย่านอุลตราโซนิกก่อให้เกิดประโยชน์ที่เราจะสามารถนำไปใช้งานได้หลายอย่าง เช่น นำไปใช้ในเครื่องควบคุมระยะไกล (ultrasonic remote control), เครื่องล้างอุปกรณ์ (ultrasonic cleaner), เครื่องวัดความหนาของวัตถุ , เครื่องวัดความลึกและทำแผนที่ใต้ท้องทะเล (sonic) , เครื่องหาตำแหน่งของอวัยวะภายในร่างกาย หรือใช้ทดสอบการรั่วของท่อ เป็นต้น โดยความถี่ที่ใช้ จะเกิดขึ้นกับการใช้งาน เช่น ถ้าการใช้งานจำเป็นต้องให้คลื่นอุลตราโซนิกเดินทางผ่านอากาศแล้ว ความถี่ที่ใช้มักจะจำกัดอยู่เพียงไม่เกิน 50 KHz เพราะที่ความถี่สูงกว่านี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อากาศจะดูดคลื่นคลื่นได้เพิ่มมากขึ้น ทำให้ระดับความแรงของคลื่นอุลตราโซนิกที่ระยะห่างออกไปลดลงอย่างรวดเร็ว ส่วนการใช้งานทางด้านการแพทย์ ซึ่งต้องการรัศมีทำการสั้นๆ ก็อาจใช้ความถี่ในช่วง 1 MHz-10 MHz ขณะที่ความถี่เป็นจิกะเฮิรตซ์ (GHz ; 10^9 Hz) ก็มีการนำไปใช้ในหลายๆด้าน โดยที่ตัวกลางที่คลื่นอุลตราโซนิกเดินทางผ่านไม่ใช่อากาศ

2.2 เปียโซอิเล็กทริก ทรานสดิวเซอร์ (piezo-electric transducer)

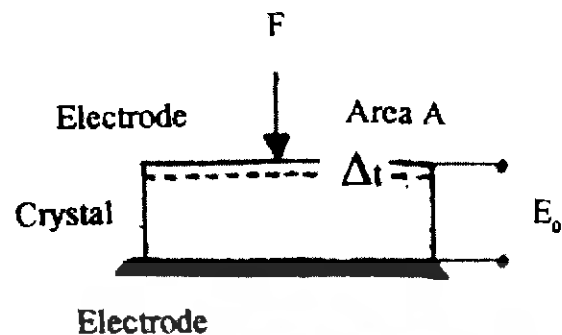
ทรานสดิวเซอร์ เป็นอุปกรณ์ที่สามารถแปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกล โดยการสั่นไปมาทำให้เกิดคลื่นเสียง และก็เป็นอุปกรณ์ที่ทำกรับคลื่นเสียงเข้ามาแล้วทำการเปลี่ยนแปลงกลับไปเป็นสัญญาณไฟฟ้า ดังนั้นในการทำงานจึงต้องมีทรานสดิวเซอร์ 2 ตัว โดยทำหน้าที่เป็นตัวส่งและตัวรับอย่างละตัว ในระบบเดียวกัน ซึ่งทรานสดิวเซอร์จะมีความถี่เรโซแนนท์ (resonant frequency) อยู่ค่าหนึ่งและจะต้องใช้คู่กันเสมอ ทรานสดิวเซอร์ 2 ตัวนี้จะมีรูปร่างและลักษณะเหมือนกันทุกอย่างและมีคุณสมบัติคล้ายคลึงกันมาก เราสามารถจะรู้ได้ว่าตัวไหนเป็นตัวส่งหรือตัวรับได้ โดยดูจากอักษรท้ายเบอร์ เช่น MA40A5S คือตัวส่ง “S” หมายถึง sender และ MA40A5S คือตัวรับ “R” หมายถึง receiver แต่ในวงจร สัญลักษณ์ของตัวส่งจะเหมือนรูปลำโพง หรือเขียนว่า Tx ซึ่งหมายถึง teansmitter และตัวรับจะเขียนรูปไมโครโฟน หรือเขียนว่า Rx ซึ่งหมายถึง receiver

ทรานสดิวเซอร์ที่มีจำหน่ายในท้องตลาด โดยมากจะมีความถี่เรโซแนนท์ให้เลือกใช้ตั้งแต่ค่า 23 KHz จนถึง 40 KHz แต่ส่วนมากที่นำมาใช้และพบเห็นบ่อย คือค่า 23 KHz , 25 KHz และ 40 KHz โดยที่ค่าความถี่ 40 KHz เป็นแบบที่นิยมใช้กันมากที่สุด เนื่องจากค่าความถี่นี้ การเดินทางของคลื่นอุลตราโซนิกจะดีกว่าที่ความถี่อื่นๆและทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ในที่นี้จะกล่าวถึงแต่เฉพาะทรานสดิวเซอร์ที่เป็นแบบเปียโซอิเล็กทริก เพราะเป็นรูปแบบที่นำมาใช้ในการดำเนินงานจริงในโรงงานนี้

2.2.1 ปรางกฎการณ์เปียโซอิเล็กทริก

เปียโซอิเล็กทริกเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติอย่างหนึ่งซึ่งทำให้พลังงานสามารถเปลี่ยนแปลงจากรูปหนึ่งไปเป็นพลังงานอีกรูปหนึ่งได้ กล่าวคือ ถ้าป้อนแรงกลให้ไดอิเล็กทริกแบบคริสตัล (soid crystalline dielectric) ดังในรูปที่ 2.14 ซึ่งก็เกิดความค้ำภายในคริสตัล และทำให้แลททิซของคริสตัลผิดรูปไป เช่น พวกควอทซ์ เป็นต้น พวกควอทซ์ เป็นต้น ผลก็คือ ประจุจะเปลี่ยนไป การผิดรูปร่างของแลททิซเป็นผลให้ความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัด (displacement) ของประจุบวกและลบใน แลททิซเปลี่ยนไป การกระจัดของประจุภายในจะเท่ากับประจุภายนอกของขั้วที่ตรงกันข้ามบนด้านตรงกันข้ามของคริสตัล เรียกว่า ผลของเปียโซอิเล็กทริก (piezo-electric effect)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Piezoelectric effect

รูปที่ 2.2 แสดงผลของเพียโซอิเล็กทริก (piezo-electric effect)

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

$$Q = dF \quad (\text{coulomb}) \quad (13)$$

Q = ขนาดของประจุบนผิวที่ถูกเหนี่ยวนำ (coulomb)

d = ค่าความไวของประจุ (charge sensitivity) (coulomb/Newton)

F = ขนาดของแรงที่ทำให้คริสตัลสั้นตัวไปมาเป็นระยะทาง Δt

(Newton)

ค่าความเค้นและความเครียดภายในคริสตัลสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\zeta = Y \sigma \quad (\text{Newton/m}^2) \quad (14)$$

Y = ค่ายังโมดูลัส (Young's modulus) (Newton/m²)

σ = ความเครียด ($\sigma = \Delta t / t$)

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

Δt = ระยะที่เกิดจากการสั้นของแท่งคริสตัล (m)

t = ความหนาแน่นของแท่งคริสตัล (ระยะระหว่างแท่งอิเล็กโทรด) (m)

A = พื้นที่ของคริสตัลบนด้านที่เป็นอิเล็กโทรด (m²)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความสัมพันธ์ดังกล่าวสมการที่ 14 เราสามารถสร้างความสัมพันธ์แบบใหม่ได้คือ

$$F = \Delta t Y A / t \quad (\text{Newton}) \quad (15)$$

และจากความสัมพันธ์ดังกล่าวสมการที่ 15 เมื่อนำไปแทนกลับลงในความสัมพันธ์ของสมการที่ 13 จะได้ว่าค่าประจุบนผิวของคริสตัลที่ถูกเหนี่ยวนำจะเป็นสัดส่วนกับระยะที่เกิดจากการสั่นของแท่งคริสตัลนั้น ดังนั้น

$$Q = d A Y \Delta t / t \quad (\text{coulomb}) \quad (16)$$

ประจุบนผิวอิเล็กโทรดที่ถูกเหนี่ยวนำ จะทำให้เกิดโวลเตจเพิ่มขึ้นดังความสัมพันธ์ข้างล่างนี้ ซึ่งก็หมายความว่าถ้าประจุบนผิวของอิเล็กโทรดถูกเหนี่ยวนำมากขึ้น โวลเตจตกคร่อมก็จะมากตามไปด้วย

$$E_o = Q / c \quad (\text{Volt}) \quad (17)$$

$$E_o = \text{โวลเตจตกคร่อมระหว่างขั้วของอิเล็กโทรด} \quad (\text{volt})$$

$$C = \text{ค่าความจุของประจุระหว่างขั้วของอิเล็กโทรด} \quad (\text{farad})$$

ค่าความจุของประจุระหว่างขั้วของอิเล็กโทรดนี้ เป็นค่าที่ขึ้นกับชนิดของสารกึ่งตัวนำหรือวัสดุเปียโซอิเล็กทริกที่นำมาใช้วัสดุต่างชนิดกันก็จะมีค่า C ต่างกัน

$$C = \epsilon A / t \quad (\text{farad}) \quad (18)$$

$$\epsilon = \text{ค่าสัมบูรณ์ของการซึมซาบของวัสดุเปียโซอิเล็กทริก} \\ (\text{absolute permittivity}) \quad (\text{farad} / \text{m})$$

จากความสัมพันธ์ตามสมการที่ 13, 17 และ 18 เราสามารถแสดงค่าโวลเตจตกคร่อมระหว่างขั้วของอิเล็กโทรดได้ใหม่ดังความสัมพันธ์ข้างล่าง

$$E_o = d F t / \epsilon A \quad (\text{volt}) \quad (19)$$

$$\text{หรือ} \quad E_o = \dot{Q} F t / A = \dot{Q} t P \quad (\text{volt}) \quad (20)$$

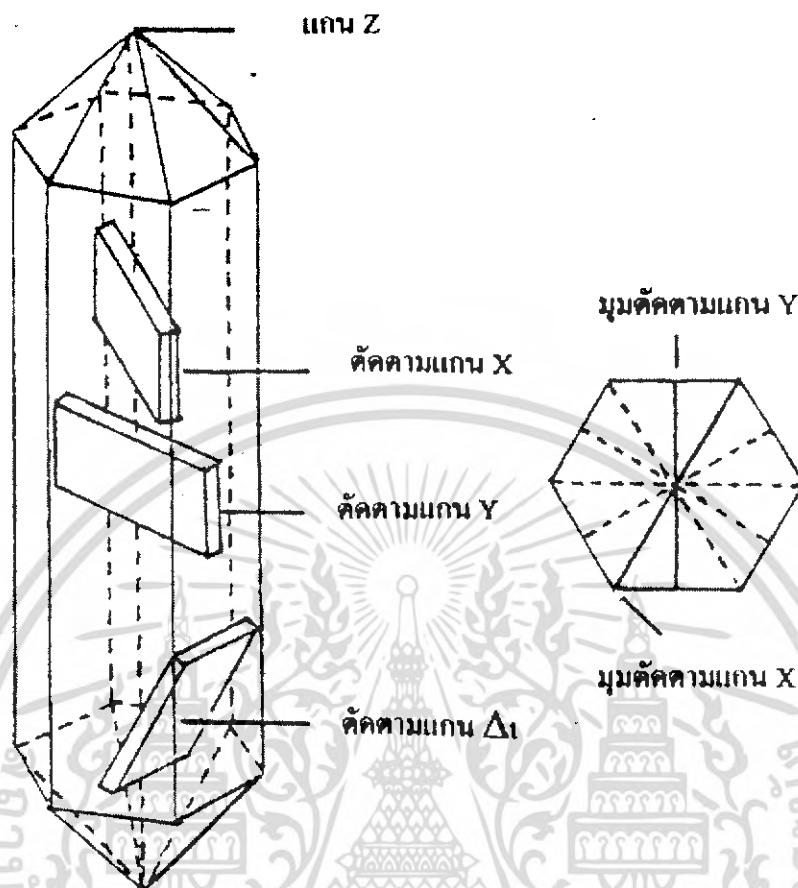
$$\dot{Q} = \text{ค่าความไวของโวลเตจ} \quad (\text{voltage sensitivity}; \dot{Q} = d / \epsilon)$$

$$(\text{volt-m} / \text{Newton})$$

$$P = \text{ความดันที่กระทำต่อวัสดุเปียโซอิเล็กทริก}; P = F / A$$

$$(\text{Newton} / \text{m}^2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงผลึกควอทซ์ และลักษณะการตัดผลึก

ชิ้นส่วนของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก (piezo-electric element) จะมีการตัดแบบต่างๆ เพื่อผลทางด้านความไวของประจุและโวลเตจ โดยการตัดก็ถือตามวิธีตัดตามแนวแกนต่างๆ ดังรูปที่ 2.15

วัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง เช่น ควอทซ์ (Quartz) , ทัวร์มาลีน โรเชลล์ซอลท์ (Tourmaline Rochelle Salt) , แอมโมเนียม ไดไฮโดรเจน ฟอสเฟส (Ammonium Dihydrogen Phosphate; ADP) , ลิเทียม ซัลเฟต (Lithium Sulphate) , แบเรียม ไตทานेट (Barium Titanate) และเลดเซอร์โคเนต ไตทานेट (Lead Zirconate Titanate; PZI) โดยทั่วไปแล้วพวกควอทซ์และคริสตัลที่เป็นเพียโซอิเล็กทริกธรรมชาติ มันจะมีขั้วของมันเองตามธรรมชาติ แต่พวกวัสดุเพียโซอิเล็กทริกที่สังเคราะห์ขึ้นมา เช่น แบเรียม ไตทานेट หรือเซรามิก เป็นต้น จะต้องนำทางมาทำการอบคริสตัลภายใต้แรงดันและวางวัสดุที่ได้ในสนามไฟฟ้าที่มีความแรงของไฟ DC มาก หลังจากชิ้นส่วนนี้ถูกเหนี่ยวนำในสนามไฟฟ้าแล้ว ก็จะมีขั้วตามแนวของทิศทางของสนามและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

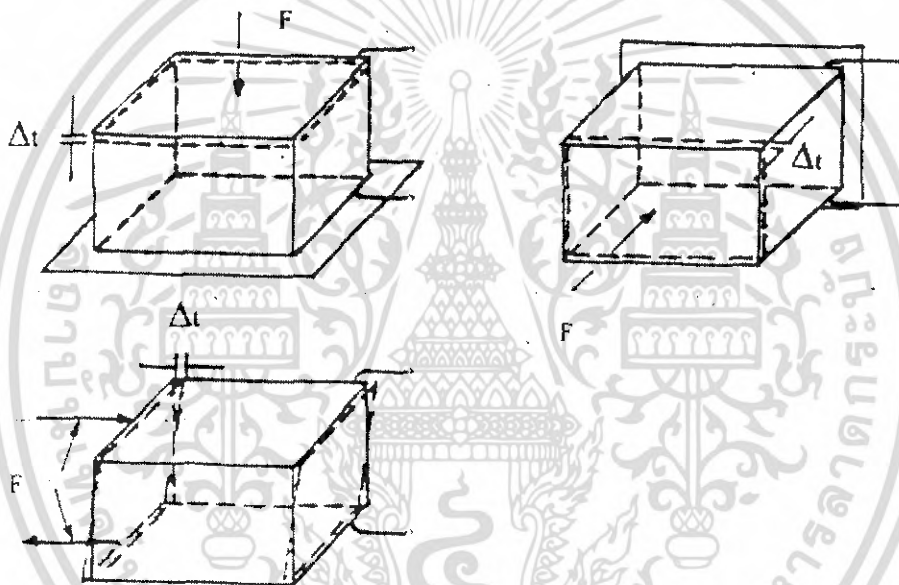
ประพืดตัวตามคุณสมบัติของเป็ยโซอิเล็กทริก สำหรับชิ้นส่วนวัสดุที่ทำจากวัสดุสังเคราะห์นี้ ไม่มีข้อจำกัดทางขนาดโดยโครงสร้างของคริสตัล และยังสามารถทำให้มีรูปร่างและขนาดต่างๆรวมไปถึงทิศทางของขั้วก็จะถูกสร้างขึ้นระหว่างขั้นตอนการผลิต

2.2.2 ลักษณะการปฏิบัติตัวของวัสดุเป็ยโซอิเล็กทริก

สามารถแยกได้เป็นโหมดการทำงาน (mode of operation) ดังนี้

2.3.2.1.เพลท (simple plate) เป็นวัสดุเป็ยโซอิเล็กทริกชั้นเดียว โดยมีแรงมากระทำกับแผ่นเพลท

ในทิศทางต่างๆกันทำให้เกิดการขยุตัวหรือเปลี่ยนแปลงรูปไป ดังในรูปที่ 2.16

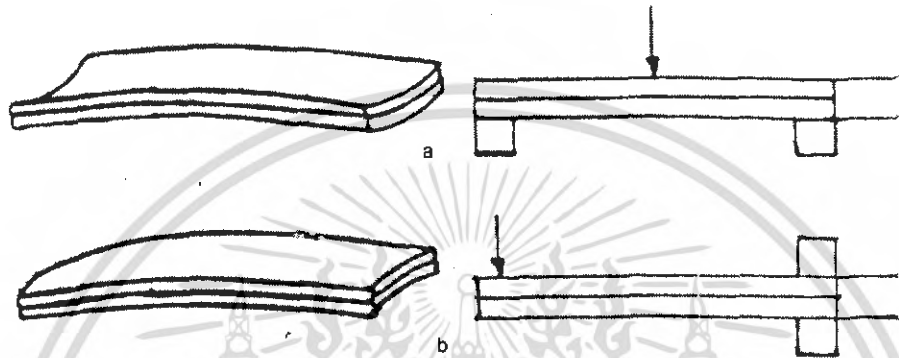


รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะของแรงที่มากระทำกับแผ่นซิมเปิลเพลทในทิศทางต่างๆกัน จนทำให้เกิดการ ขยุตัวหรือเปลี่ยนแปลงรูปไป

2.3.2.2 สแต็ค (stack หรือ multiple arrangement) เป็นการนำเอาชิ้นส่วนเป็ยโซอิเล็กทริกมาต่อกันในลักษณะโหมดของคอมเพลสชั่น – เอ็กซ์แพนชั่น (compression – expansion mode) ดังแสดงในรูปที่ 2.16 โดยการนำเอาชิ้นส่วนมาต่ออนุกรมกันก็จะได้อาพุทพุตโวลเตจ (output voltage) ออกมาสูงที่แรงกดดันอันเดียวกัน หรือถ้าเอามาต่อขนานกันก็จะได้อาพุทอิมพีแดนซ์ (output impedance) ต่ำกว่าชิ้นส่วนตัวเดียว ซึ่งสามารถแบ่งลักษณะได้ดังนี้

(a) ไบเมอร์ฟ หรือ เบนเดอร์ (bimorphs , benders) : ประกอบด้วยเพลทแบบทรานสเวอร์สเอ็กซ์แพนดิ้ง 2 อัน (transverse expanding) ติดกันไว้อย่างแน่นหนา ซึ่งเมื่อป้อนเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

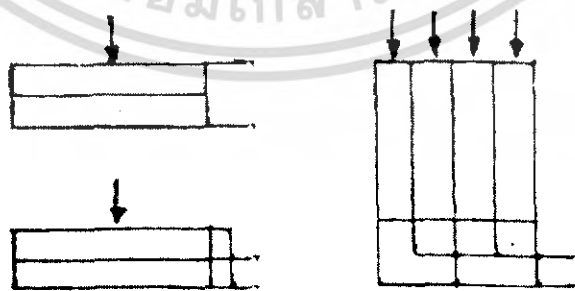
แรงดันให้แก่มันก็จะเกิดการโค้งงอ และการโค้งงอของชิ้นงานส่วนนี้เป็นเหตุให้เกิดความต่างศักย์ระหว่างแผ่นอิเล็กโทรด ดังแสดงในรูปที่ 2.17 a และ 2.17 b ซึ่งรูป 2.17 a เป็นการติดตั้งชิ้นส่วนเปียโซอิเล็กทริกไว้บนขาตั้งที่อยู่กับที่และมีแรง F มากกระทำที่ตรงกลางแผ่น ส่วนในรูปที่ 2.17 b จะเป็นการติดตั้งวัสดุเปียโซอิเล็กทริก โดยที่มีการยึดปลายของวัสดุเพียงด้านเดียวในลักษณะที่เป็นที่ทำความแฉน ระบบนี้เป็นที่ใช้บ่อยในโฟโนกราฟ พิกอัป คาทริดจ์ (phonograph pickup cartridge)



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะการต่อวัสดุเปียโซอิเล็กทริกแบบไบมอร์ฟ หรือเบนเดอร์ โดยที่มีแรงมากกระทำกับวัสดุ

2.17 a แสดงการติดตั้งวัสดุบนขาตั้งที่อยู่กับที่ โดยมีแรง F ใดๆมากกระทำกับวัสดุ ณ จุดกึ่งกลางของวัสดุ และผลที่เกิดขึ้นหลังจากมีแรงมากกระทำ

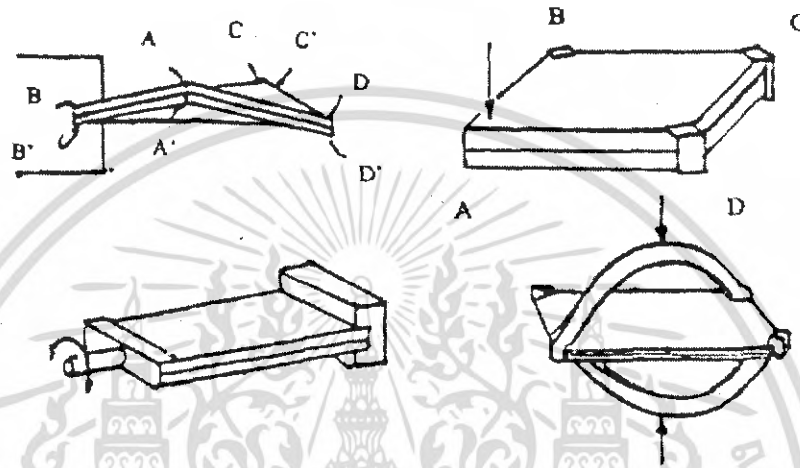
2.17 b แสดงการติดตั้งวัสดุที่มีจุดยึดที่ปลายด้านหนึ่ง โดยมีแรงมากกระทำที่ปลายอีกด้านหนึ่งและผลที่เกิดขึ้นหลังจากมีแรงมากกระทำ



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะการต่อวัสดุเปียโซอิเล็กทริกในโหมดของคอมเพลสชั่น - เอ็กซ์แพนชั่น (b) ทวิสเตอร์ (twisters) : ในรูปที่ 2.19 แสดงเฟลทแบบเฟสเชียร์ (face - shear plate) 2 อัน วางประกบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันอย่างแน่นอน ถ้าจ่ายแรงเคลื่อนไฟฟ้าให้แก่แผ่นเพลททั้งสองแล้วมันจะเคลื่อนไหวโดยอิสระ การแผ่ขยายตัวจะมีมาก การขยายตัวก็จะเข้าไปในแนวเส้นทแยงมุม AC โดยที่ A'C' ขยายตัว ทำนองเดียวกันกับเส้นทแยงมุม BD ขยายตัวและ B'D' ประกอบกันอยู่



รูปที่ 2.7 แสดงการต่อวัสดุเพียโซอิเล็กทริกเป็นแบบสเต็ค ในลักษณะของทรานสดิวเซอร์

2.2.3 ชนิดของเพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

เพียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์สามารถจำแนกได้เป็น 2 ชนิด คือ

2.3.3.1 ทรานสดิวเซอร์แบบเจเนอเรชัน (generation – action transducer) ใช้เป็นตัวรับโคแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะหาได้จากแรงดันและความถี่ที่มากระทำต่อวัสดุเพียโซอิเล็กทริก

2.3.3.2 ทรานสดิวเซอร์แบบมอเตอร์ แอคชัน (motor – action transducer) ใช้เป็นตัวส่งโดยการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างที่ทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิก จะขึ้นอยู่กับความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้ ในทั้ง 2 กรณี ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับขนาดของวัสดุเพียโซอิเล็กทริก

2.2.4 การทำงานของทรานสดิวเซอร์ตัวส่งและตัวรับ

สำหรับทางด้านตัวส่ง เมื่อทรานสดิวเซอร์ได้รับสัญญาณแรงดันมาครบรอบ จะทำให้ชิ้นสารเพียโซอิเล็กทริกโก่งงอ ทำให้เกิดการอัดอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นขึ้นมา ดังนั้นถ้าป้อนสัญญาณเป็นห้วงๆ (pulse) จากออสซิลเลเตอร์ ก็จะทำให้ชิ้นสารโก่งงอมากขึ้นหรือทิศทางใดตามขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และทิศทางการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณไฟฟ้าจากออสซิลเลเตอร์นั้น โดยทั่วไปกำลังเอาท์พุทที่ออกมาจะตกลงประมาณ 10 % ของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้ แต่เอาท์พุทจะสูงที่ค่านี้โดยประมาณก็ต่อเมื่อความถี่ของสัญญาณออสซิลเลเตอร์ที่ป้อนเข้าขึ้นตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ที่เป็นความถี่ทางกลตามธรรมชาติของชิ้นส่วนนั้นๆ ส่วนที่ความถี่อื่นๆ กำลังเอาท์พุทจะลดลงยิ่งกว่านี้

ส่วนการทำงานของด้านรับ มีการทำงานตรงกันข้ามกับทางด้านตัวส่ง คือเมื่อมีคลื่นเสียงที่มีความถี่ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ของชิ้นส่วนเข้ามาก็จะทำให้ชิ้นส่วน โกงตัวไปมาและเกิดสัญญาณเป็นแรงดันไฟฟ้าขึ้นมาคร่อมขั้วทั้งสองของชิ้นส่วนตัวรับ

คุณสมบัติโดยทั่วไปอย่างหนึ่งของออสซิลเลเตอร์แบบเพียโซอิเล็กทริก คือมีความต้านทานต่อไฟตรงสูงมากและอาจสูงถึง 100 เมกะโอห์มเลยก็ได้

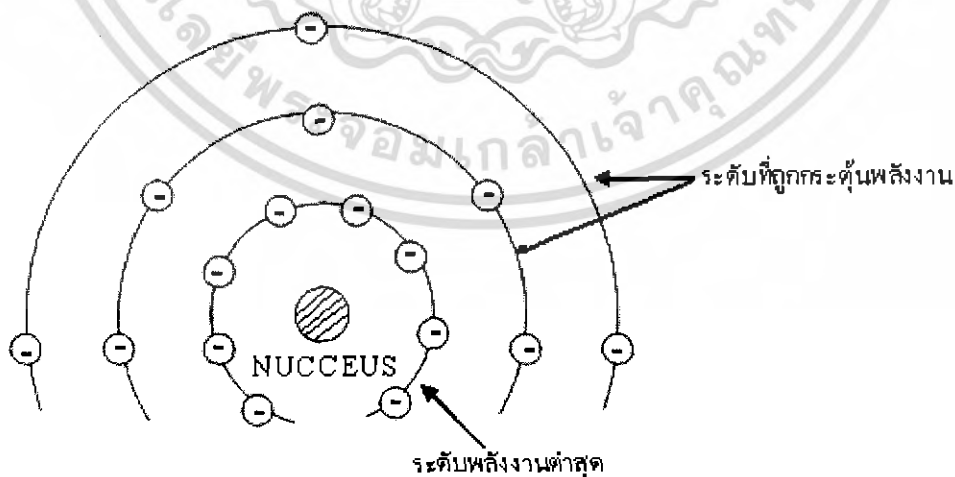
เครื่องวัดความเร็วโดยใช้แสงอินฟราเรด

2.3 อุปกรณ์แสง (OPTICAL DEVICE)

2.3.1 การเปลี่ยนไฟฟ้าเป็นแสง

2.3.1.1 โครงสร้างของการกำเนิดแสง

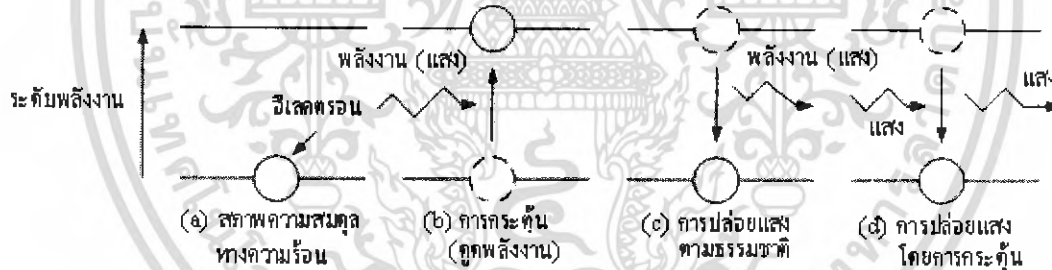
โดยทั่วไปแล้ว อะตอม(Atom)ที่ประกอบอยู่ในสารต่างๆ(ก๊าซ ของเหลว และของแข็ง) จะมีโครงสร้างดังรูป นั่นคือมีส่วนที่เรียกว่า นิวเคลียส(Nucleus) อยู่ตรงกลาง และจะมี อิเล็กตรอน(Electron) จำนวนหนึ่งหมุนอยู่รอบๆ นิวเคลียส โดยมีระยะห่างที่แน่นอน



รูปที่ 2.8 แสดง โครงสร้างและระดับพลังงานของอะตอม

อิเล็กตรอนเหล่านี้จะมีพลังงานที่เป็นสัดส่วนกับระยะทางจากนิวเคลียส (พลังงานนี้เรียกว่า ระดับพลังงาน - Energy Level) ระดับพลังงานที่ต่ำที่สุดเรียกว่า Ground State Level และ ระดับพลังงานที่สูงกว่านี้เรียกว่า Stimulated Level จำนวนอิเล็กตรอนที่มีอยู่ในระดับพลังงานนั้นจะมีจำนวนที่แน่นอนขึ้นอยู่กับชนิดของสาร แต่โดยปกติแล้วอิเล็กตรอนจะออกันอยู่ที่ระดับพลังงานต่ำอันเป็นคุณสมบัติโดยธรรมชาติ

สมมติว่ามีอิเล็กตรอนอยู่ที่ระดับพลังงานต่ำ และไม่มีอิเล็กตรอนอยู่ที่ระดับพลังงานสูงเลย ดังรูป(a) ในสภาพนี้หากเราให้พลังงานที่มีค่าเท่ากับผลต่างของระดับพลังงานทั้งสอง อิเล็กตรอนจะดูดเอาพลังงานดังกล่าวแล้วเลื่อนจากระดับพลังงาน E1 ไปยัง ระดับพลังงาน E2 ดังรูป (b) การให้พลังงานจากภายนอกในลักษณะนี้เรียกว่าการกระตุ้น(Stimulation) และการที่อิเล็กตรอนเลื่อนไปยังระดับพลังงานอื่นนั้นเรียกว่า การถ่ายเท (Transfer)



รูปที่ 2.9 แสดงระดับพลังงานและขั้นตอนของการถ่ายเท

และเมื่อปล่อยอิเล็กตรอนไว้ มันจะถูกนิวเคลียสดึงกลับมาสู่สถานะเดิมที่เรียกว่า Stable State จะทำการปล่อยพลังงาน (Emission) ออกมาเท่ากับ E1-E2 ดังรูปที่ (c) ปรากฏการณ์เช่นนี้เรียกว่าการปล่อยพลังงานออกมาตามธรรมชาติ (Natural Emission) ในกรณีที่ปล่อยพลังงานออกมาในรูปของแสงจะเรียกว่า Natural Light Emission เนื่องจากว่าสารต่างๆแบ่งได้เป็นพวกที่ทำให้เกิดแสงได้ง่ายกับพวกที่ทำให้เกิดได้ยาก ดังนั้นจึงไม่สามารถกำหนดได้ว่าสารทุกชนิดจะทำให้เกิดแสงได้ จากทฤษฎีของ Quantum Dynamics ความยาวคลื่นที่ได้จากการปล่อยแสงออกมานี้จะหาได้จากสมการ

$$\lambda = (C \times h) / (E1-E2) \quad (m) \quad (22)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

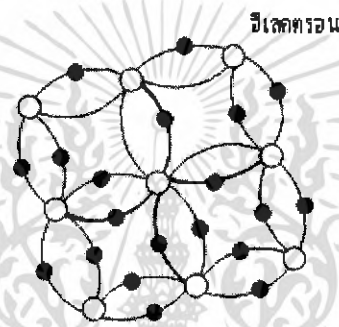
โดยที่ λ หมายถึง ความยาวคลื่นแสง (m)

c หมายถึง ความเร็วแสง ($= 3 \times 10^8$ m/sec)

h หมายถึง Plank Constant ($= 6.625 \times 10^{-34}$ Joule.sec)

นั่นคือความยาวคลื่นแสงจะเป็นสัดส่วนกลับกับผลต่างของพลังงาน และ ผลต่างของพลังงานนี้กำหนดจากชนิดของอะตอมที่ประกอบเป็นอุปกรณ์ที่กำเนิดแสงด้วย ดังนั้นความยาวคลื่นแสงที่ปล่อยออกมาจึงมีค่าจำเพาะ อุปกรณ์กำเนิดแสงที่ใช้การปล่อยแสงตามธรรมชาตินี้ได้แก่ หลอดนีออนกำเนิดแสง และ ไดโอดกำเนิดแสง (LED – Light Emitting Diode)

2.3.1.2 โครงสร้างและการทำงานของสารกึ่งตัวนำ(Semiconductor)



รูปที่ 2.10 แสดงตัวอย่างการจัดอิลีคตรอนและนิวเคลียสในสารกึ่งตัวนำ

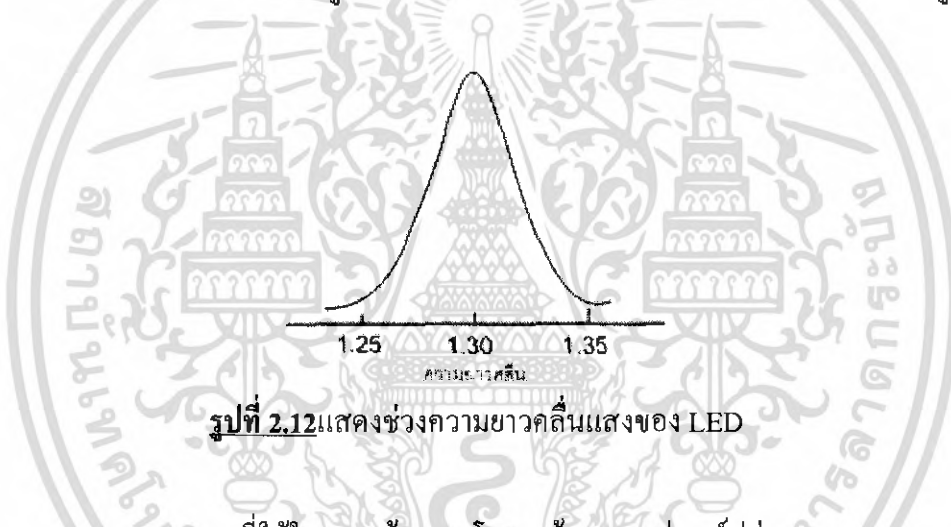
สำหรับสารกึ่งตัวนำนั้นจะมีอะตอมจำนวนมากจัดเรียงอย่างมีระเบียบดังรูป ด้วยเหตุนี้อิลีคตรอนของแต่ละอะตอมจะทำหน้าที่เชื่อมโยงกับอะตอมข้างเคียง และมีตำแหน่งอยู่ระหว่างอะตอมทั้งสองนั้นคือมันจะรับผลการดึงดูดจากอะตอมข้างเคียงสภาพพลังงานที่อะตอมได้รับนั้นถ้าหากจะกล่าวในทาง QUANTUM DYNAMIC แล้วจะแตกต่างกับกรณีที่มีอะตอมเพียงอันเดียวดังที่ได้กล่าวมาแล้วในรูป กล่าวคือในกรณีนี้มันจะแบ่งออกเป็น 2 สภาพ สภาพหนึ่งเป็นระดับพลังงานสูงเรียกว่า CONDUCTION BAND และอีกสภาพหนึ่งเป็นระดับพลังงานที่ต่ำเรียกว่า VALENCE BAND และสภาพทั้งสองนี้ต่างก็มีความกว้างของพลังงานอยู่ดังแสดงใน



รูปที่ 2.11 แสดงระดับพลังงานในสารกึ่งตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยปกติแล้วอิเล็กตรอนจำนวนมากจะรวมตัวกันอยู่ที่ VALENCE BAND ซึ่งมีระดับพลังงานต่ำและจะมีอิเล็กตรอนจำนวนเล็กน้อยอยู่ใน CONDUCTION BAND ซึ่งเป็นระดับพลังงานสูงส่วนทางด้านไดโอด (LED : LIGHT EMITTING DIODE) นั้นต่างกับ LD คือแทนที่จะใช้ปรากฏการณ์ STIMULATED EMISSION แต่จะใช้ปรากฏการณ์ของ NATURAL EMISSION แทน ดังนั้น แสงที่ได้ออกมาจะช่วงความยาวคลื่นแสงกว้างมาก ทั้งนี้เพราะกำหนดจากความสัมพันธ์ของพลังงาน CONDUCTION BAND กับ VALENCE BAND ที่มีความกว้างของพลังงานอยู่ในตัว และช่วงความยาวคลื่นแสงนี้เรียกว่า SPECTRUM WIDTH และ OUTPUT POWER ของ LED เมื่อเทียบกับ LD แล้วมีค่าน้อยกว่า แต่มีข้อดีคือโครงสร้างของ LED ไม่ยุ่งยากทำให้สร้างได้ง่าย และมีราคาถูกกว่ามาก ช่วงความยาวคลื่นแสงของ LED แสดงดังรูป



รูปที่ 2.12 แสดงช่วงความยาวคลื่นแสงของ LED

2.3.1.3 สารที่ใช้ในการสร้างและโครงสร้างของอุปกรณ์เปล่งแสง

ก) สารที่ใช้ในการสร้างอุปกรณ์เปล่งแสง

ตามที่ได้เคยกล่าวมาแล้วปรากฏการณ์เปล่งแสงนั้นไม่ได้เกิดขึ้นกับสารกึ่งตัวนำทุกชนิด ทั้งนี้ก็เพราะว่ามีสารพวกที่เกิดปรากฏการณ์เปล่งแสงนั้นง่ายกับสารที่เกิดการเปล่งแสงยาก เนื่องจากการเปล่งแสงยากเนื่องจากการเปล่งแสงนั้นเกิดจากการที่อิเล็กตรอนถ่ายเท

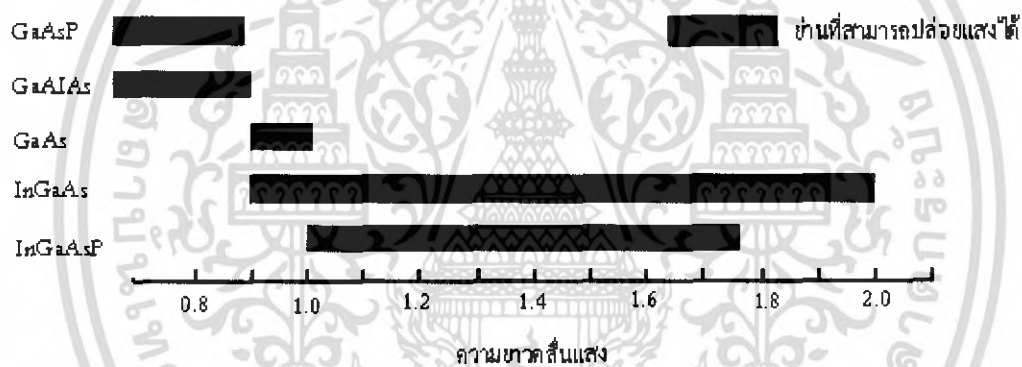
(TRANSFER) จาก CONDUCTION BAND ไปยัง VALENCE BAND ซึ่งแบ่งสารออกเป็นพวกที่อิเล็กตรอนถ่ายเท (TRANSFER) ได้ง่ายกับพวกที่อิเล็กตรอนถ่ายเทได้ยาก พวกที่อิเล็กตรอนถ่ายเทได้ง่ายเรียกว่า DIRECT TRANSFER SEMICONDUCTOR พวกที่อิเล็กตรอนถ่ายเทได้ยากเรียกว่า INDIRECT TRANSFER SEMICONDUCTOR ตัวอย่างของสารพวก DIRECT TRANSFER SEMICONDUCTOR ได้แก่ สารประกอบของ INDIUM (IN), GALLIUM (GA), ARSENIDE (AS), และฟอสฟอรัส (P) คือ InGaAsP, สารประกอบของ GALLIUM,

ALUMINIUM, ARSENIDE คือ GaAlAs เป็นต้น อนึ่งสารพวก SILICON (Si) GERMANIUM เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Ge) ที่ใช้ทำทรานซิสเตอร์, IC นั้นส่วนใหญ่ INDIRECT TRANSFER SEMICONDUTOR ปล่อยแสงออกมา เนื่องจากความยาวคลื่นแสงที่ปล่อยออกมานั้นเป็น สัดส่วนกับพลังงานของ CONDUCTION BAND กับ VALENCE BAND แต่ทว่าผลต่างของพลังงานนี้จะ ค่าแตกต่างกันตามส่วนประกอบสารกึ่งตัวนำ จำให้มีความยาวคลื่นแสง ค่าต่างๆ ความสัมพันธ์ระหว่างคลื่นกับสารประกอบกึ่งตัวนำ จึงทำให้ความยาวคลื่นกับ

สารประกอบของอุปกรณ์ปล่อยแสง แสดงดังรูป และจากการพิจารณาถึงคุณสมบัติต่างๆ ของสารในทางปฏิบัติสำหรับย่านความยาวคลื่น 0.85 um นิยมใช้

GaAlAs และผ่านความยาวคลื่น 1.3 um นิยมใช้ InGaAsP ในระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง การเลือกใช้ความยาวคลื่นแสงถือเป็นองค์ประกอบที่สำคัญมาก จึงมีผลจำกัดต่อการเลือกใช้ สารประกอบซึ่งจะได้กล่าวถึงรายละเอียดภายหลัง



รูปที่ 2.13 แสดงความยาวคลื่นแสงที่ปล่อยออกมาของสารกึ่งตัวนำแต่ละชนิด

ข) โครงสร้างของอุปกรณ์ปล่อยแสง

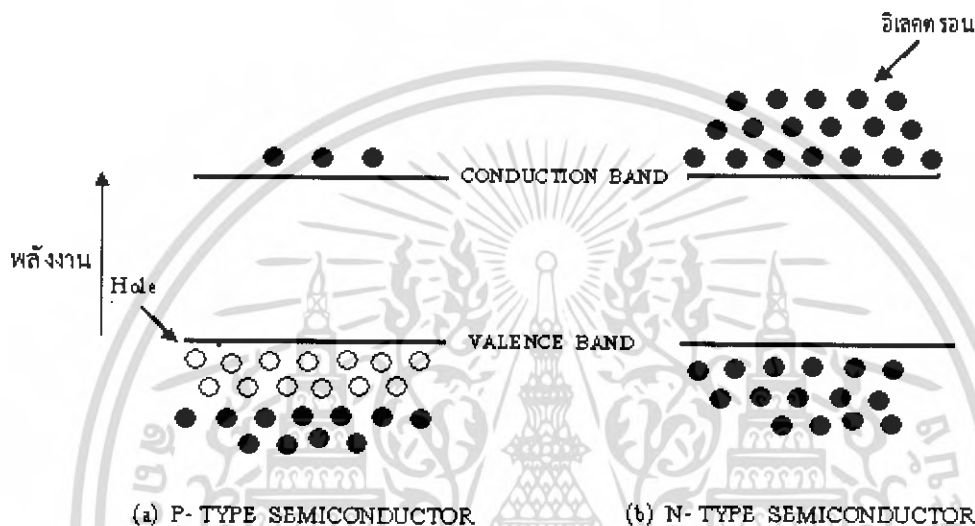
a) P-N JUNCTION

เกี่ยวกับโครงสร้างของอุปกรณ์ปล่อยแสง จากด้านการใช้งานเพื่อให้ได้กำลังการปล่อย แสงที่มีประสิทธิภาพสูงนั้น การนำสารกึ่งตัวนำ P และ N มาเชื่อมต่อกัน (JUNCTION) นั้นเป็นสิ่งสำคัญยิ่ง ดังนั้นเพื่อเป็นการทำให้เข้าใจขั้นตอนการปล่อยแสง อันเนื่องมาจากโครงสร้างของ อุปกรณ์ปล่อยแสงที่เป็นสารกึ่งตัวนำนั้น ในที่นี้จะอธิบายถึงคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำแบบ P - TYPE และแบบ N - TYPE ก่อน

สำหรับสารกึ่งตัวนำนั้นปกติจำนวนของอิเล็กตรอน (หรือจำนวน HOLE) ที่มีอยู่นั้นจะมีค่าคงที่ตามชนิดของอะตอม และอิเล็กตรอนส่วนใหญ่จะรวมตัวกันอยู่ใน VALENCE BAND ดัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้เคยกล่าวมาแล้วในตอนต้นสารกึ่งตัวนำที่มีสภาพอย่างนี้เรียกว่า GENUINE SEMICONDUCTOR แต่สารที่เรียกว่า P - TYPE SEMICONDUCTOR นั้นมีสภาพที่มีจำนวน HOLE (อนุภาคที่มีประจุ + ในตัว) และมีอิเล็กตรอน (มีประจุ - ในตัว) น้อยดังแสดงในรูป ส่วนสารที่เรียกว่า N - TYPE SEMICONDUCTOR นั้นจะมีสภาพตรงกันข้ามกับ P - TYPE SEMICONDUCTOR กล่าวคือมีอิเล็กตรอนมากกว่า HOLE และจำนวนอิเล็กตรอนที่มากเกินไปจะรวมตัวกันอยู่ใน CONDUCTION BAND ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.14 แสดงระดับพลังงานของสารกึ่งตัวนำแบบ P - TYPE และ N - TYPE

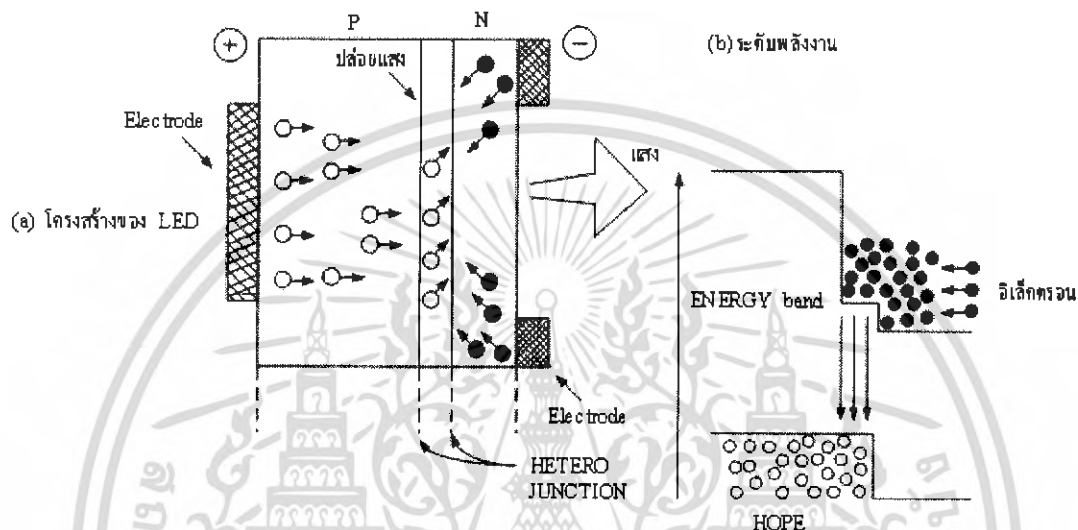
คราวนี้สมมุติว่าเรานำสารกึ่งตัวนำทั้งสองแบบมาเชื่อมต่อกัน และบริเวณที่เชื่อมต่อกันนั้นอิเล็กตรอนที่มีจำนวนมากใน N - TYPE จะรวมตัวกับ HOLE ที่มีจำนวนมากใน P - TYPE ดังรูป และจากปริมาณการรวมตัวที่เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ นั้น ทำให้เกิดประจุไฟฟ้า - ใน P - TYPE (เพราะว่า HOLE ลดลงเหลือแต่อิเล็กตรอน) และเกิดประจุไฟฟ้า + ขึ้นใน N - TYPE (เพราะว่าอิเล็กตรอนลดลงเหลือแต่ HOLE) ดังรูป จากผลอันนี้ทำให้เกิดสภาพ DEPLETION ZONE ขึ้นตรงบริเวณใกล้ๆ รอยเชื่อมต่อและได้โครงสร้างของระดับพลังงานดังรูป เกี่ยวกับโครงสร้างของระดับพลังงานนี้มีความหมายสำคัญอย่างยิ่งในการนำไปใช้พิจารณาโครงสร้างของอุปกรณ์เปล่งแสงที่จะได้กล่าวถึงในอันดับต่อไปนี้

b) โครงสร้างของ LED (LIGHT EMITTING DIODE)

โครงสร้างพื้นฐานของ LED เหมือนกันกับของ LD กล่าวคือเป็น DOUBLE HETERO JUNCTION อิเล็กตรอนที่ไหลผ่าน P - N JUNCTION จะไปรวมกับ HOLE ภายใน ACTIVE LAYER เช่นเดียวกับกรณีของ LD ดังแสดงในรูป และจะเกิดการเปล่งแสงขึ้นภายใน

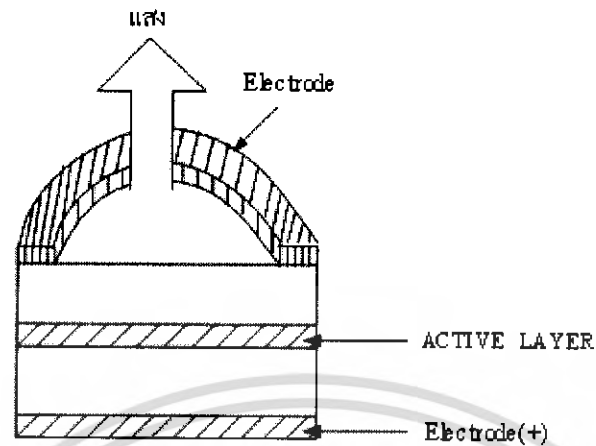
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ACTIVE LAYER เนื่องจากถูกกักด้วยกำแพงของ HETERO JUNCTION แต่สำหรับกรณีของ LED นั้น โครงสร้างของมันไม่มีการขยาย OSCILLATION ของแสงเหมือนอย่าง LD (ไม่มี กระจกสะท้อนแสง) แสงที่ปล่อยออกมาตรงส่วนที่อยู่ห่างจากด้านข้างนั้นจึงออกจากด้านได้ยาก ด้วยเหตุนี้ LED ทั่วไปจึงให้แสงปล่อยออกมาข้างนอกด้านหน้าที่ต่อกับขั้วไฟฟ้า ดังรูป



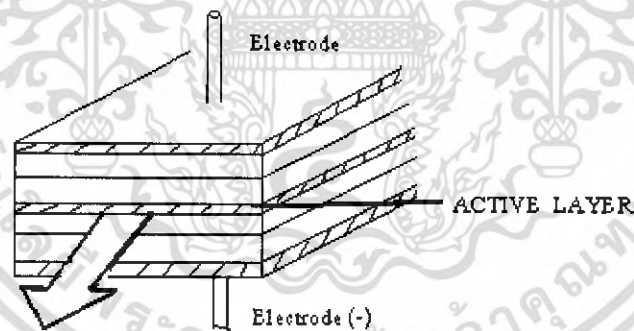
รูปที่ 2.15 แสดงโครงสร้างและระดับพลังงานของ LED

ตัวอย่างโครงสร้างของ LED แบบที่แสงปล่อยออกมาทางด้านหน้า FACE EMISSION TYPE LED แสดงดังรูป จากรูปจะเห็นได้ว่าเป็นการทำให้แสงปล่อยออกมาได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น ขั้วไฟฟ้าทางด้านที่ปล่อยแสงออกมาจะต้องมีรูปร่างเป็นรูปวงแหวน



รูปที่ 2.16 แสดงตัวอย่าง โครงสร้างของ LED แบบปล่อยแสงทางด้านหน้า

นอกจากนี้ในปัจจุบันได้มีการผลิต LED และแบบหนึ่งขึ้นมา โดยการทำให้ค่าดัชนีการหักเหของ ACTIVE LAYER มีค่าสูง และทำให้เกิดปฏิกิริยาการนำแสงขึ้นใน ACTIVE LAYER และให้แสงปล่อยออกมาจากด้านข้างของ ACTIVE LAYER เหมือนกันกับ LD ดังแสดงในรูป



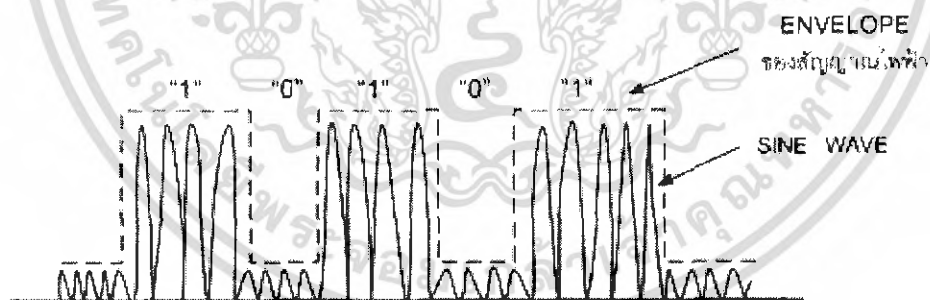
รูปที่ 2.17 แสดงตัวอย่าง โครงสร้างของ LED แบบปล่อยแสงออกทางด้านข้าง

LED แบบนี้เรียกว่า LED แบบปล่อยแสงออกมทางด้านข้าง (SIDE EMISSION TYPE LED) และเมื่อเปรียบเทียบกับแบบปล่อยแสงออกมทางด้านหน้าแล้วปรากฏว่า โดยการให้กระแสไหลผ่านเท่ากันจะได้แสงออกมามีกำลังน้อยกว่าแบบปล่อยแสงออกมทางด้านหน้า แต่เนื่องจากบริเวณการปล่อยแสงมีขนาดแคบมากกว่าจึงมีข้อดีที่ว่ามีประสิทธิภาพการเชื่อมแสงกับเส้นใยแสงสูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1.4 คุณสมบัติต่างๆ ของอุปกรณ์ปล่อยแสง

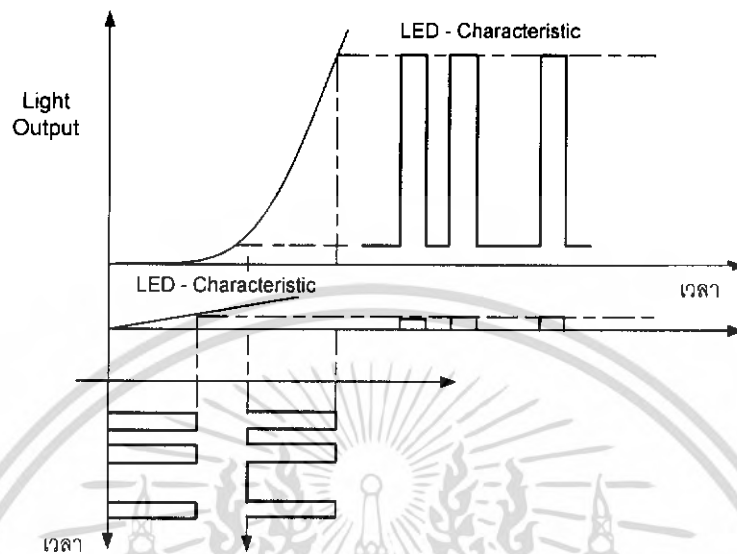
คุณสมบัติต่างๆ ที่ต้องการจากอุปกรณ์ปล่อยแสงได้แก่ คุณสมบัติการผสมของแสงกับไฟฟ้า (นั่นคือ OUTPUT POWER ของแสง, ความเป็นเส้นตรงหรือ LINEARITY), ความกว้างของ SPECTRUM ของแสง, ความเร็วในการตอบสนองต่อความถี่ (FREQUENCY RESPONSE SPEED) เป็นต้น จากที่ได้กล่าวมาแล้วในปัจจุบันแสงที่ได้จากอุปกรณ์ปล่อยแสงจะมีความยาวคลื่นจำนวนหนึ่งปนอยู่ ดังนั้นจึงไม่สามารถใช้แสงเป็นคลื่นพาหะ (CARRIER WAVE) สำหรับ FREQUENCY MODULATION, PHASE MODULATION ของสัญญาณไฟฟ้าได้เหมือนอย่างที่ใช้ในการส่ง MULTIPLEX ในระบบการส่งสัญญาณ ANALOG ของ CARRIER TRANSMISSION, MICROWAVE TRANSMISSION ที่จะใช้การผสมที่เรียกว่า INTENSITY MODULATION ที่ใช้อยู่ทั่วไป แต่จะใช้การผสมที่เรียกว่า INTENSITY MODULATION ซึ่งทำการผสมโดยตรงกับความเข้มของแสง ยกตัวอย่างเช่น ในการส่งสัญญาณ DIGITAL, OUTPUT WAVE FORM ที่ได้จะเป็นดังแสดงในรูป กล่าวคือแสงจะเกิดการกระพริบสว่าง, คับตามสัญญาณไฟฟ้าเป็น “ 1 ” “ 0 ” ตามความเป็นจริงแล้วความยาวคลื่นของสัญญาณจะมีค่าสั้นกว่าความยาวคลื่นของสัญญาณไฟฟ้ามก ดังนั้นใน ENVELOPE “ 1 ” สัญญาณไฟฟ้าจะมีแสงที่มีความยาวคลื่นหลายค่าอยู่ข้างใน ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.18 แสดง OUT PUT WAVE FORM ของแสงและการผสม (MODULATION) ในการ ส่งสัญญาณ DIGITAL

ส่วนคุณสมบัติการผสมของอุปกรณ์ปล่อยแสงแสดงดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 แสดงการผสมแบบ LIGHT INTENSITY MODULATION

จากรูป จะเห็นได้ว่าเนื่องจาก LED ใช้ปรากฏการณ์การปล่อยแสงตามธรรมชาติ ดังนั้น ปริมาณของแสงที่ปล่อยออกมาจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสที่ป้อนเข้าไป (กระตุ้น) แต่ สำหรับ LD นั้นใช้ปฏิกิริยาการ OSCILLATION โดยการกระตุ้นให้ปล่อยแสง (STIMULATED EMISSION) ดังนั้นปริมาณของแสงที่ปล่อยออกมานั้นมีลักษณะที่มีการเพิ่มปริมาณขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเลขค่าของกระแสค่าหนึ่ง (THRESHOLD VALUE CURRENT) ไปแล้ว (โปรดดูรูป ประกอบ) ตัวอย่างคุณสมบัติต่างๆของ LED และ LD ที่กล่าวมาแล้ว จากการพิจารณาคุณสมบัติต่างๆ ในตารางนี้จะเห็นว่าเกี่ยวกับ OUTPUT POWER ของแสงนั้น LD จะมีค่ามากกว่า เพราะมีการ OSCILLATION และการขยายของแสงและเกี่ยวกับ OUTPUT POWER ที่ป้อนเข้าไปในเส้นใยแสงก็เช่นกัน เนื่องจาก LD มีคุณสมบัติของทิศทางของแสง (DIRECTIVITY) ดีกว่า เป็นผลให้มีการสูญเสียการเชื่อมแสงกับเส้นใยแสงต่ำ ทำให้ POWER ของแสงป้อนเข้าไปในเส้นใยแสง ได้มาก

เกี่ยวกับ SPECTRUM ของแสงนั้น จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าใน LED มีผลมาจากสาเหตุ ที่ CONDUCTION BAND กับ VALENCE BAND มีพลังงานเป็นช่วงกว้างทำให้มี SPECTRUM ของแสงกว้าง แต่ LD นั้นมีพลังงานเป็นช่วงแคบอันเนื่องมาจากขบวนการ OSCILLATION ทำให้ มี เกี่ยวกับ SPECTRUM ของแสงแคบ นอกจากนั้นการทำงานสว่างดับ (กระพริบ) ของแสงนั้น

ถ้าหากเวลาการรวมกันของอิเล็กตรอนกับ HOLE ยิ่งสั้นจะยิ่งมี SPEED เร็วมาก กล่าวคือถ้าหากอิเล็กตรอนและ HOLE มีจำนวนมาก นั่นคือความหนาแน่นของกระแสมีมากเท่าไร จะทำให้ค่าเฉลี่ยของเวลาการรวมกันของอิเล็กตรอนกับ HOLE มีค่าน้อยลงเท่านั้น สำหรับ LED นั้นค่าเวลานี้มีค่าประมาณหลาย nano second (1 nano second = 10^{-9} second) ดังนั้นถ้าหากเป็นความถี่จะได้ความถี่หลายร้อย MHz (ความถี่ = 1/เวลา, MHz = 10^6 Hz) ส่วนกรณีของ LD เนื่องจากค่าความหนาแน่นของกระแสที่กระตุ้นมีค่ามากให้เวลาการรวมกันของอิเล็กตรอนกับ HOLE มีค่าน้อย ถ้าเป็นความถี่จะได้หลาย GHz (1 GHz = 10^9 Hz) ซึ่งความถี่เหล่านี้แสดง FREQUENCY RESPONSE SPEED จะสูงขึ้นเท่านั้น ส่วนอายุการใช้งานของอุปกรณ์ปล่อยแสงทั้งสองไม่มีปัญหาอะไรเลยในการใช้งานและในอนาคต อันใกล้คงเทคโนโลยีการผลิตที่ทำให้ LD มีอายุการใช้งานเท่ากับ LED

2.3.1.5 การขับ LED

1. ขับด้วยตัวต้านทาน



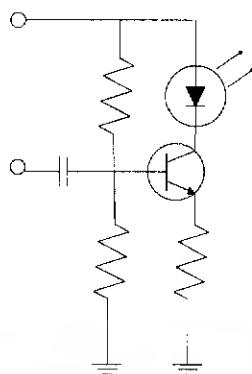
รูปที่ 2.20 แสดงการขับ LED ด้วยตัวต้านทาน

$$I_F = (V_{CC} - V_F) / R \quad (23)$$

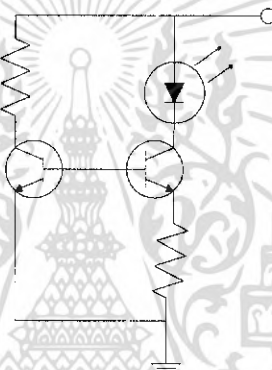
โดยที่ ค่า I_F และ V_F Data Sheet ของ LED

ค่า V_{CC} และค่า R ยิ่งสูงยิ่งดีเพราะแสงที่ปล่อยออกมาจะ Stable ดี

2. การขับด้วยทรานซิสเตอร์



รูปที่ 2.21 แสดงการขับด้วยทรานซิสเตอร์



รูปที่ 2.22 การขับLED

$$I_F = \{V_{CC} [R1/(R1+R2)] - V_{BE}\} \quad (\text{mA})$$

$$I_F = I_{E2} = V_{BE1} / R_E$$

2.3.2 การเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้า

2.3.2.1 โครงสร้างและการทำงานของกรับแสง

การรับแสง หมายถึง การเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้า ในกาทำงานนี้แบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ การเปลี่ยนสัญญาณแสงโดยตรง(PHOTO ELECTRIC EFFECT) และเปลี่ยนแปลงพลังงานแสงให้เป็นพลังงานความร้อนก่อนแล้วจึงเปลี่ยนเป็นไฟฟ้า (SENSITIVE HEAT EFFECT)

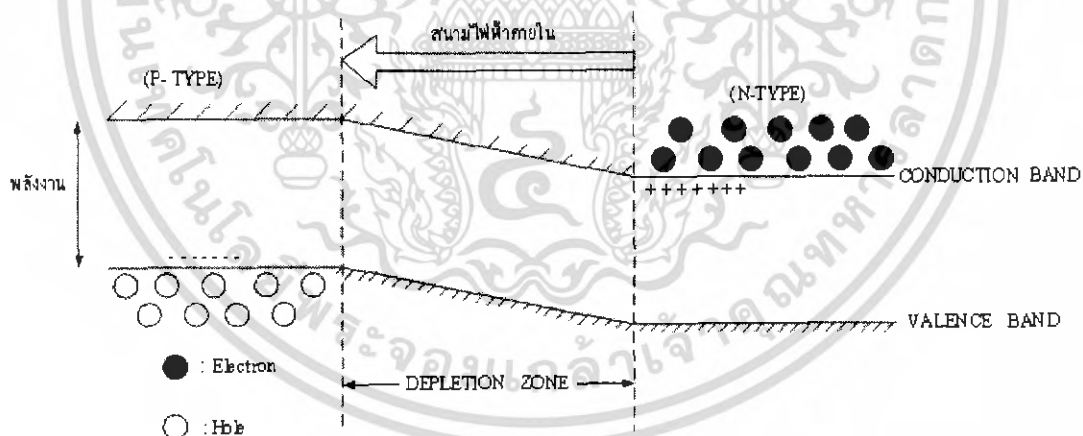
วิธีการตรวจแสงโดยใช้ SENSITIVE HEAT EFFECT นั้นโดยทั่วไปจะมีการตอบสนองช้ามากและความไวไม่ดี THERMOCOUPLE , BOROMEYER และอื่นๆแต่ไม่นำมาใช้กับการสื่อสารด้วยแสง ดังนั้นสำหรับการสื่อสารด้วยแสงจึงควรทำความเข้าใจโครงสร้าง และการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำงานของการรับแสงโดย PHOTO ELECTRIC EFFECT สำหรับสารกึ่งตัวนำต่อไปนี้จะกล่าวถึง PHOTO ELECTRIC EFFECT

หลักการของ PHOTO ELECTRIC EFFECT ใช้ขบวนการดูดพลังงานตามที่ได้กล่าวมาแล้ว นั่นคือ เมื่อมีแสงมากระทบสารกึ่งตัวนำอิเล็กตรอนที่อยู่ใน VALENCE BAND จะเลื่อนขึ้นไปอยู่ที่ CONDUCTION BAND แต่การเลื่อนขึ้นไปนี้เป็นแต่เพียงอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปเท่านั้น และในที่สุดมันจะไปรวมกันใหม่กับ HOLE ใน VALENCE BAND อีกทำให้ไม่ได้รับ PHOTO ELECTRIC EFFECT ด้วยเหตุนี้ เพื่อที่จะเปลี่ยนแสงให้เป็นไฟฟ้าจะต้องใช้สภาวะการแยกกันของอิเล็กตรอนกับ HOLE ก่อนที่มันจะรวมกัน

สำหรับอุปกรณ์รับแสงสารกึ่งตัวนำ ก็เช่นเดียวกันกับอุปกรณ์กำเนิดแสง นั่นคือเพื่อที่จะแยกอิเล็กตรอนกับ HOLE นั้นโดยทั่วไปใช้ PN - JUNCTION ตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าที่รอยต่อของ P-N นั้นจะเกิดสนามไฟฟ้าในทิศทางขึ้น แต่มันจะถูกดึงด้วยอิเล็กตรอนของ N - TYPE และ HOLE ของ P - TYPE ซึ่งมีประจุไฟฟ้าเป็น - และ + เป็นผลให้เกิดบริเวณที่ไม่มีอิเล็กตรอนและ HOLE ขึ้นตรงรอยต่อบริเวณนี้เรียกว่า DEPLETION ZONE ดังแสดงในรูป



รูปที่ 2.23 แสดง DEPLETION ZONE

4.3.2.2 สารและ โครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง

ก.) สารของอุปกรณ์รับแสง

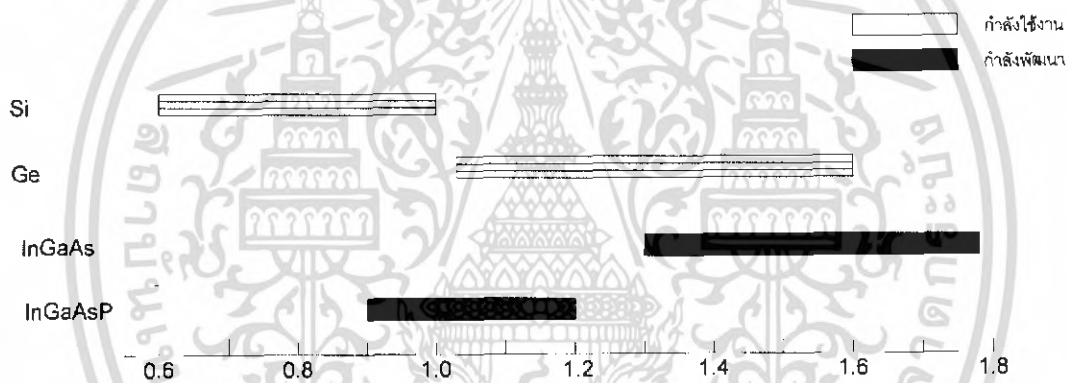
สำหรับอุปกรณ์รับแสงก็เช่นเดียวกันกับอุปกรณ์กำเนิดแสงนั่นคือมีสารหลายชนิด

นอกจากนั้นผลต่างของพลังงานของ CONDUCTION BAND และ VALENCE BAND ของเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์รับแสงมีค่าแตกต่างกันทำให้ย่านความยาวคลื่นต่างกันที่คู่สัญญาณแสงที่เข้ามาได้ง่าย (ความไวในการรับแสงดี)

คุณสมบัติความไวในการรับแสงของสารแต่ละชนิดแสดงดังรูป 2.35

ในการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงนั้นจะต้องเลือกอุปกรณ์รับแสงที่เหมาะสมกับความยาวคลื่นที่ใช้เช่นเดียวกันกับอุปกรณ์กำเนิดแสง สำหรับย่านความยาวคลื่นที่ต่ำกว่า 1 μm จะใช้ Si (SILICON) สำหรับย่านความยาวคลื่นจาก 1- 1.7 μm ใช้ Ge (GERMANIUM) เป็นส่วนใหญ่ นอกจากนั้นในปัจจุบันสำหรับความยาวคลื่นในช่วง 1.55 μm เป็นความยาวคลื่นที่มีการสูญเสียในเส้นใยแสงน้อยมาก และเป็นความยาวคลื่นที่อยู่ใน THIRD WINDOW ตามที่กล่าวมาแล้ว การใช้งานอุปกรณ์รับแสงชนิดใหม่ที่ทำจากสารที่เป็นสารประกอบของสารกึ่งตัวนำ InGaAs และอื่นๆ งามมีความไวในการรับแสงดีมากนั้น กำลังได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ



รูปที่ 2.24 แสดงความยาวคลื่นการรับแสงของอุปกรณ์รับแสงแต่ละชนิด

ข.) โครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง

ในหัวข้อที่แล้วได้กล่าวถึง SPACE ELECTRIC FIELD ตรงรอยต่อ PN - JUNCTION ที่ทำให้อิเล็กตรอนและ HOLE เคลื่อนที่ไปในทิศทางตรงกันข้าม

อุปกรณ์รับแสงที่เป็นสารกึ่งตัวนำนี้แบ่งออกเป็นพวกใหญ่ๆได้ 2 พวก ตามปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้จากภายนอก คือ

PHOTO DIODE : PD กับ AVALANCHE PHOTO DIODE : APD และ PD นั้นเป็นพวกที่ได้รับการป้อนแรงดันไฟฟ้าปริมาณน้อย ส่วนพวก APD เป็นพวกที่ได้รับการป้อนแรงดันไฟฟ้าปริมาณมาก

2.3.2.3 คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประสิทธิภาพของอุปกรณ์รับแสงประเมินจากคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ QUANTUM EFFICIENCY ซึ่งแสดงว่าแสงที่รับมานั้นถูกเปลี่ยนเป็นไฟฟ้าได้มากเท่าไร ความไวการรับแสง (ระดับรับแสงต่ำสุดที่ต้องการสำหรับการส่งที่มีคุณภาพ) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญการออกแบบระยะเวลาถ่ายเทของระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสงที่จะกล่าวถึงภายหลัง สัญญาณรบกวน (NOISE) ที่เกิดขึ้นและความไวของการตอบสนองการทำงาน สำหรับ QUANTUM EFFICIENCY กำหนดจากสารและโครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง แต่สำหรับความไวการรับแสงนั้นจะเกี่ยวข้องกับขนาดและโครงสร้างของอุปกรณ์รับแสง แต่สำหรับความไวการรับแสงนั้นจะเกี่ยวข้องกับขนาดของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้

คุณสมบัติทางไฟฟ้าของอุปกรณ์รับแสง

1. SHOT NOISE CURRENT :

เนื่องจาก APD ใช้ปรากฏการณ์การขยาย AVALANCHE ตามที่กล่าวมาแล้ว ดังนั้นจึงมีความไวสูงประมาณ 10-20 dB (10 – 100 เท่า) เมื่อเทียบกับ PD สัญญาณรบกวน (NOISE) ที่เกิดในอุปกรณ์รับแสงมีสิ่งๆที่เรียกว่า SHOT NOISE SHOT NOISE นี้เป็น NOISE อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของ PHOTO CURRENT ที่เกิดจากการกระตุ้นอิเล็กตรอนอย่างไม่เป็นระเบียบทางเวลาหรือทาง SPACE คุณสมบัติของ SHOT NOISE เป็นดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$\text{SHOT NOISE CURRENT} = I_0 M^{2+F} \quad (24)$$

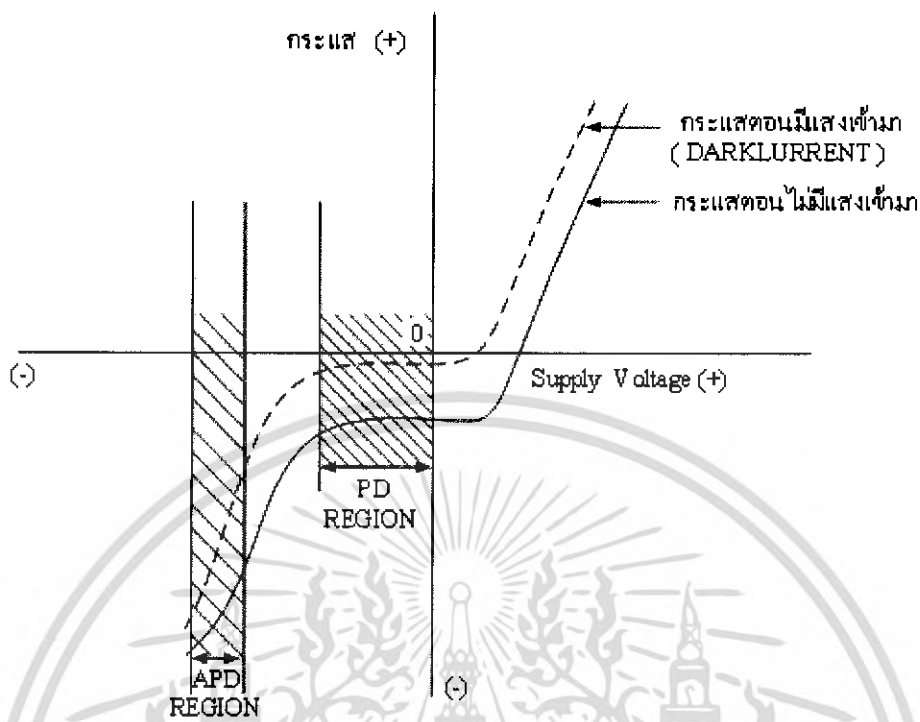
ในที่นี้ M เป็นอัตราขยายกระแสแสงของอุปกรณ์รับแสง

I_0 เป็น PHOTO CURRENT เมื่อ $M = 1$ (กรณีของ PD)

F เป็น EXCESS NOISE FIGURE มีค่ามากเมื่อเทียบกับ M

นั่นคือ จากสมการจะเห็นว่าที่ระดับการรับแสงเท่ากัน ถ้าหากทำให้แรงดันไฟฟ้าในทิศทางกลับที่ป้อนให้มีความสูง และทำให้อัตราขยายกระแสแสงเพิ่มมากขึ้นนั้น สัญญาณออก (OUT PUT SIGNAL $I_0 M^2$) จะเพิ่มมากขึ้นด้วย แต่ SHOT NOISE ก็เพิ่มมากขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน

คุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสงทั่วไปแสดงดังรูป จากรูปจะช่วยทำให้เข้าใจความแตกต่างของบริเวณการทำงานของ APD และ PD ได้ดีและในรูปนี้ได้แสดงการไหลของกระแสที่เรียกว่า DARK CURRENT ที่เกิดในสภาพที่มีแรงดันไฟฟ้าในทิศทางกลับป้อนให้ แต่ไม่มีแสงเข้ามาด้วย



รูปที่ 2.25 แสดงแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้และ PHOTO CURRENT

กระแส DARK CURRENT นี้มีลักษณะพิเศษ คือมันจะเพิ่มขึ้นเร็วกว่าการเพิ่มขึ้นของ สัญญาณออก (OUT PUT SIGNAL) SHOT NOISE เป็นสิ่งที่เกิดจาก DARK CURRENT และ อื่นๆ ที่เป็นแหล่งกำเนิดกรรมของ PD เนื่องจาก $M = 1$ ดังนั้น SHOT NOISE จึงไม่มีค่ามาก แต่ สำหรับกรรมของ APD จำเป็นต้องระวังเกี่ยวกับค่าของ M

ในการออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง นอกจากจะต้องคำนึงถึง SHOT NOISE นี้ยังมี THERMAL NOISE ที่เกิดในวงจรไฟฟ้าซึ่งไม่เกี่ยวกับสัญญาณแสงที่เข้ามา ดังนั้นในการ ออกแบบระบบการสื่อสารด้วยเส้นใยแสง จำเป็นต้องเลือกค่า M ที่เหมาะสมที่ทำให้ผลรวมของ THERMAL NOISE และ SHOT NOISE มีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับระดับของสัญญาณ

2. SHOT CIRCUIT CURRENT :

เป็นกระแสที่ได้จากการ SHORT ขาทั้งสองข้างของ PHOTO DIODE ใช้สัญลักษณ์ I_{sc}

$$I_{sc} = \square \times EV$$

โดยที่ EV หมายถึง ความเข้มของแสง (Lux)

\square หมายถึง ค่าคงที่ $6\mu A / mm^2 \times Lux$

mm^2 หมายถึง พื้นที่หน้าตัดของ PHOTO DIODE

3. OPEN CIRCUIT VOLTAGE (V_{oc}):

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นความต่างศักย์ที่ได้จากการเปิดขาทั้งสองข้างของ PHOTO DIODE เมื่อรับแสงเข้ามา จะเกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้นระหว่างขาทั้งสอง

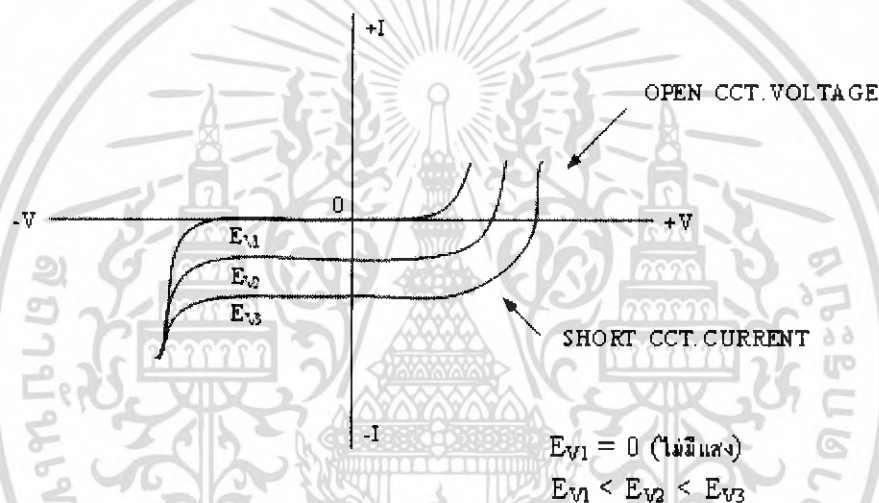
$$V_{oc} = (kT/q) \ln(I_{sc} / I_0) = (kT/q) \ln(\square EV / I_0) \quad (25)$$

โดยที่ $(kT/q) = 26 \text{ mV}$ เมื่อ k หมายถึง Boltzman Constant

T หมายถึง อุณหภูมิสัมบูรณ์

q หมายถึง ประจุของ Electron

I_0 หมายถึง REVERSE BIAS SSATURATION CURRENT



รูปที่ 2.26 แสดงคุณสมบัติของ VOLTAGE - CURRENT

4. REPOSE SPEED, RISING (T_r) และ FALLING TIME (T_f) :

ในกรณีของ PHOTO DIODE ค่าเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับค่าของ JUNCTION CAPACITANCE (C_j) และค่า LOAD RESISTANCE (R_L) ดังสมการ

$$T_r, T_f = 2.2 C_j \times R_L \quad (26)$$

$$C_j \square (V_0 - V) - Z \quad (27)$$

โดยที่ V_0 หมายถึง CONSTANT (DIFFUSION POTENTIAL) มีค่า $0.5 \sim 0.9 \text{ V}$

V หมายถึง REVERSE BIAS VOLTAGE (มีค่า -)

Z หมายถึง CONSTANT มีค่า $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$

ซึ่งจากสมการจะเห็นได้ว่า ถ้าค่า V มีค่ามาก C_j จะน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วการตอบสนองความถี่ เป็นสิ่งที่กำหนดจากเวลาที่มีสัญญาณแสงเข้ามา จนกระทั่งเกิดปรากฏการณ์ดูดแสง แต่ในปัจจุบันเนื่องจากทั้ง PD และ APD สามารถตอบสนองความเร็วได้ถึงหลาย GHz จึงไม่มีปัญหาในการใช้งาน การเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของ PD และ APD แสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2.2 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของอุปกรณ์รับแสง

หัวข้อ	PD	APD
QUANTUM EFFICIENCY	80 %	80%
ความไวการรับแสง (1)	-15 - 20 dBm	-30 - 40 dBm
ความเร็วตอบสนองความถี่	หลาย GHz	หลาย GHz
อัตราขยาย	1	500
ค่าแรงดันไฟฟ้าที่ทำงาน	0 - 20 V	30 - 200 V

(1) : เป็นค่าตรงจุดที่ code error rate เป็น 10^{-11}

จากตารางจะเห็นว่าข้อเสียของ PHOTO DIODE ก็คือ มีความไวต่อแสงต่ำ ส่วนข้อดีต่างๆที่นอกเหนือจากในตารางก็มีดังต่อไปนี้

1. INPUT LIGHT – OUTPUT CURRENT เป็น LINEAR ดี
2. RESPONSE SPEED สูง
3. การเปลี่ยนแปลงของ OUTPUT มีน้อย
4. การเปลี่ยนแปลงของ OUTPUT อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิมี

น้อย โดยที่คุณสมบัติข้อ 2 นำมาใช้กับ REMOTE CONTROL , OPTICAL FIBER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต ที่มีอุปกรณ์สนับสนุนอยู่ภายใน หลายอย่างได้แก่ หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม ตัวตั้งเวลา / ตัวนับ อุปกรณ์รับส่งข้อมูลแบบอนุกรม เนื่องจากโครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์มีอุปกรณ์สนับสนุนประกอบอยู่ภายในนี้เอง ทำให้การใช้งานง่ายขึ้นและมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยไม่ต้องมีการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ภายนอกเพิ่มมากขึ้นเหมือนกับไมโครโปรเซสเซอร์ทั่วไปนอกจากนี้หากเราต้องการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ร่วมกับอุปกรณ์อื่นเพิ่มเติม เช่น ไอซี 8255 หรือหน่วยความจำภายนอก เรายังสามารถนำมาเชื่อมต่อเพิ่มเติมเข้ากับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อีกด้วย

8

2.4.1 ตัวอย่างไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 และลักษณะต่างๆสามารถแสดงได้ในตาราง 2.3 สำหรับไออะแกรมโครงสร้างภายในแสดงในรูปที่ 2.40

เบอร์	หน่วยความจำโปรแกรมในชิพ	หน่วยความจำข้อมูลบนชิพ	TIMERS
8051	4K ROM	128 bytes	2
8031	-	128 bytes	2
8751	4K ROM	128 bytes	2
8052	8K ROM	256 bytes	3
8032	-	256 bytes	3
8752	8K EPROM	256 bytes	3

ตารางที่ 2.3 แสดงไมโครโปรเซสเซอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ต่างๆ

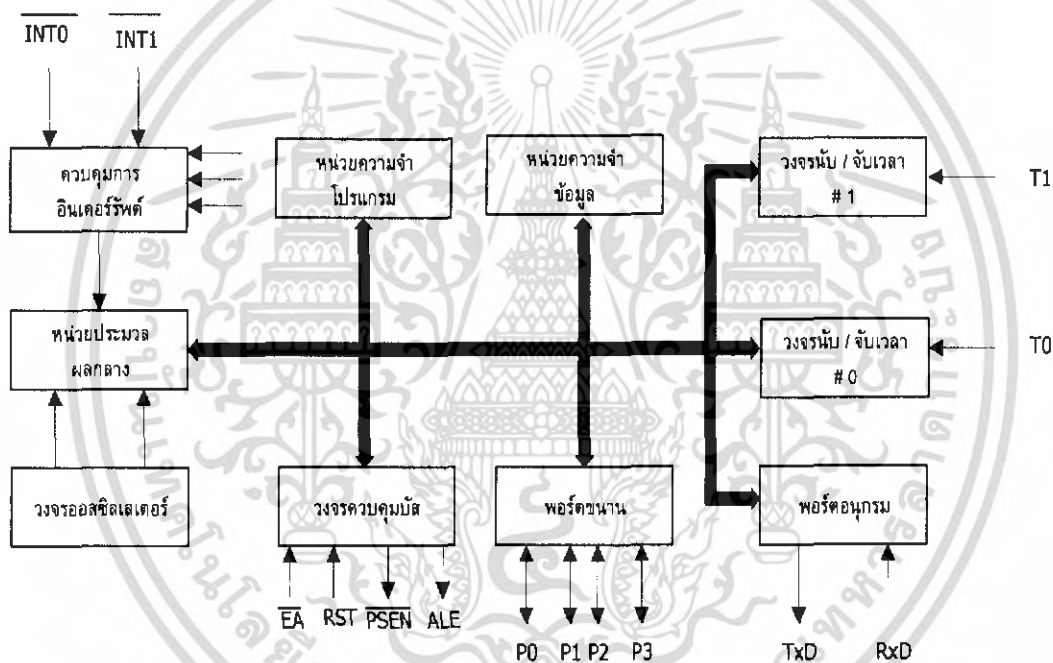
2.4.2 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ 8051 ดังแสดงในรูปที่ 2.40 ซึ่งประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ ดังนี้

- วงจรออสซิลเลเตอร์และวงจรผลิตสัญญาณภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หน่วยความจำภายในสำหรับเก็บข้อมูล
- หน่วยความจำภายในสำหรับเก็บโปรแกรม
- ตัวตั้งเวลาและตัวนับขนาด 16 บิต 2 ตัว
- อุปกรณ์ควบคุมการอินเตอร์รัพต์
- พอร์ตควบคุมการสื่อสารอนุกรมแบบ Full Duplex ซึ่งสามารถรับและส่งข้อมูลพร้อมกันได้
- พอร์ตขนานสำหรับติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกจำนวน 4 พอร์ต ๆ ละ 8 บิต



รูปที่ 2.27 โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ 8051

การทำงานของส่วนประกอบต่าง ๆ ที่อยู่ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะเป็นดังนี้

- หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม (Internal Program Memory)

ทำหน้าที่เก็บโปรแกรมที่ผู้เขียนขึ้นเพื่อควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยหน่วยความจำจะเป็นแบบ ROM มีความจุ 4 Kbytes ในการใช้งานเราสามารถกำหนดให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เลือกใช้โปรแกรมที่เก็บอยู่ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือโปรแกรมที่เก็บอยู่ในหน่วยความจำ (EPROM) ภายนอกก็ได้ โดยการป้อนสัญญาณควบคุมให้ที่ขา EA (External Access) ถ้าต้องการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับโปรแกรมที่อยู่ในหน่วยความจำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ จะต่อขาเข้ากับลอจิก 1 หากต้องการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ติดต่อกับโปรแกรมที่อยู่ในหน่วยความจำภายนอก จะต้องต่อขาเข้ากับลอจิก 0 การติดต่อกับ หน่วยความจำโปรแกรมภายนอกจะติดต่อกับได้ทั้งหมด 64 Kbytes

- หน่วยความจำข้อมูลภายใน (Internal Data Memory)

ทำหน้าที่เก็บข้อมูลทั่วไป และทำหน้าที่เป็นสแตค (Stack) บางส่วน หน่วยความจำ ข้อมูลในเบอร์ 8051 มีอยู่ 128 byte

- อุปกรณ์ควบคุมการอินเทอร์รัพต์ (Interrupt Control Unit)

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ควบคุมการอินเทอร์รัพต์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งมีการร้องขอ อินเทอร์รัพต์ได้จาก 5 แหล่งกำเนิด คือ สัญญาณจากภายนอก INT0, INT1 สัญญาณจากตัว Timer 0, Timer1 และจากอุปกรณ์รับส่งข้อมูลแบบอนุกรม 1 สัญญาณ สัญญาณอินเทอร์รัพต์ที่เกิดขึ้นเราสามารถควบคุมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์คอยรับหรือไม่คอยรับก็ได้

- ตัวตั้งเวลาและตัวนับ (Timer / Counter)

ในไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8051 ประกอบด้วยรีจิสเตอร์ตัวตั้งเวลาและตัวนับขนาด 16 บิต จำนวน 2 ชุด คือ Timer0 และ Timer1 สำหรับในไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 8052 จะมี Timer2 เพิ่มขึ้นอีก 1 ตัว โดย Timer ทั้งหมดสามารถกำหนดให้ทำงานในลักษณะของตัวนับ หรือจับเวลาก็ได้

การทำงานในโหมดของตั้งเวลา ค่าในรีจิสเตอร์จะเพิ่มขึ้นทุก ๆ แมกซ์ซินไซเคิลโดย 1 แมกซ์ซินไซเคิลประกอบด้วยสัญญาณนาฬิกา 12 ลูก ดังนั้นอัตราการจับเวลาจะเป็น 1/12 เท่าของความถี่สัญญาณนาฬิกาของระบบ ค่าสูงสุดที่ตั้งได้คือ 2^{16}

การทำงานในโหมดการนับ ค่าของการนับจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีสัญญาณเข้ามาที่ขา T0 หรือ T1 เปลี่ยนจาก 1 เป็น 0 ความเร็วในการนับสูงสุดคือ 1/24 เท่าของสัญญาณนาฬิกา โดยสัญญาณที่เข้ามาที่ขา T0 หรือ T1 จะมี Duty Cycle เท่าใดก็ได้

- พอร์ตอินพุตเอาต์พุต

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ประกอบด้วยพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบ 2 ทิศทาง จำนวน 4 พอร์ต แต่ละพอร์ตมีอุปกรณ์แลตช์ข้อมูล และเอาต์พุตไครเวอร์ประกอบอยู่ทางด้าน เอาต์พุต และทางด้านอินพุตจะมีบัฟเฟอร์ พอร์ตทั้ง 4 เป็นรีจิสเตอร์พิเศษชื่อ P0, P1, P2, P3 เราสามารถใช้งานแต่ละพอร์ต เป็นอินพุตหรือเอาต์พุตได้ตามต้องการ แต่ละบิตของพอร์ต สามารถเชื่อมต่อกับสัญญาณ TTL ได้โดยตรง ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกพอร์ต P0 และ P2 จะทำงานในลักษณะของมัลติเพล็กซ์คือเป็นทั้งพอร์ตตำแหน่งและพอร์ตข้อมูล โดย P0 จะเป็น ตำแหน่งของหน่วยความจำด้านต่ำและ P2 จะเป็นตำแหน่งของหน่วยความจำด้านสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 สัญญาณต่าง ๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เป็นไอซี 40 ขาซึ่งมีสัญญาณต่าง ๆ แสดงในรูปแบบที่ 2.41 โดยมีหน้าที่และรายละเอียดของขาต่าง ๆ ดังนี้

- VCC สำหรับต่อไฟเลี้ยง +5V
- VSS สำหรับต่อกับกราวด์
- XTAL1 และ XTAL2 เป็นขาที่ใช้ต่อกับคริสตอลออสซิลเลเตอร์ เพื่อสร้างสัญญาณ

นาฬิกาในการกำหนดจังหวะการทำงานของ MCS-51

- RST ใช้ในการรีเซ็ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์
- ALE/PROG ใช้ในการควบคุมการแลตซ์ของพอร์ต P0 เมื่อมีการติดต่อกับหน่วย

ความจำภายนอกสัญญาณนี้จะถูกส่งออกไป นอกจากนี้ยังสามารถใช้สัญญาณเป็นอินพุตควบคุมการโปรแกรม PROM ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย

- PSEN เป็นสัญญาณเอาต์พุต สำหรับใช้ในการควบคุมการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก เพื่ออ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก

- EA เป็นสัญญาณอินพุต ใช้สำหรับควบคุมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เลือกติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมที่อยู่ภายในนอกหากต่อไฟเลี้ยง หรือถ้าต้องการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมที่อยู่ภายนอกให้ลงกราวด์

- PORT 0 (P0.0 – P0.7) มี 8 ขาแต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไปโดยกำหนดให้แต่ละบิตเป็น 1 จะเป็นอินพุตและกำหนดเป็นบิต 0 จะเป็นเอาต์พุต นอกจากนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A0 – A7) และขาข้อมูล (D0 – D7) โดยใช้กระบวนการมัลติเพล็กซ์ช่วยในการสลับการทำงานให้เป็นที่ติดต่อกับแอดเดรสและขาข้อมูล

- PORT 1 (P1.0 – P1.7) มี 8 ขาแต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไปโดยกำหนดให้แต่ละบิตเป็น 1 จะเป็นอินพุตและกำหนดเป็นบิต 0 จะเป็นเอาต์พุต

- PORT 2 (P2.0 – P2.7) มี 8 ขาแต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไปโดยกำหนดให้แต่ละบิตเป็น 1 จะเป็นอินพุตและกำหนดเป็นบิต 0 จะเป็นเอาต์พุต

- PORT 3 (P3.0 – P3.7) มี 8 ขาแต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไปโดยกำหนดให้แต่ละบิตเป็น 1 จะเป็นอินพุตและกำหนดเป็นบิต 0 จะเป็นเอาต์พุต นอกจากนี้พอร์ต 3 ยังทำหน้าที่เป็นสัญญาณอื่น ๆ อีกดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอร์ต	สัญญาณ	หน้าที่
P3.0	RXD	อินพุตของพอร์ตอนุกรม
P3.1	TXD	เอาต์พุตของพอร์ตอนุกรม
P3.2	INT0	สัญญาณอินเทอร์รัพต์จากภายนอกตัวที่ 0
P3.3	INT1	สัญญาณอินเทอร์รัพต์จากภายนอกตัวที่ 1
P3.4	T0	อินพุตจากภายนอกของตัวตั้งเวลา 0
P3.5	T1	อินพุตจากภายนอกของตัวตั้งเวลา 1
P3.6	WR	สัญญาณการเขียนข้อมูลออกไปภายนอก
P3.7	RD	สัญญาณการอ่านข้อมูลจากภายนอกเข้ามา

ตารางที่ 2.4 แสดงสัญญาณและหน้าที่ของพอร์ต

1	P1.0	Vcc	40
2	P1.1	(AD0)P0.0	39
3	P1.2	(AD1)P0.1	38
4	P1.3	(AD2)P0.2	37
5	P1.4	(AD3)P0.3	36
6	P1.5	(AD4)P0.4	35
7	P1.6	(AD5)P0.5	34
8	P1.7	(AD6)P0.6	33
9	RST	(AD7)P0.7	32
10	RXD	(Vpp)EA	31
11	TXD	(ORG)ALE	30
12	INT0	PSEN	29
13	INT1	(A15)P2.7	28
14	T0	(A14)P2.6	27
15	T1	(A13)P2.5	26
16	WR	(A12)P2.4	25
17	RD	(A11)P2.3	24
18	XTAL2	(A10)P2.2	23
19	XTAL1	(A9)P2.1	22
20	Vss	(A8)P2.0	21

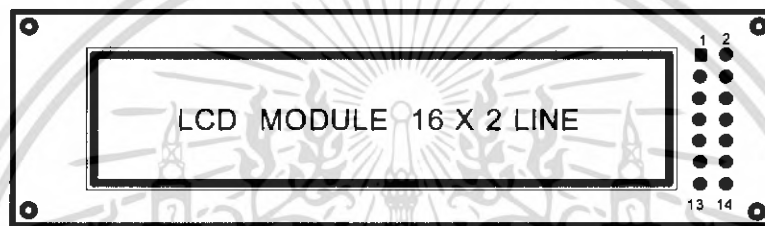
รูปที่ 2.28 สัญญาณต่าง ๆ ของ MCS-51 เบอร์ 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 จอแสดงผลแบบ LCD module (Liquid Crystal Display module)

จอแสดงผลแบบผลึกเหลวหรือ LCD (Liquid Crystal Display module) สามารถแบ่งออกเป็นส่วนๆ ได้ดังนี้

- ตัวแสดงผล ภายในเป็นผลึกเหลวที่สามารถแสดงผลให้เห็น โดยอาศัยแสงจากภายนอก
- ตัวควบคุม เป็นตัวรับข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อมาควบคุมการทำงานของ LCD (Liquid Crystal Display module) เช่น การลบจอภาพ การแสดงตัวอักษร เป็นต้น
- ตัวขับ เป็นตัวรับข้อมูลมาจากตัวควบคุมมาขับให้ตัวแสดงผลแสดงข้อมูลตามกำหนด



รูปที่ 2.29 จอแสดงผลแบบ LCD module





ตารางที่ 2.5 แสดงรายละเอียดการต่อใช้งานขาของ LCD module

ขา	สัญลักษณ์	การต่อใช้งาน
1	GND	ต่อเข้ากับกราวด์ของวงจร
2	VCC	ต่อเข้ากับแหล่งจ่ายแรงดันขนาดบวก 5 โวลต์
3	VO	ใช้ปรับความสว่างของจอแสดงผลด้วยแรงดันขนาด 0 – 5 โวลต์
4	RS	ใช้เลือกรีจิสเตอร์ (“0” = รีจิสเตอร์คำสั่ง, “1” = รีจิสเตอร์ข้อมูล)
5	$\overline{R/W}$	ใช้เลือกการอ่านหรือเขียนข้อมูล (“0” เขียน “1” อ่าน)
6	E	ใช้รับสัญญาณพัลส์เพื่อสั่งให้ LCD module ทำงาน
7-14	D0-D7	เส้นทางเดินข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเขียนคำสั่งลงในตัวควบคุม ต้องกำหนดให้ขา RS และ $\overline{R/W}$ มีระดับลอจิกเป็น “0” แล้วจึงเขียนคำสั่งตามไป คำสั่งในควบคุมจอแสดงผล LCD module ที่สำคัญมีดังนี้

ตารางที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขา RS , $\overline{R/W}$ และ E ของ LCD module

RS	$\overline{R/W}$	E	การทำงาน
0	1		เขียนคำสั่ง
0	1		อ่านสถานะของ LCD
1	0		เขียนข้อมูล
1	1		อ่านข้อมูล

2.5.1 การใช้งานแอลซีดีมอดูล

ปัจจุบันแอลซีดีมอดูลเป็นที่นิยมอย่างมาก สำหรับแสดงผลในเครื่องวัดต่างๆ ทั้งนี้เนื่องจากมีความเหมาะสมในหลายๆด้านทั้งในด้านการกินกระแสต่ำ สามารถแสดงผลเป็นตัวอักษรและตัวเลข หรือแสดงเป็นกราฟฟิคได้ (เฉพาะรุ่น) จะคิดปัญหาในด้านวงจร ซึ่งมีระบบการทำงานที่ซับซ้อน และหาอุปกรณ์ได้ค่อนข้างยาก แต่ในขณะนี้ผู้ผลิตแอลซีดีจะทำรุ่นที่เป็นลักษณะมอดูลคือจะมีวงจรควบคุมมาให้ด้วย วงจรควบคุมจะใช้ไอซีเบอร์ที่นิยมกันมากที่สุดคือเบอร์ HD44780 ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้สามารถติดต่อเข้ากับระบบไมโครได้ง่ายและสะดวกในการเขียนโปรแกรมรวมทั้งมีการจำหน่ายกันอย่างกว้างขวาง และมีราคาที่เหมาะสม ทำให้ผู้ใช้งานทางด้านไมโครโปรเซสเซอร์หันมาใช้ส่วนแสดงผลด้วยผลึกเหลวกันมากขึ้น

แอลซีดีมอดูล มีอยู่อย่างมากมายหลายรุ่นและมีคุณสมบัติแตกต่างกันไป ซึ่งแบ่งได้เป็นสองกลุ่มหลัก คือ แบบดอตเมตริกซ์ (Dot Matrix) แบบกราฟฟิค (Graphic) โดยแบบดอตเมตริกซ์จะแสดงผลเป็นตัวอักษรขนาด 5×8 DOT มีจำนวนอักษรและบรรทัดแตกต่างกันไปในแต่ละรุ่น ส่วนแบบกราฟฟิคจะแสดงผลในแบบบิตแมพ (Bit-Map) คือจะสร้างภาพเป็นแบบบิตก็ได้ตามความต้องการ แนวทางของทั้งสองแบบจะมีลักษณะใกล้เคียงกัน การใช้งานโดยทั่วไปมักจะใช้งานแบบของดอตเมตริกซ์มากกว่า เนื่องจากมีราคาถูกและมีประสิทธิภาพเพียงพอในการใช้งานส่วนใหญ่

ตารางที่ 2.7 แสดงชุดคำสั่งควบคุมของไมโครคอนโทรลเลอร์ภายในแอลซีดีมอดูล

R	รหัสควบคุม
---	------------

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสั่ง	R	(/)	DB	DB	DB	DB	DB	DB	DB	DB	EXE
	S	W	7	6	5	4	3	2	1	0	TIME
เคลียร์จอแสดงผล	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	82 μ s- 1.6 μ s
เลื่อนเคอร์เซอร์ไปยัง เริ่มต้น	0	0	0	0	0	0	0	0	1	*	40 μ s- 1.6 μ s
กำหนดการป้อน โหมคของข้อมูล	0	0	0	0	0	0	0	1	I/D	S	40 μ s
ควบคุมการแสดงผล	0	0	0	0	0	0	1	C	D	B	40 μ s
ควบคุมการเลื่อนเคอร์ เซอร์และตัวอักษร	0	0	0	0	0	1	S/C	R/L	*	*	40 μ s
เซตฟังก์ชัน	0	0	0	0	1	D/L	N	F	*	*	40 μ s
เซตแอดเดรสใน CR- RAM	0	0	0	1	ACG						40 μ s
เซตแอดเดรสใน DD- RAM	0	0	1	ADD						40 μ s	
อ่านแฟลคบิวชี	0	1	AC						1 μ s		
เขียนข้อมูลไปยัง CG หรือ DD-RAM	1	0	เขียนข้อมูลที่ต้องการเขียน						40 μ s		
อ่านข้อมูลไปยัง CG หรือ DD-RAM	1	1	อ่านข้อมูลที่ต้องการเขียน						40 μ s		

2.5.2 ความเข้าใจพื้นฐานของแอสซีมบลี

การเขียนข้อมูลให้กับแอสซีมบลี จะแบ่งเป็น 2 ลักษณะ คือ คำสั่ง (Instruction) และ ข้อมูล (data) โดยกำหนดด้วยขาสัญญาณ RS คือถ้า RS=0 จะหมายถึงส่งสัญญาณควบคุม (Instruction) หรืออ่านค่าแฟลคสภาพการทำงานของแอสซีมบลี และถ้า RS=1 จะหมายถึงการเขียนหรืออ่านข้อมูลกับแอสซีมบลี

หลักการในการเขียนข้อมูลให้แอสซีมบลี คือเมื่อมีการเขียนข้อมูลไปแล้วแอสซีมบลี จะต้องใช้เวลาในการทำงานช่วงหนึ่ง ซึ่งระบบไมโครสามารถตรวจสอบได้จากบิวชีแฟลค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากนั้นจึงเปลี่ยนข้อมูลต่อไปได้ ในกรณีที่ต่อแบบ อินพุต/เอาต์พุต พอร์ต ก็จะไม่สามารถอ่านข้อมูลย้อนกลับได้ ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์จะใช้ระบบการหน่วงเวลาแทน

การเขียนข้อมูลให้กับแอลซีดีมอดูล สามารถทำได้ทั้ง 8 บิต และ 4 บิต โดยกรณี 4 บิต จะใช้สัญญาณข้อมูลเพียง 4 เส้น คือ DB0-DB7)กรณี 8 บิต การเขียนข้อมูลจะกระทำเหมือนกับ 4 บิต เพียงแต่ให้เขียน 2 ครั้ง คือ DB4DB7 ตามด้วย DB0-DB3 และจะต้องกำหนดคุณสมบัติตามค่าดีแอล (DL) ในชุดคำสั่ง(FUNCTION SET) ด้วย

DDRAM(Display Data Ram) คือหน่วยความจำในตัวแอลซีดีมอดูลที่เป็นบัฟเฟอร์ข้อมูล โดยการเขียนรหัสแอสกี (ASCII) ใด ๆ ลงไปในหน่วยความจำนี้ ก็จะปรากฏตัวอักษรที่แผงแสดงผลทันที

CGRAM (Character Generator Ram) คือหน่วยความจำภายในตัวแอลซีดีมอดูลสำหรับเก็บตัวอักษรที่ผู้ใช้สามารถสร้างเอง 8 ตัว ดดยจะอ้างแอดเดรสได้ทั้งหมด 64 ไบต์

2.5.3 รายละเอียดของแต่ละคำสั่ง

CLEAR DISPLAY

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1
DB0	0	0	0	0	0	0	0	0

สำหรับการเคลียร์จอแสดงผล โดยจะทำการเขียนตัวอักษร SPACE ลงในดีดีแรมทั้งหมด และกำหนดค่าดีดีแรมในแอดเดรสให้เป็นศูนย์ พร้อมทั้งเคอร์เซอร์จะกลับไปตำแหน่งซ้ายบนสุดของจอภาพ

CURSOR HOME

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1
DB0	0	0	0	0	0	0	0	1

สำหรับกำหนดค่าดีดีแรมแอดเดรสให้เป็นศูนย์ พร้อมทั้งเคอร์เซอร์จะกลับไปตำแหน่งซ้ายบนสุดของจอภาพ โดยที่ข้อมูลในดีดีแรม ไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ENTRY MODE SET

RS R/W DB7 DB6 DB5 DB4 DB3 DB2 DB1

DB0

0	0	0	0	0	0	0	1	I/D
---	---	---	---	---	---	---	---	-----

I/D=0 กำหนดทิศทางของเคอร์เซอร์และดีดีแรม ให้เป็นแบบเพิ่มขึ้น

I/D=1 กำหนดทิศทางของเคอร์เซอร์และดีดีแรม ให้เป็นแบบลดลง

S= 0 เมื่อเขียนข้อมูลแล้วเคอร์เซอร์จะถูกไปตามทิศทางค่า I/D

S= 1 เมื่อเขียนข้อมูลแล้วเคอร์เซอร์อยู่กับที่ และตัวอักษรจะถูกดันไปตามทิศทาง I/D

การกำหนด I/D และ S ต้องกำหนดก่อนการเขียนข้อมูลลงในดีดีแรม และเมื่อกำหนดแล้วจะต้องไม่ใช่คำสั่งเคลียร์จอแสดงผลอีก

DISPLAY ON/OFF

RS R/W DB7 DB6 DB5 DB4 DB3 DB2 DB1

DB0

0	0	0	0	0	0	1	D	C
---	---	---	---	---	---	---	---	---

D=0 กำหนดให้ OFF DISPLAY

D= 1 กำหนดให้ ON DISPLAY

C= 0 กำหนดให้ OFF CURSOR

C= 1 กำหนดให้ OFF CURSOR โดยเคอร์เซอร์จะเป็นเส้น ชิดได้ตัวอักษร

B=0 กำหนดให้ไม่มีการกระพริบที่ตำแหน่งเคอร์เซอร์

DISPLAY SHIFT

RS R/W DB7 DB6 DB5 DB4 DB3 DB2 DB1

DB0

0	0	0	0	0	1	S/C	R/C	*
---	---	---	---	---	---	-----	-----	---

S/C = 0 กำหนดให้เลื่อนเคอร์เซอร์ตามทิศทาง R/L ไป 1 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S/C = 1 กำหนดให้เลื่อนข้อความบนแผงแสดงตามทิศทาง R/L ไป 1 COLUMN (เลื่อนทุกบรรทัด)

R/L = 0 กำหนดให้มีทิศทางไปทางซ้าย

R/L = 1 กำหนดให้มีทิศทางไปทางขวา

FUNTION SET

RS R/W DB7 DB6 DB5 DB4 DB3 DB2 DB1

DB0

0	0	0	0	1	DL	N	F	*
---	---	---	---	---	----	---	---	---

DL = 0 กำหนดให้การติดต่อกับแอลซีดีมอดูลเป็นแบบ 4 บิต

DL = 1 กำหนดให้การติดต่อกับแอลซีดีมอดูลเป็นแบบ 8 บิต

N = 0 กำหนดให้บรรทัดแบบ 1/8 DUTY และ 1/11 DUTY

N = 1 กำหนดให้บรรทัดแบบ 1/16

F = 0 กำหนดให้ตัวอักษรเป็นแบบ 5×7 DOTS

F = 1 กำหนดให้ตัวอักษรเป็นแบบ 5×10 DOTS

SET CGRAM ADDRESS

RS R/W DB7 DB6 DB5 DB4 DB3 DB2 DB1

DB0

0	0	0	1	<----- CGRAM ADDRESS ----->				
---	---	---	---	-----------------------------	--	--	--	--

สำหรับการกำหนดแอดเดรสของซีจีแรม เมื่อได้ทำการกำหนดแล้ว การอ่านและการเขียนข้อมูลถัดไป จะเป็นไปตามแอดเดรสที่กำหนดไว้ทันที

SET DDRSM ADDRESS

RS R/W DB7 DB6 DB5 DB4 DB3 DB2 DB1

DB0

0	0	1	<----- CGRAM ADDRESS ----->					
---	---	---	-----------------------------	--	--	--	--	--

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการกำหนดแอดเดรสคีย์แรม เมื่อได้ทำการกำหนดไว้แล้วการอ่านและการเขียนข้อมูลถัดไปจะเป็นไปตามแอดเดรสที่กำหนดไว้ทันที ตำแหน่งแอดเดรสของแต่ละรุ่นจะมีข้อความที่แตกต่างกันบ้างเพราะมีตัวอักษรไม่เท่ากัน

SET FLAG AND ADDRESS READ

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
0	0	BF	<----- CGRAM ADDRESS----->						

สำหรับการอ่านบิตซีฟลัก ซึ่งบอกถึงความพร้อมของแอสซิมบลีในการรับข้อมูล ถ้า BF = 0 พร้อมที่จะรับข้อมูลต่อไปได้ แต่ถ้า BF = 1 ไม่พร้อมที่จะรับข้อมูล

2.5.4 การอ่านและการเขียนข้อมูลกับ DDRAM/CGRAM

WRITE DATA TO DDRAM/CGRAMD

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	0	<----- -DATA----- >							

สำหรับการเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำคีย์แรม หรือซีจีแรม โดยเมื่อทำการเขียนแล้ว แอดเดรสก็จะถูกเพิ่มหรือลงอย่างอัตโนมัติ ตามที่กำหนดจากค่า I/D ในคำสั่ง ENTRY MODE SET และการเขียนจะเป็นคีย์แรม หรือ ซีจีแรมก็ขึ้นอยู่กับว่าตำแหน่งก่อนหน้าคำสั่งนี้อยู่ที่ใด

READ DATA TO DDRAM/CGRAMD

RS	R/W	DB7	DB6	DB5	DB4	DB3	DB2	DB1	DB0
1	1	<----- -DATA----- >							

สำหรับการอ่านข้อมูลลงหน่วยความจำคีย์แรม หรือ ซีจีแรม โดยเมื่อทำการอ่านแล้ว แอดเดรสก็จะถูกเพิ่มหรือลงอย่างอัตโนมัติ ตามที่กำหนดจากค่า I/D ในคำสั่ง ENTRY MODE SET และการเขียนจะเป็นคีย์แรม ก็ขึ้นอยู่กับว่าตำแหน่งก่อนหน้าคำสั่งนี้อยู่ที่ใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 การเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ DS 1307 และ EEPLM 24C16 ผ่านระบบ PC

PC (Inter – IC Communication) หมายถึง การติดต่อสื่อสารระหว่าง IC ที่ต้องการให้ IC หรือโมดูลสามารถติดต่อสั่งงานและควบคุมภายใต้สายสัญญาณเพียง 2 เส้น เส้นหนึ่ง คือ สายข้อมูล SDA (Serial Data) ส่วนอีกเส้นหนึ่ง คือ สายสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการคำนวณจังหวะการทำงาน SCL (Serial Clock Line)

การต่อร่วมกันระหว่างอุปกรณ์ PC ทำได้โดยเพียงต่อสายข้อมูลและสายสัญญาณนาฬิกาของอุปกรณ์แต่ละตัวขนานหรือพ่วงกันไป ส่วนการกำหนดแอดเดรสหรือการกำหนดข้อมูลแต่ละตัว จะใช้รหัสข้อมูลและการกำหนดสถานะลอจิกที่ขาแอดเดรสของอุปกรณ์แต่ละตัว

2.6.1 หลักการของบัส PC

บัส PC ประกอบด้วยสายสัญญาณ 2 เส้นคือ SDA และ SCL อุปกรณ์ที่ต่อพ่วงบนบัส สามารถมีได้มากมาย ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดรูปแบบของการติดต่อบนบัสเพื่อให้ผู้ใช้งานทราบว่าขณะนี้ อุปกรณ์ที่เป็นผู้รับข้อมูล เรียกว่า ตัวรับ (receiver) อุปกรณ์ บนบัส PC สามารถเป็นได้ทั้งตัวรับ และตัวส่ง บางอุปกรณ์ทำหน้าที่เป็นตัวรับอย่างเดียว จะไม่มีอุปกรณ์ใดบนบัส PC ที่ทำหน้าที่เป็นตัวส่งเพียงอย่างเดียว

อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมจังหวะการติดต่อบนบัส PC เรียกว่ามาสเตอร์ (master) อุปกรณ์ที่ถูกควบคุมหรืออุปกรณ์ที่ต่อพ่วงเข้าไปบนบัส PC เรียกว่า สเลฟ (slave)

ข้อกำหนด 2 ประการสำคัญของการติดต่อบนบัส PC คือ

1. การถ่ายทอดข้อมูลขณะเกิดขึ้นได้เมื่อบัสว่างเท่านั้น
2. ในระหว่างการถ่ายทอดข้อมูล เมื่อใดก็ตามที่สาย SCL มีสถานะเป็นลอจิก 0 สายข้อมูล ต้องรักษาข้อมูลไว้ อย่าให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นเด็ดขาด มิฉะนั้น สัญญาณที่เกิดขึ้น จะได้รับการแปลความหมายควบคุมแทน

สถานะที่เกิดขึ้นบนบัส PC มีด้วยกัน 5 สถานะดังนี้

1. บัสว่าง (Bus not busy) สถานะนี้เกิดขึ้นเมื่อสถานะลอจิกบนสาย SDA และ SCL เป็น ลอจิกสูงทั้งคู่ นั้นหมายความว่า การถ่ายข้อมูลสามารถเริ่มต้นขึ้นได้
2. เริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูล (start data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจากสูงไปต่ำ ในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง เรียก สถานะที่เกิดขึ้นนี้ว่า สถานะเริ่มต้น (START)
3. ข้อมูลดำรงอยู่บนบัส (data valid) สถานะที่เกิดขึ้นนี้ถัดจากสถานะเริ่มต้น โดยสถานะ ลอจิกที่เกิดขึ้นบนสาย SDA ก็คือข้อมูลที่ทำการถ่ายทอด เมื่อสาย SCL เป็ลอจิก สูง

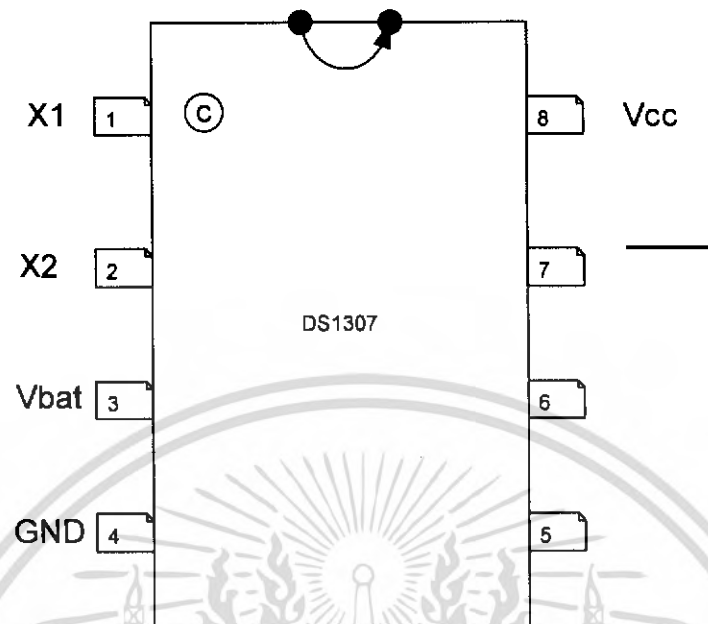
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถานะที่สาย SDA ต้องคงที่ เพื่อให้อุปกรณ์ที่รับรู้ข้อมูลในจังหวะนั้นว่า เป็น 0 หรือ 1 ข้อมูลอาจเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ในขณะที่สาย SCL เป็นลอจิกต่ำ แต่เมื่อใดก็ตาม ที่ต้องการให้เกิดการถ่ายทอดข้อมูลอย่างสมบูรณ์ สถานะลอจิก SDA ต้องคงที่ตลอด ช่วงเวลาที่ SCL มีสถานะลอจิกสูง หากเกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะลอจิกที่สาย SCL มี ลอจิกสูงอยู่นั้น อุปกรณ์มาสเตอร์ที่ทำการควบคุมที่ทำการถ่ายทอดข้อมูลจะแปล ความหมายเป็นสภาวะหยุดหรือสภาวะเริ่มต้นก็ได้ทำให้ข้อมูลที่ทำการถ่ายเกิดการ ผิดพลาด

4. รับรู้ข้อมูล (acknowledge) เกิดขึ้นหลังจากที่การถ่ายทอดข้อมูลจากตัวส่งไปยังตัวรับ โดยตัวส่งจะทำการส่งข้อมูลมา 1 บิต เรียกว่า บิตรับรู้ (acknowledge bit) มีสถานะ เป็นลอจิกสูง หลังจากส่งข้อมูลมาครบถ้วน ส่วนอุปกรณ์มาสเตอร์ทำการส่งสัญญาณ รับรู้พิเศษซึ่งสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกาปลุก อุปกรณ์สเลฟที่ถูกอ้างถึงในการติดต่อจะ กำเนิดบิตรับรู้มีสถานะลอจิกต่ำ เพื่อตอบสนองให้ทราบว่ารับข้อมูลเรียบร้อยแล้ว
5. หยุดการถ่ายทอดข้อมูล (stop data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสาย SDA มีการเปลี่ยนแปลง ระดับลอจิกจากต่ำเป็นสูงในขณะที่สาย SCL มีสถานะลอจิกสูง เรียกสภาวะที่เกิดขึ้นว่า สภาวะหยุด (STOP)

ไอซีสร้างฐานเวลาจริงหรือรีลไทม์คล็อก (RCT)

- เป็นไอซีรีลไทม์คล็อกให้ข้อมูลตั้งแต่วันที่จนถึงปี รวมถึงการปรับวันในปีอธิกสุรทิน ด้วย สามารถให้ข้อมูลเวลาได้อย่างเที่ยงตรงถึงปีคริสตศักราช 2100
- มีหน่วยความจำอนโวลตาไทม์แรม 56 ไบต์อยู่ภายใน สามารถใช้เก็บข้อมูลทั่วไปได้
- มีวงจรตรวจจับไฟเลี้ยงต่ำหรือหายไปอย่างอัตโนมัติ และสามารถรักษาข้อมูลเวลาไว้ได้แม้แต่ไม่มีไฟเลี้ยงไอซี



รูปที่ 2.30 ไอซีเบอร์ 1307

รายละเอียดการใช้งานของ DS1307 Vcc, GND (ขา 8-4) ต่อกับไฟเลี้ยง +5V Vbat (ขา 3) ใช้ต่อกับแบตเตอรี่ 3V SDA,SCL (ขา 5 และ 6) เป็นขาสำหรับเชื่อมต่อกับระบบบัส I²C SQW OUT (ขา 7) มีสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมส่งออกมา โดยสามารถเลือกความถี่ได้ 1Hz, 4.096kHz, 8.192 kHz, และ 32 kHz ในการใช้งานต้องต่อตัวต้านทาน 1k พูลอัพที่ขา 5 และ 6 (ขา 1 ขา 2) ต่อกับคริสตัลความถี่ 32.768 kHz

ไอซี DS1307 จัดการเชื่อมต่อในแบบบัส I²C โดยทำงานเป็นอุปกรณ์สเลฟผสม ส่วนประกอบหลักที่สำคัญ คือ วงจรออสซิลเลเตอร์ เนื่องจากเป็นจุดเริ่มต้นของการสร้างข้อมูลเวลาจริง มีการเก็บค่าของเวลา ไว้ในหน่วยความจำอนโวลตาไทม์แรม 64 ไบต์ ซึ่งจัดสรรให้ใช้เก็บข้อมูลเวลา 8 ไบต์ และเก็บข้อมูลทั่วไป 56 ไบต์ วงจรควบคุมพลังงานไฟฟ้าจะคอยตรวจสอบสถานะของไฟเลี้ยงไอซี หากต่ำกว่า $1.25 \times V_{bat}$ ก็จะควบคุมให้ ไอซี DS1307 หยุดการทำงาน ทำให้ไม่สามารถติดต่อกับ DS1307 ได้ ดังนั้นในการใช้งานต้องระมัดระวังอย่าให้ไฟเลี้ยงต่ำกว่า $1.25 \times V_{bat}$ หรือประมาณ 3.75 V ถ้าหากไฟเลี้ยงมีค่าต่ำกว่า Vbat ไอซี DS1307 จะเข้าสู่โหมดสำรองข้อมูลกระแสต่ำทันที แต่วงจรสร้างฐานเวลายังคงทำงานเพื่อให้ค่าของเวลาเดินไปได้อย่างไม่ผิดพลาด เมื่อมีไฟเลี้ยงปรากฏขึ้นอีกครั้ง DS1307 ก็จะสามารให้ค่าของเวลาที่เป็จริงแก่ผู้ใช้งานได้ต่อไป

2.6.2 การจัดสรรหน่วยความจำใน DS1307

การจัดสรรพื้นที่ในหน่วยความจำภายใน DS1307 ประกอบด้วย พื้นที่ 7 ไบต์แรกตั้งแต่แอดเดรส \$00-\$06 เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ค่าเวลาใช้ในการเก็บข้อมูลเกี่ยวกับเวลา ที่แอดเดรส \$07 เป็นพื้นที่ของรีจิสเตอร์ ควบคุมการทำงานของ DS1307

2.6.2.1 รีจิสเตอร์ควบคุม มีแอดเดรสอยู่ที่ \$07 มีรายละเอียดของแต่ละบิต ดังนี้ที่ SQW OUT

OUT (Output control) : ใช้ควบคุมระดับลอจิกที่ SQW OUT ในกรณีที่คิสเอเบิลการกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยม โดยถ้าบิตที่เป็น 1 ที่ขาที่ SQW OUT ก็จะเป็น 1 ถ้าบิตนี้เป็น 0 ที่ขาที่ SQW OUT ก็จะเป็น 0

SQWO (Square Wave Enable) ใช้เอนับีลวงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ขา SQW OUT ถ้าต้องการให้มีสัญญาณสี่เหลี่ยมออกให้กำหนดบิตที่เป็น 1

		บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0		
\$100	วินาที	CH	ข้อมูลวินาที(หลักสิบ)			ข้อมูลวินาที(หลักหน่วย)				00-59	
	นาฬิกา	X	ข้อมูลนาฬิกา(หลักสิบ)			ข้อมูลนาฬิกา(หลักหน่วย)				00-59	
	ชั่วโมง	X	12 ชม.	ร.ม (หลักสิบ)	ข้อมูลชั่วโมง(หลักหน่วย)	ข้อมูลชั่วโมง(หลักหน่วย)				01-12 00-23	
	วัน	X	24 ร.ม.			X	ข้อมูลวันในสัปดาห์				1-7
	วันที่	X	X	X	X	X	ข้อมูลวันที่(หลักหน่วย)				01-28/29 01-30 01-31
	เดือน	X	X	X	X	X	ข้อมูลเดือน(หลักหน่วย)				01-12
	ปี	X	X	X	X	X	ข้อมูลปี(หลักสิบ)				00-99
\$07	รีจิสเตอร์ควบคุม	OUT	X	X	SQWE	X	X	RS1	RS0		
\$08											
\$3F											

(ก)

(ข)

รูปที่ 2.31 (ก) การจัดสรรหน่วยความจำภายใน DS1307

(ข) รายละเอียดของรีจิสเตอร์เก็บค่าเวลาและรีจิสเตอร์ควบคุมของ DS1307

RS1,RS0 (Rate Select) : ใช้เลือกความถี่ของสัญญาณสี่เหลี่ยมที่ออกจากขา SQW OUT

RS1	RS0	ค่าความถี่ของสัญญาณสี่เหลี่ยม
0	0	1Hz
0	1	4.096kHz
1	0	8.192kHz
1	1	32.768kHz

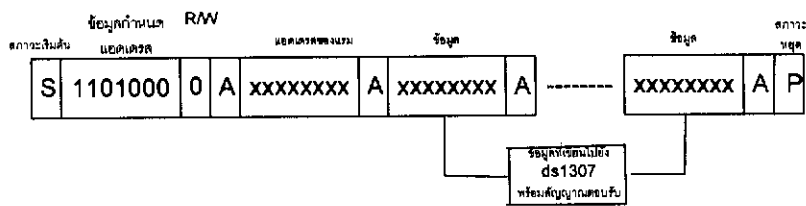
2.6.2.2 โหมดการทำงานของ DS1307

มี 2 โหมดคือ โหมดเขียนข้อมูล และ โหมดอ่านข้อมูล ในการใช้งานปกติจะใช้เฉพาะ โหมดอ่านข้อมูลเท่านั้น เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์จะติดต่อกับ DS1307 เพื่ออ่านข้อมูลของเวลาไปใช้งาน โหมดการเขียนข้อมูลจะถูกใช้งานก็ต่อเมื่อต้องการตั้งค่าเวลาใหม่และต้องการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำใช้งานทั่วไป อย่างไรก็ตามเมื่อเริ่มต้นติดต่อกับ DS1307 จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเข้าสู่โหมดการเขียนข้อมูลก่อนเพื่อกำหนดแอดเดรสที่ต้องการอ่านข้อมูล จากนั้นจึงเปลี่ยนโหมดการทำงานมาเป็นโหมดอ่านข้อมูลต่อไป

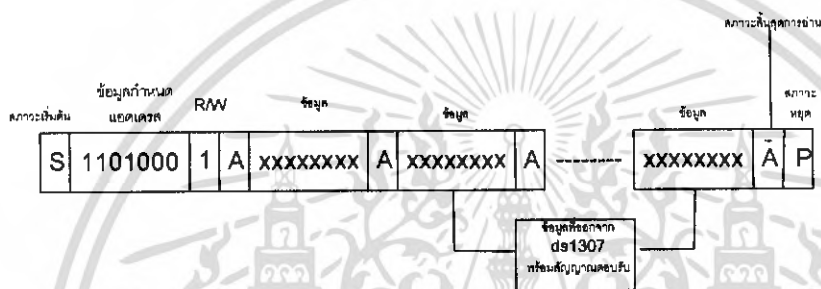
- โหมดการเขียนข้อมูล

เริ่มต้นเมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการกำหนดสถานะเริ่มต้น (START : S) จากนั้นส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรส 1101000 ตามด้วยข้อมูลเลือกการเขียน นั่นคือค่า 0 จากนั้นจะรอการตอบรับจาก DS1307 เมื่อมีการตอบรับมาเรียบร้อย ก็เริ่มทยอยเขียนข้อมูลลงไปครั้งละแอดเดรส หลังจากเขียนข้อมูลในแต่ละแอดเดรส จะต้องหยุดรอการตอบรับจาก DS1307 ทุกครั้ง จึงจะสามารถเขียนข้อมูลต่อไปได้ เมื่อเขียนเรียบร้อยแล้วให้ส่งสถานะหยุด (STOP:P) เป็นอันสิ้นสุด

กระบวนการเขียนข้อมูล



รูปแบบของข้อมูลสำหรับติดต่อกับ DS1307 ในโหมดการเขียนข้อมูล



รูปแบบของข้อมูลสำหรับติดต่อกับ DS1307 ในโหมดการอ่านข้อมูล

รูปที่ 2.32 รูปแบบข้อมูลสำหรับติดต่อกับ DS1307

- โหมดการอ่านข้อมูล

เริ่มต้นการทำงานเหมือนกับโหมดการเขียนข้อมูล คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์กำหนดสถานะเริ่มต้นแล้ว ส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรสตามด้วยข้อมูลเลือกการอ่าน ซึ่งเท่ากับ 1 จากนั้นรอการตอบรับจาก DS1307 เมื่อตอบรับเรียบร้อยแล้ว DS1307 จะทยอยส่งข้อมูลออกมาให้ไมโครคอนโทรลเลอร์คราวละ 1 แอดเดรสหรือ 1 ไบต์ โดยแอดเดรสที่เลือกอ่านข้อมูลจะต้องมีการกำหนดมาก่อนล่วงหน้าโดยโหมดการเขียนข้อมูล วิธีการง่าย ๆ คือ เข้าสู่โหมดการเขียนข้อมูลก่อน เมื่อถึงจังหวะที่ต้องเขียนข้อมูล ให้ทำการสร้างสถานะเริ่มต้นและส่งข้อมูล กำหนดแอดเดรสใหม่อีกครั้ง ตามด้วยโหมดการอ่านข้อมูล ข้อมูลที่ออกมาจาก DS1307 ก็จะเป็นข้อมูลจากแอดเดรสที่กำหนดไว้ก่อนหน้านี้

2.6.3 ฟังก์ชันติดต่อกับ DS1307 เพื่อเขียนค่าเวลาและข้อมูล

สรุปเป็นขั้นตอนได้ ดังนี้

1. เริ่มต้นสร้างสภาวะติดต่อกับคำสั่ง `i2c_start()` ;
2. เขียนค่าแอดเดรสของ DS1307
3. เข้าถึงหน่วยความจำแรมด้วยการเขียนค่าแอดเดรสของหน่วยความจำแรมที่ต้องการเข้าถึง
4. เขียนข้อมูลที่ต้องการลงในหน่วยความจำแรม
5. หากยังมีการเขียนข้อมูลต่อไป DS1307 จะนำข้อมูลไปเก็บที่แอดเดรสในตำแหน่งถัดไป
6. เมื่อเขียนข้อมูลไปยังหน่วยความจำแรมเรียบร้อยแล้ว ให้หยุดการติดต่อกับคำสั่ง `i2c_stop()` ;

2.6.4 IC 24C16 หน่วยความจำอีอีพรอมอนุกรมที่ใช้การติดต่อผ่านระบบบัส I²C

หน่วยความจำอีอีพรอมอนุกรมเบอร์ 24C16 เป็นหน่วยความจำแบบนอน-โวลไทล์ (non-volatile) หมายความว่า สามารถเก็บรักษาข้อมูลอยู่ได้โดยไม่ต้องจ่ายไฟเลี้ยง สามารถเขียน-อ่าน-ลบ ได้ด้วยสัญญาณไฟฟ้าใช้การเชื่อมต่อในลักษณะอนุกรมแบบระบบบัส I²C มีขนาดของหน่วยความจำเท่ากับ 2 กิโลไบต์ สามารถต่อพ่วงกันได้สูงสุด 8 ตัว โดยการกำหนดแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์ที่ขา A0-A2 มีคุณสมบัติทางเทคนิคสรุปดังนี้

- ขนาดของหน่วยความจำ 16 กิโลบิต หรือ 2 กิโลไบต์
- แรงดันใช้งาน 2.5-5.5 v
- กระแสขณะสแตนด์บายสูงสุด 100mA
- กระแสขณะอ่านข้อมูลสูงสุด 1mA
- กระแสขณะเขียนข้อมูลสูงสุด 3mA
- ความถี่ของสัญญาณนาฬิกาต่ำสุด-สูงสุด 100-400 kHz
- รอบในการเขียนข้อมูล 1 ล้านครั้ง
- ระยะเวลาการเก็บข้อมูลมากกว่า 200 ปี
- ระยะเวลาในการเขียนสูงสุด 5 มิลลิวินาที
- มีฟังก์ชันป้องกันการเขียนข้อมูลทับ

2.6.5 หน้าที่การทำงานของขาต่างๆของ 24C16 มีดังนี้

- Vcc (ขาที่ 8) เป็นขาป้อนไฟเลี้ยงบวก
- WP (Write Protect:ขาที่ 7) ถ้าขานี้เป็นลอจิก 1 จะสามารถอ่านได้อย่างเดียว
- SCL (Serial Clock : ขาที่ 6) เป็นขาอินพุตรับสัญญาณนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

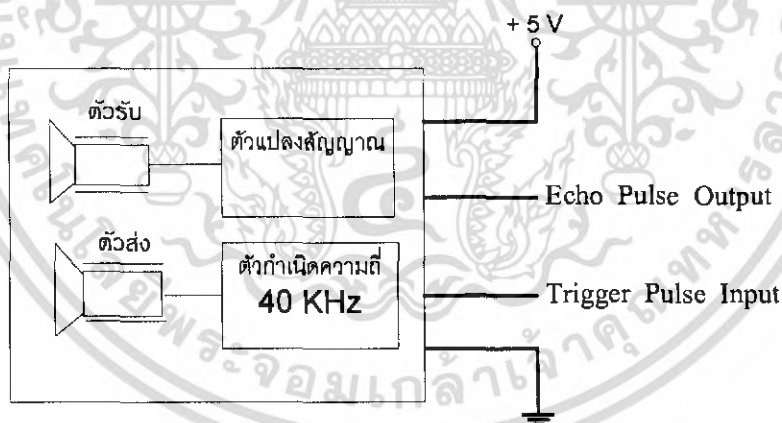
- SDA (Serial data : ขาที่ 5) เป็นขาข้อมูลอนุกรม
- Vss (ขาที่ 4) เป็นขาป้อน ไฟเลี้ยงลบหรือกราวด์
- A0-A2 (ขาที่ 1 – 3) เป็นขากำหนดแอดเดรสให้ต่อลงกราวด์ทั้งหมดหรือปล่อยลอยไว้

2.7 เครื่องกำเนิดสัญญาณอินพุท

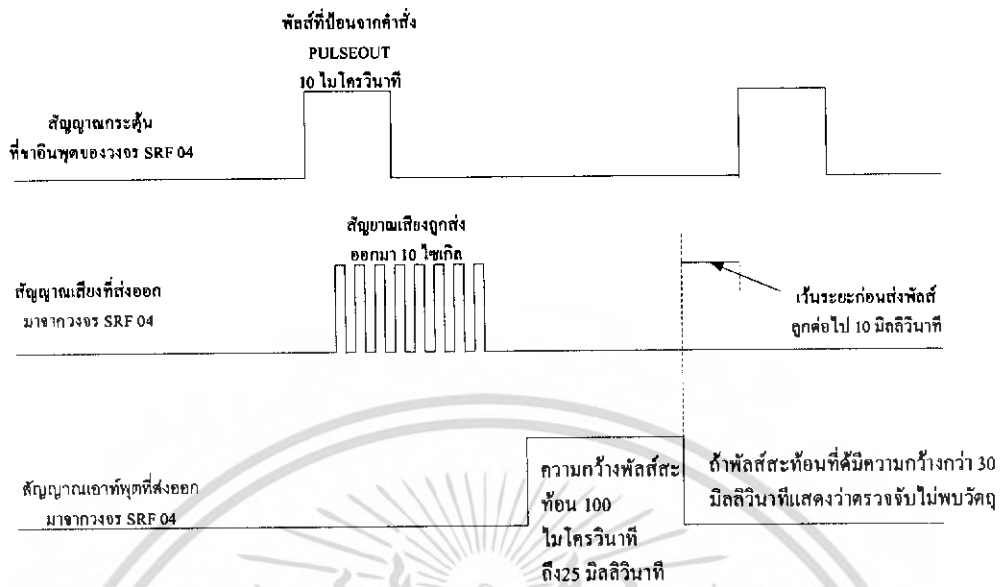
2.7.1 เครื่องกำเนิดสัญญาณคลื่นอุลตราโซนิกที่ใช้งานรวมสำเร็จรูป SRF 04

ชุดวงจร SRF 04 เป็นตัวรับและส่งคลื่นอุลตราโซนิกซึ่งใช้ความถี่ 40 KHz ในการทำงาน ใช้ไฟเลี้ยง +5 V กระแสไฟฟ้า 30 mA ซึ่งใช้สัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างอย่างน้อย 10 ไมโครวินาที ในการกระตุ้นการทำงาน โดยสามารถวัดระยะได้ตั้งแต่ 3 ซม. ถึง 3 ม. ซึ่งมีขาสำหรับเชื่อมต่อใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้แก่

1. ขา Echo Pulse Output เป็นขาเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณพัลส์ออกจาก SRF04 ซึ่งการใช้งานจำขานี้ไปต่อเข้ากับพอร์ตอินพุตของ T89C51AC2 เพื่อตรวจจับความกว้างของสัญญาณพัลส์ที่ส่งออกมาเพื่อแปลความหมายออกมาเป็นระยะทางอีกครั้งหนึ่ง
2. ขา Trigger Pulse Input เป็นขาอินพุตรับรับสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างอย่างน้อย 10 ไมโครวินาทีเพื่อกระตุ้นการสร้างคลื่นอุลตราโซนิกความถี่ 40 KHz ออกสู่อากาศจากตัวส่ง



รูปที่ 2.33 แสดงโครงสร้างภายในวงจรรวมสำเร็จรูป SRF 04



รูปที่ 2.34 ไคอะแกรมเวลาที่ส่งไปและตอบกลับของวงจร SRF 04

ความเร็วของอุลตราโซนิคที่ขอมรับได้ในอุณหภูมิต่างๆ จะมีความสัมพันธ์ดังสมการ

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

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

โดย $t =$ อุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส
 $F =$ อุณหภูมิในหน่วยองศาฟาเรนไฮต์

สูตรการหาระยะทาง

$$D = (346 \text{ m/sec} \times Td) / 2$$

เมื่อ D คือ ระยะทางที่ต้องการวัด
 Td คือ เวลาที่คลื่นใช้เดินทางจากจุดกำเนิดไปแล้วสะท้อน

กลับมา

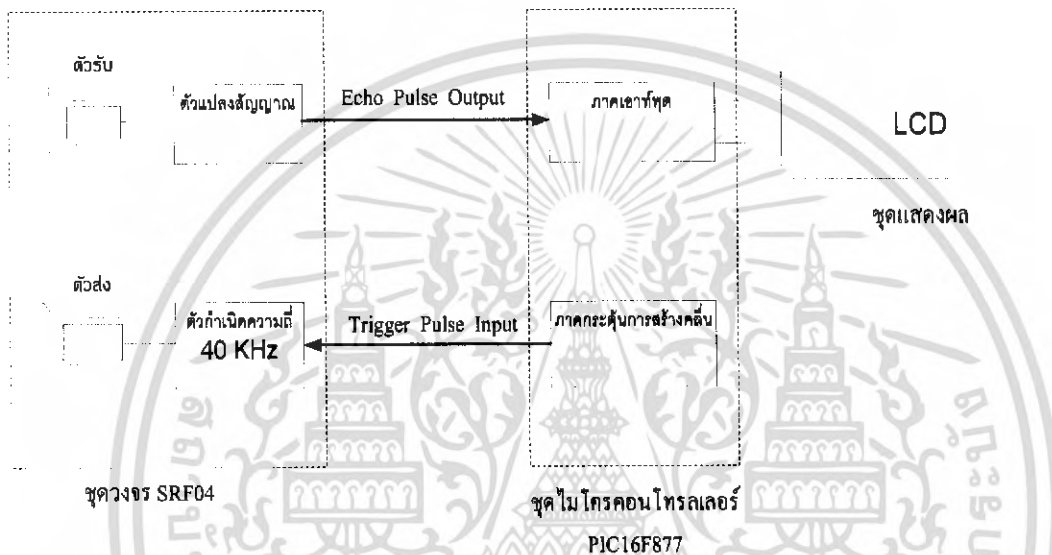
346 m/sec คือความเร็วแสง

บทที่ 3

การออกแบบการทำงานของวงจร

3.1 เครื่องวัดระยะทางโดยใช้คลื่นอุลตราโซนิค

3.1.1 การออกแบบ



รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมการทำงานของเครื่องวัดระยะทางโดยใช้คลื่นอุลตราโซนิค

3.1.2 หลักการทำงาน

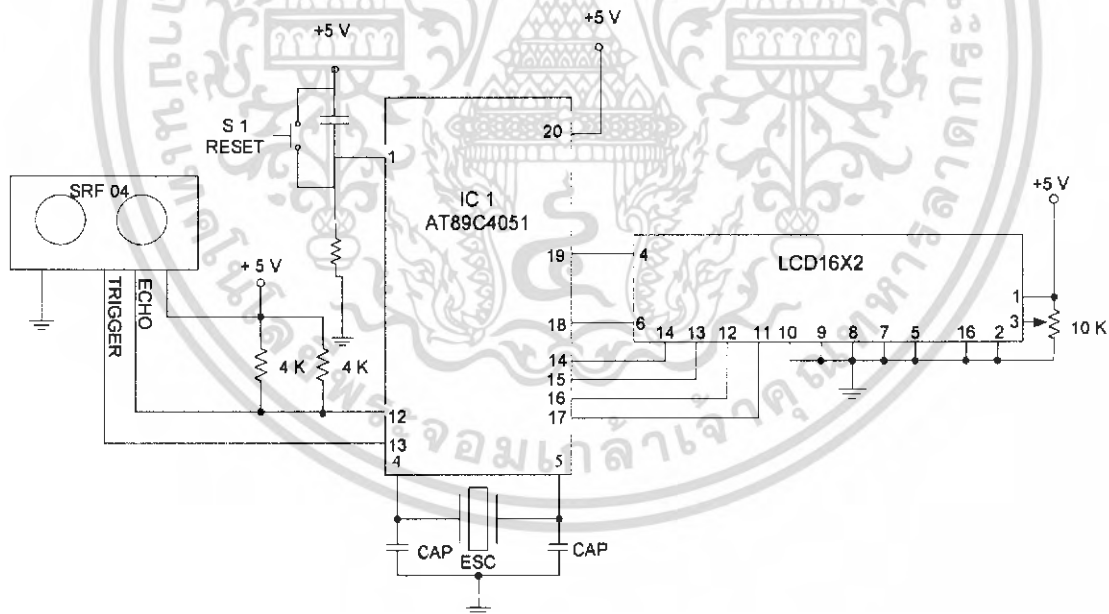
จากบล็อกไดอะแกรมการทำงานโดยรวมซึ่งส่วนหลักๆ ประกอบด้วย ชุดวงจร SRF04 ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 และชุดแสดงผล

เริ่มจากชุดวงจร SRF04 ประกอบด้วย ภาคส่งคลื่นและภาครับคลื่นอุลตราโซนิค โดยภาคส่งจะมีตัวกำเนิดความถี่ 40 KHz และภาครับจะมีตัวแปลงสัญญาณเพื่อให้ออกมาเป็นความกว้างของสัญญาณพัลส์เมื่อมีการสะท้อนกลับของคลื่นที่ส่งออกมาจากตัวส่งโดยชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 ที่ประกอบด้วยภาคกระตุ้นการสร้างคลื่นอุลตราโซนิค และภาคเอาต์พุต ซึ่งเป็นภาครับสัญญาณพัลส์ววกที่ส่งมาจากชุด SRF04 โดยการทำงานจะเริ่มขึ้นด้วยการกำหนดให้ P3.3 อยู่ในสภาวะลอจิก “0” ก่อน จากนั้นสร้างพัลส์ววกที่มีความกว้างอย่างน้อย 10 ไมโครวินาที เพื่อกระตุ้นการสร้างคลื่นอุลตราโซนิคความถี่ 40 KHz ออกไปทางขา Trigger Pulse Input ของชุดวงจร SRF04 ให้ส่งออกไปในอากาศด้วยความเร็ว 1.125 ฟุตต่อ

มิลลิวินาที (ประมาณ 346 เมตรต่อวินาที) เมื่อคลื่นความถี่ดังกล่าวเคลื่อนที่ไปกระทบสิ่งกีดขวางที่อยู่เบื้องหน้าก็จะเกิดการสะท้อนกลับมายังภาครับ และจะถูกแปลงออกมาเป็นความกว้างของสัญญาณพัลส์ ที่จะส่งออกไปทางขา Echo Pulse Output (ความกว้างของพัลส์ที่ส่งออกไปจะเป็นสัดส่วนกับระยะทางของวัตถุที่ตรวจจับได้) ไปยังชุดไมโครคอนโทรลเลอร์โดยจะกำหนดให้ P3.2 อยู่ในสภาวะลอจิก “0” ก่อน

เมื่อเข้าสู่กระบวนการตรวจจับพัลส์บวกที่ส่งออกมาจากขา Echo Pulse Output ของชุด SRF04 จะมีการตรวจสอบขา P3.2 ว่ามีการเปลี่ยนแปลงจากสภาวะลอจิก “0” เป็น “1” หรือไม่ ถ้า “ใช่” จะเริ่มนับเวลาด้วยการเปิดการนับของไทม์เมอร์ 1 แล้วรอนจนกระทั่งขา P3.2 มีการเปลี่ยนลอจิก “1” เป็น “0” จึงปิดการนับของไทม์เมอร์ แต่ถ้า “ไม่” ก็จะวนตรวจสอบตลอดเวลา

เมื่อสิ้นสุดกระบวนการตรวจจับความกว้างพัลส์บวกในแต่ละรอบครบหน่วงเวลา 10 มิลลิวินาที ซึ่งจะดำเนินกระบวนการเช่นนี้ต่อเนื่องกัน 5 รอบ เพื่อหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลความกว้างพัลส์ เพื่อนำไปหารกับ 60 ซึ่งเป็นค่าความเร็ว 2 เท่าของการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์และส่งข้อมูลไปแสดงผลที่ชุดแสดงผล LCD ต่อไป



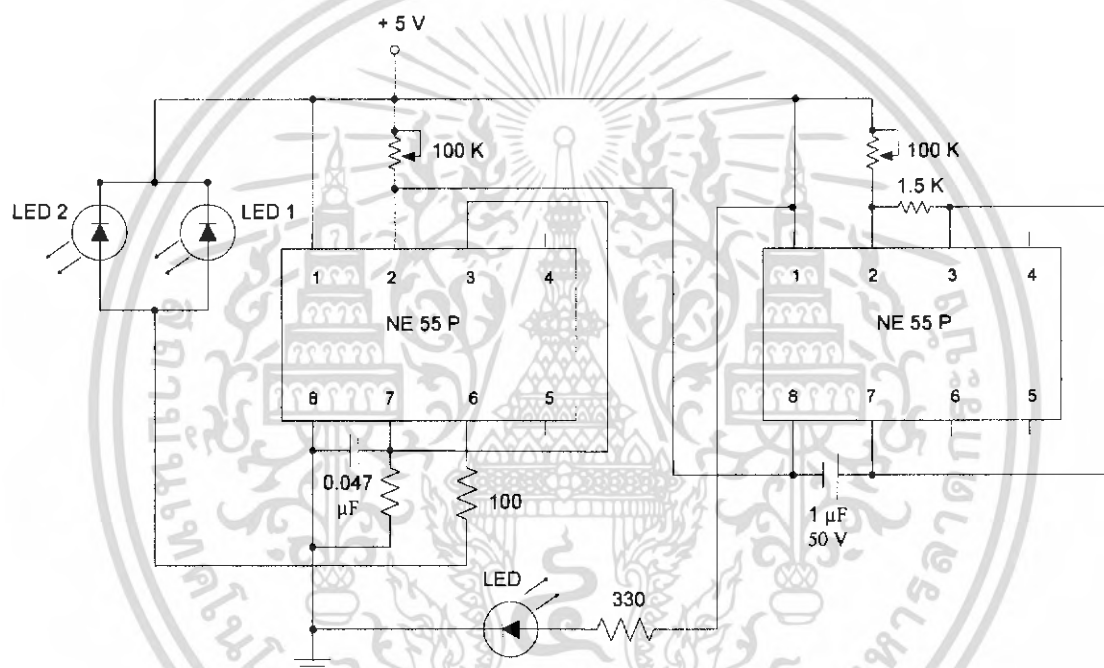
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรของเครื่องวัดระยะทางโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 เครื่องวัดความเร็วโดยใช้แสงอินฟราเรด

3.2.1 ภาคขับแสงอินฟราเรด (LED driving circuit)

ส่วนนี้เป็นส่วนของภาคส่งคลื่นแสงอินฟราเรด โดยมีแหล่งกำเนิดคลื่นแสงเป็น LED แสงอินฟราเรดจะถูกส่งออกมาเป็นพัลส์หรือต้องถูกขับด้วยสัญญาณที่เป็นสัญญาณไฟสลับ เพื่อให้คลื่นที่ทำการส่งออกไปสามารถตรวจจับได้ง่ายโดยตัวรับ เนื่องจากคลื่นแสงที่เป็นพัลส์นี้จะไม่ไปปนกับแสงอินฟราเรดของดวงอาทิตย์หรือที่ปล่อยออกมาจากวัตถุที่ทำการวัด แสงที่ถูกปล่อยออกมาจาก LED จะถูกบีบด้วยเลนส์ทางด้านส่งเพื่อให้เกิดลำของคลื่นแสง จะได้ไม่แตกกระจายเวลาถูกส่งออกไป ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงวงจรส่วนภาคส่งของเครื่องวัดความเร็วโดยใช้แสงอินฟราเรด

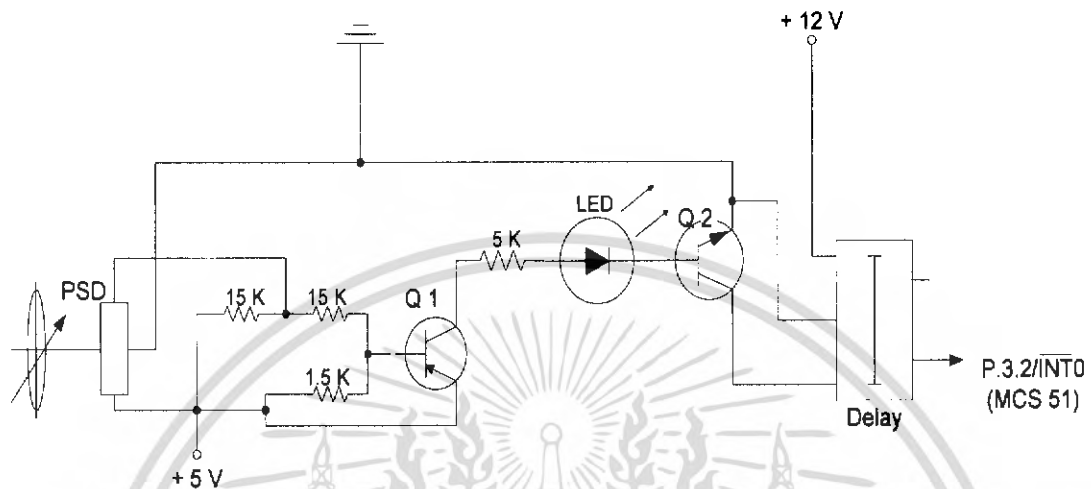
3.2.2 ภาครับ

ตามคุณสมบัติของ PSD เมื่อมีแสงตกกระทบบนตัวรับจะมีกระแสไหลออกที่ปลายขั้วอิเล็กโทรดทั้ง 2 ขั้ว หลังจากนั้นกระแสก็จะไหลไปยังส่วนต่างๆของวงจร คือ

เมื่อตัวรับได้รับแสงจะเกิดกระแสไหลที่ขั้วของอินฟราเรดทั้งสองข้างกระแสที่ขั้วทั้งสองข้างจะไปทำการทิกที่ขาเบสทำให้กระแสที่ต่อที่ขา emitter นั้นไหลผ่านตัวทรานซิสเตอร์ไปเข้าที่แอลอีดีจึงทำให้กระแสไหลผ่านที่ขาเบสที่ทรานซิสเตอร์(Q2)ทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสไหลลงกราวด์ทรานซิสเตอร์(Q2)ทำงานดังนั้นจึงทำให้เกิดแรงดันเข้าไปเหนี่ยวนำขดลวดรีเลย์ ทำให้รีเลย์ทำงานตามลำดับ



รูปที่ 3.4 แสดงวงจรส่วนภาครับของเครื่องวัดความเร็วโดยใช้แสงอินฟราเรด

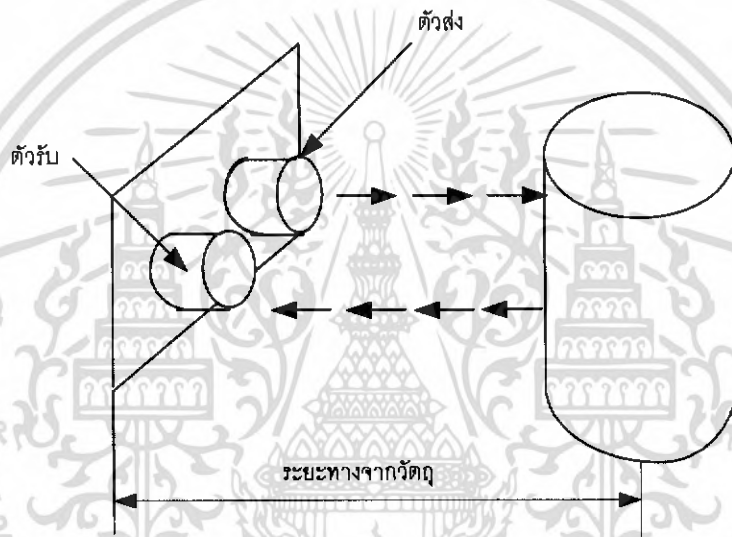
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลองและผลการทดลองเครื่องวัดระยะทางอัลตราโซนิก

เป็นการทดลองวัดรูปคลื่นสัญญาณที่ ส่งออกจากขา Trigger Pulse Input (TRIGGER) ซึ่งเป็นขาอินพุตที่รับสัญญาณพัลส์ที่มีความกว้างอย่างน้อย 10 ไมโครวินาทีเพื่อกระตุ้นการสร้างคลื่นอัลตราโซนิก ความถี่ 40 kHz ออกสู่อากาศ และแสดงรูปคลื่นสัญญาณที่ out put ที่รับเข้ามาประมวลผลด้วยไมโครโปรเซสเซอร์ต่อไป



รูปที่ 4.1 แสดงหลักการตรวจจับวัตถุโดยใช้สัญญาณความถี่เหนือเสียงหรืออัลตราโซนิก

ตารางที่ 4.1 การทดลองการวัดระยะทางโดยเครื่องอัลตราโซนิก

ใช้วัตถุขนาดวัตถุ 5×10 cm

ระยะทางจริง	ระยะทางที่วัดได้	ค่าความผิดพลาด
0-10	29	45
30	39	30
40	48	20
50	57	14
60	65	8.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

60	65	8.33
70	75	7.14
80	85	6.25
90	94	4.44
100	103	3
110	112	1.8
120	121	0.83
130	129	-0.77
140	139	-0.71
150	149	-0.66
160	157	-1.8
170	166	-2.35
180	179	-0.55
190	185	-2.63
200	193	-3.5
220	211	-4.09
240	229	-4.5
260	285	-9.61
280	-	-
300	-	-

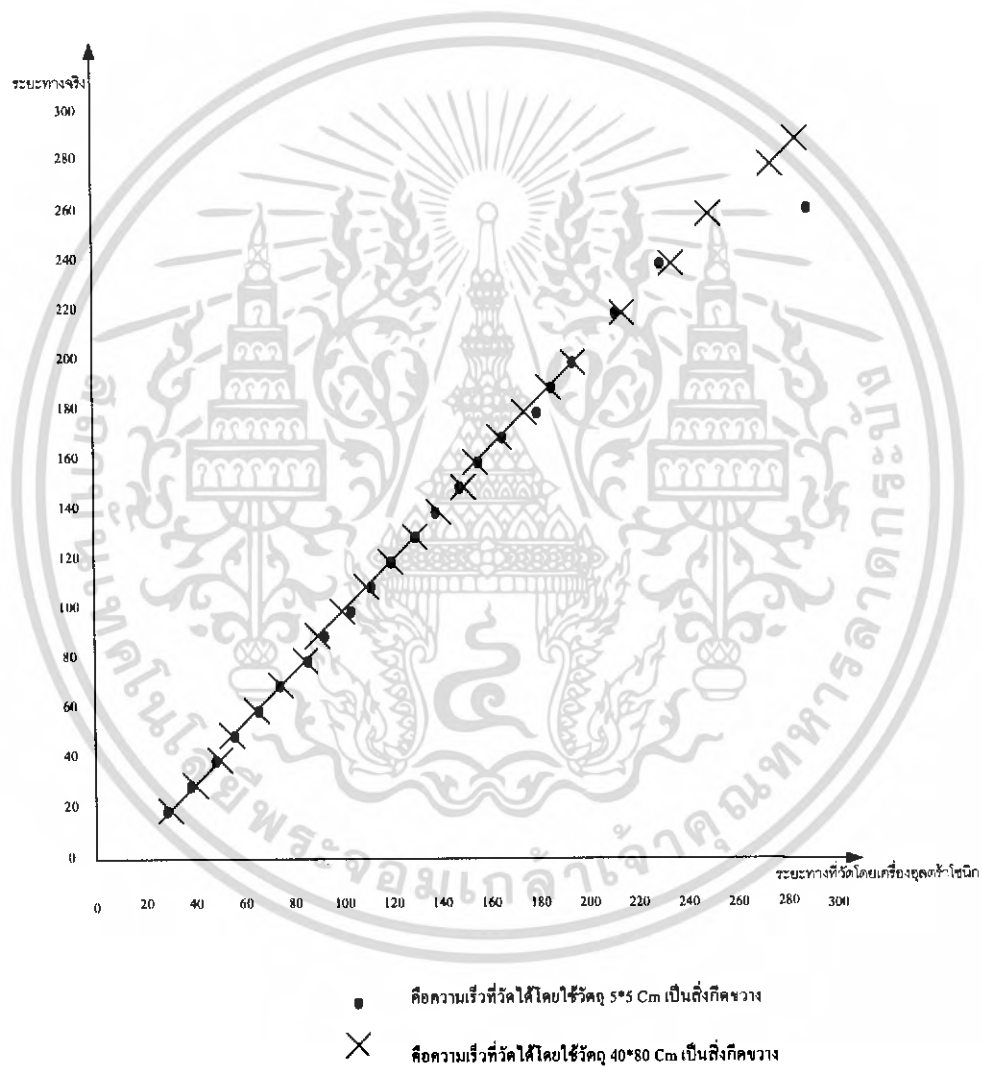
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 การทดลองการวัดระยะทางโดยเครื่องวัดระยะทางโซนิก

ใช้วัตถุขนาดวัตถุ 40×60 cm

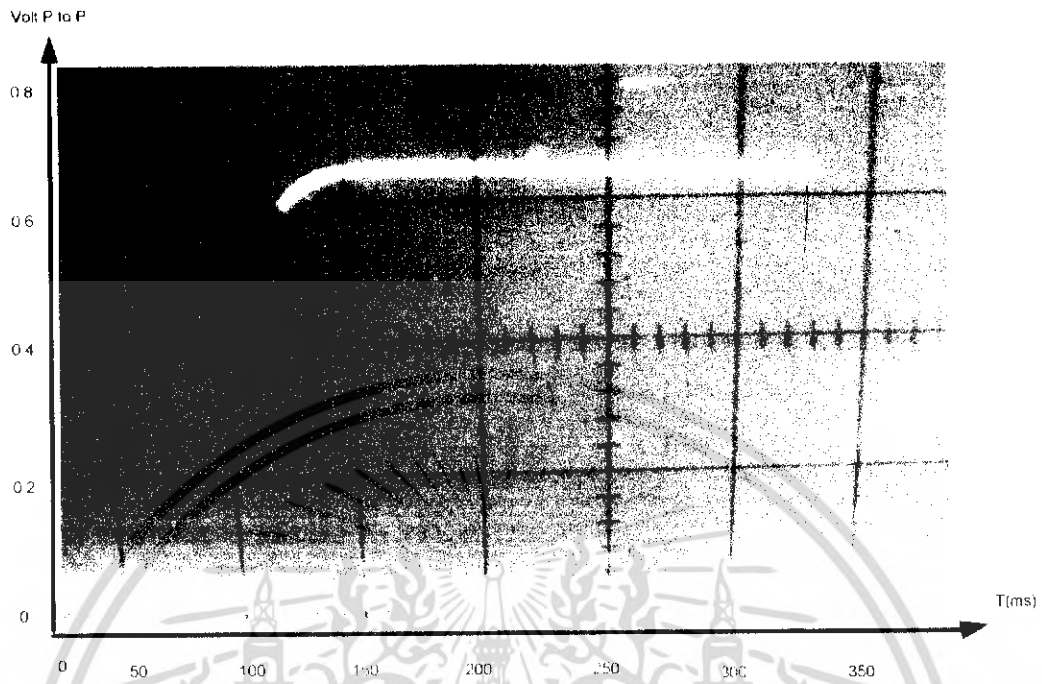
ระยะทางจริง	ระยะทางที่วัดได้	ค่าความผิดพลาด
0-10	29	45
30	39	30
40	47	17.5
50	56	12
60	65	8.33
70	75	7.14
80	84	5
90	93	3.33
100	102	2
110	111	1
120	120	0
130	129	-0.73
140	138	-1.42
150	148	-1.33
160	157	-1.87
170	166	-2.35
180	175	-2.77
190	183	-3.68
200	194	-3
220	213	-3.18
240	234	-2.91
260	252	-3.07
280	277	-1.08
300	285	-1.66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

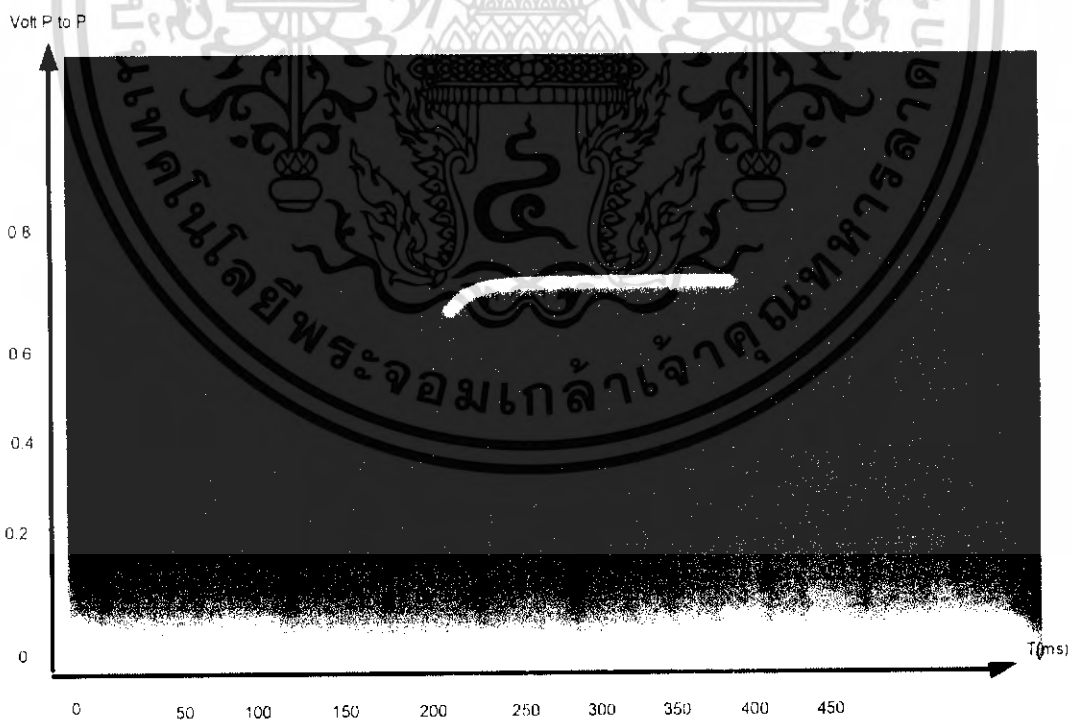


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความผิดพลาดระหว่างระยะทางจริงและระยะทางที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

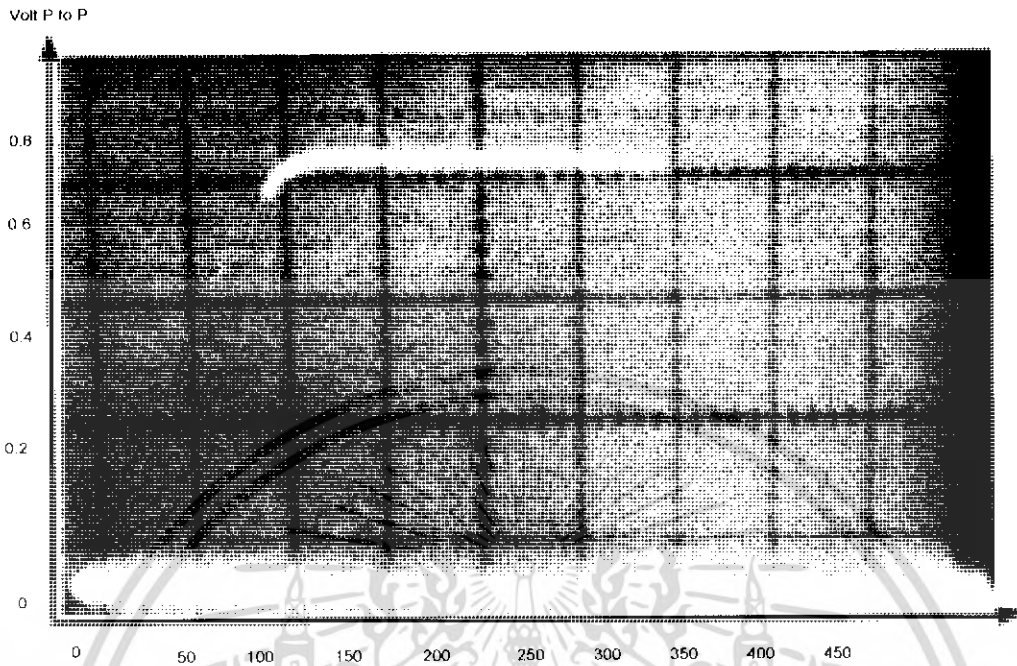


รูปที่ 4.3 กราฟแสดงรูปคลื่นเสียงกลอง



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงรูปคลื่นเสียงกลองที่ระยะทาง 50 cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงรูปคลื่นเสียงภาครับที่ระยะทาง 70 cm

4.2 การทดลองและผลการทดลองเครื่องวัดความเร็วโดยใช้อินฟาเรด

ตารางที่ 4.3 การทดลองการวัดความเร็วโดยใช้อินฟาเรด

ระยะที่วางอินฟาเรดตัวรับและตัวส่ง 50 cm

ความเร็วจริง 10 km/h	ความเร็วที่วัดได้	%ค่าความ ผิดพลาด	ความเร็วเฉลี่ย	% ความ ผิดพลาดเฉลี่ย
ทดลองครั้งที่ 1	10 km/h	0	11	10
ทดลองครั้งที่ 2	12 km/h	20		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดลองครั้งที่ 3	11 km/h	10		
-----------------	---------	----	--	--

ระยะที่วางอินฟารेटตัวรับและตัวส่ง 100 cm

ความเร็วจริง 10 km/h	ความเร็วที่วัดได้	%ค่าความ ผิดพลาด	ความเร็วเฉลี่ย	% ความ ผิดพลาดเฉลี่ย
ทดลองครั้งที่ 1	13 km/h	30	12.33	23.33
ทดลองครั้งที่ 2	12km/h	20		
ทดลองครั้งที่ 3	12 km/h	20		

ระยะที่วางอินฟารेटตัวรับและตัวส่ง 50 cm

ความเร็วจริง 20 km/h	ความเร็วที่วัดได้	%ค่าความ ผิดพลาด	ความเร็วเฉลี่ย	% ความ ผิดพลาดเฉลี่ย
ทดลองครั้งที่ 1	21km/h	5	22	10
ทดลองครั้งที่ 2	23km/h	15		
ทดลองครั้งที่ 3	22km/h	10		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะที่วางอินฟาเรดตัวรับและตัวส่ง 100 cm

ความเร็วจริง 20 km/h	ความเร็วที่วัดได้	%ค่าความ ผิดพลาด	ความเร็วเฉลี่ย	% ความ ผิดพลาดเฉลี่ย
ทดลองครั้งที่ 1	22km/h	10	22.67	13.3
ทดลองครั้งที่ 2	23km/h	15		
ทดลองครั้งที่ 3	23 km/h	15		

ระยะที่วางอินฟาเรดตัวรับและตัวส่ง 50 cm

ความเร็วจริง 30 km/h	ความเร็วที่วัดได้	%ค่าความ ผิดพลาด	ความเร็วเฉลี่ย	% ความ ผิดพลาดเฉลี่ย
ทดลองครั้งที่ 1	33km/h	10	32	9
ทดลองครั้งที่ 2	32km/h	6.66		
ทดลองครั้งที่ 3	33km/h	10		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะที่ทางอินฟาเรดตัวรับและตัวส่ง 100 cm

ความเร็วจริง 30 km/h	ความเร็วที่วัดได้	%ค่าความ ผิดพลาด	ความเร็วเฉลี่ย	% ความ ผิดพลาดเฉลี่ย
ทดลองครั้งที่ 1	34km/h	13.3		
ทดลองครั้งที่ 2	35km/h	16.6	34.33	14.4
ทดลองครั้งที่ 3	34km/h	13.3		



รูปที่ 4.7 รูปแสดงตัวอย่างการวัดความเร็ว การวัดความเร็วที่ 32 กิโลเมตร/ต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1 สรุปการพัฒนาโครงการ

โครงการที่สร้างนี้สามารถเป็นตัวอย่างในการพัฒนาอุปกรณ์ที่ใช้วัดระยะทาง และความเร็วที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นในอนาคต และมีประสิทธิภาพใกล้เคียง dropperadal มากที่สุด ซึ่งเครื่องวัดระยะทางและความเร็วนี้สามารถนำไปใช้งานได้จริง ส่วนวงจรภาคแสดงผลนั้น แสดงออกที่จอ LCD และเครื่องวัดความเร็วนั้นยังสามารถที่จะเก็บข้อมูลได้สูงสุด ถึง 60 ค่าด้วยกัน แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นโครงการที่สร้างนี้ยังต้องปรับปรุงและแก้ไขในหลาย ๆ ส่วนก่อนที่จะนำไปใช้ในภาครัฐและเอกชน ทั้งในส่วนการทำงานของอินฟาเรดที่มีการตอบสนองช้าของเครื่องวัดความเร็ว และความผิดพลาดจากระยะทางที่วัดของเครื่องอัลตราโซนิก ที่ใช้หลักการสะท้อนของคลื่นเสียงในอากาศ

5.2 ปัญหาต่าง ๆ และข้อจำกัดของโครงการ

- เครื่องวัดความเร็วโดยใช้อินฟาเรด
 1. ส่วนภาครับและภาคส่งของเครื่องวัดความเร็ว อินฟาเรดที่ใช้งานอยู่นั้นมีข้อจำกัดในด้านความไวในการเปิด - ปิดวงจร จึงทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนได้
 2. ส่วนของการประมวลผลเครื่องวัดความเร็ว ในลักษณะของการประมวลผลนั้นต้องใช้ระยะเวลาของ Sensor และความเร็วของวัตถุที่ตัดผ่านอินฟาเรดที่เป็นตัว Start - Stop เมื่อทำการวาง Sensor ระยะใกล้เกินไปอาจทำให้ความเร็วที่ประมวลผลได้นั้นเกิด Error ได้ หรือถ้าวางห่างเกินไปก็อาจทำให้ตัวส่งนั้นส่งไปไม่ถึง
- เครื่องวัดระยะทางโดยใช้อัลตราโซนิก
 1. ส่วนของการกำเนิดคลื่นเสียงและภาครับคลื่นเสียง (Input / Output) ในการสะท้อนกลับของคลื่นนั้นย่อมเกิดการเลี้ยวเบน หักเห การแตกกระจาย ทำให้เวลาในการเดินทางของคลื่นในอากาศมายังภาครับนั้นจะช้ากว่าความเป็นจริง จึงทำให้ข้อมูลเกิด Error ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับระยะทางของวัตถุ
 2. ส่วนของการประมวลผล ในขณะที่วัตถุเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมายนั้น เราจะสามารถดูระยะทางของวัตถุได้ทางจอแสดงผลได้ตลอดเวลา แต่ตรงกันข้ามเมื่อวัตถุมีการเคลื่อนที่ตัดผ่านอัลตราโซนิกด้วยความเร็วนั้นเราจะไม่สามารถดูระยะทางที่จอแสดงผลได้ทันที ซึ่งก็เป็นข้อจำกัดของโครงการนี้เช่นกัน

5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ

1. ใช้ Sensor ที่มีประสิทธิภาพในการตอบสนองความเร็วที่ดีกว่า
2. ใช้วงจรรินฟารด์ที่มีกำลังส่งที่มากกว่านี้
3. การแสดงผลนั้นอาจแสดงที่คอมพิวเตอร์ และเก็บข้อมูลไว้ที่คอมพิวเตอร์ได้เลย
4. ปรับปรุงผ่านโปรแกรมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่านี้
5. ใช้การประมวลผลที่ทำให้อัลตราโซนิกสามารถหน่วงเวลาการแสดงผลที่แสดงระยะทางของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ตัดผ่านอัลตราโซนิกไว้ระยะหนึ่งได้ ซึ่งจะช่วยให้ขีดจำกัดของโครงการนี้หมดไป เพราะโครงการนี้จะมีประสิทธิภาพใกล้เคียง Doppler Radar มากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

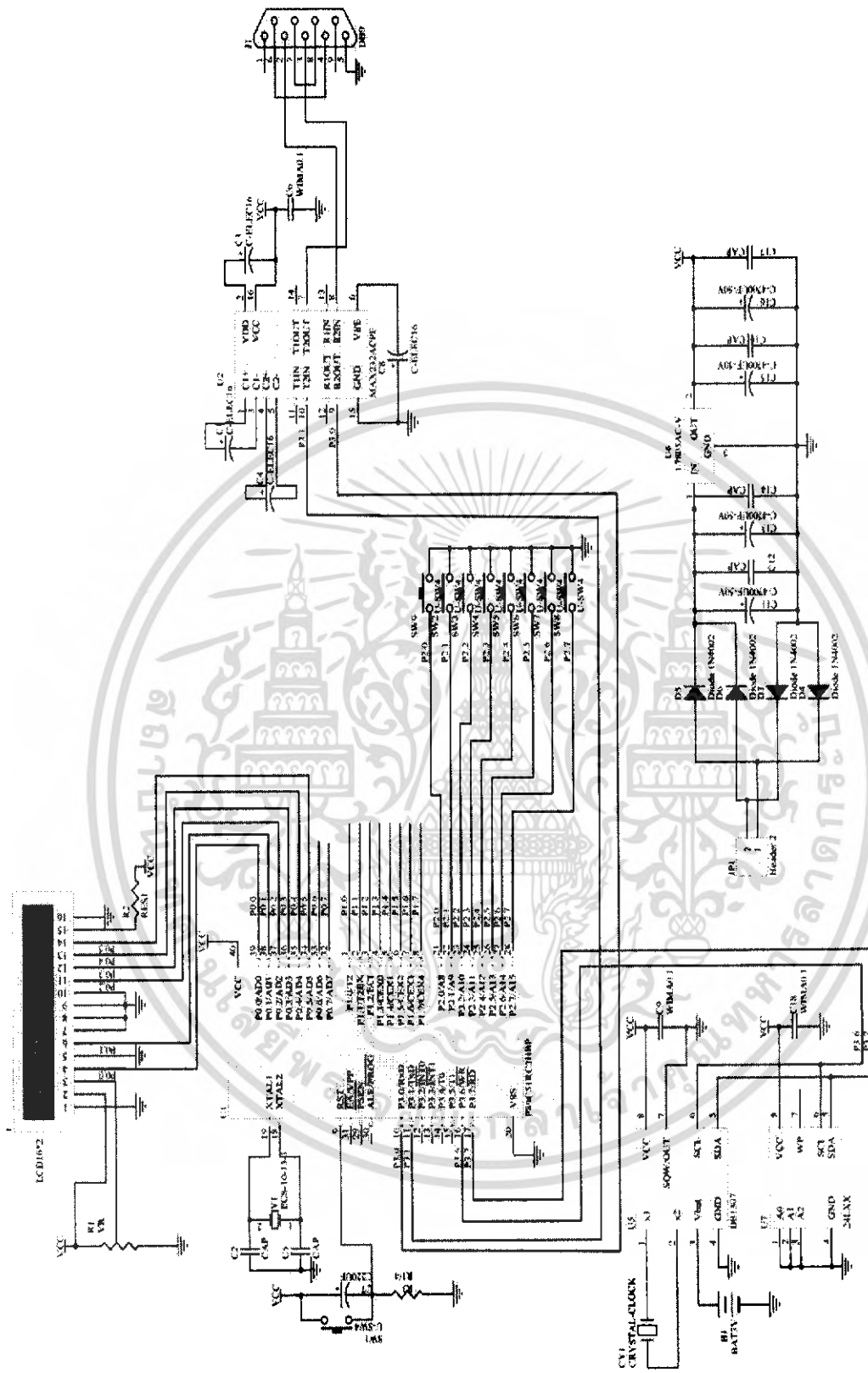
1. ชัยวัฒน์ ลีมพรจิตรวิไล , นคร ภักดีชาติ, ไมโครคอนโทรลเลอร์MCS-51 ด้วยโปรแกรมภาษา C ฉบับ P89V51RD2 . กรุงเทพฯ ฯ : บริษัทอินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด , 2521.
2. นคร ภักดีชาติ และคณะ , ปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ด้วยโปรแกรมภาษา C . กรุงเทพฯ ฯ : บริษัทอินโนเวตีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด , 2521.
3. ประภาพร ช่างไม้ , คู่มือการเขียนโปรแกรมภาษา C ฉบับผู้เริ่มต้น.นนทบุรี : อินโฟเพรส , 2545.
4. อภิเชษฐ์ การัญญมิ, อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์. กรุงเทพฯ ฯ : เอ-บุ๊ก ดิสทริบิวชัน จำกัด.2548



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

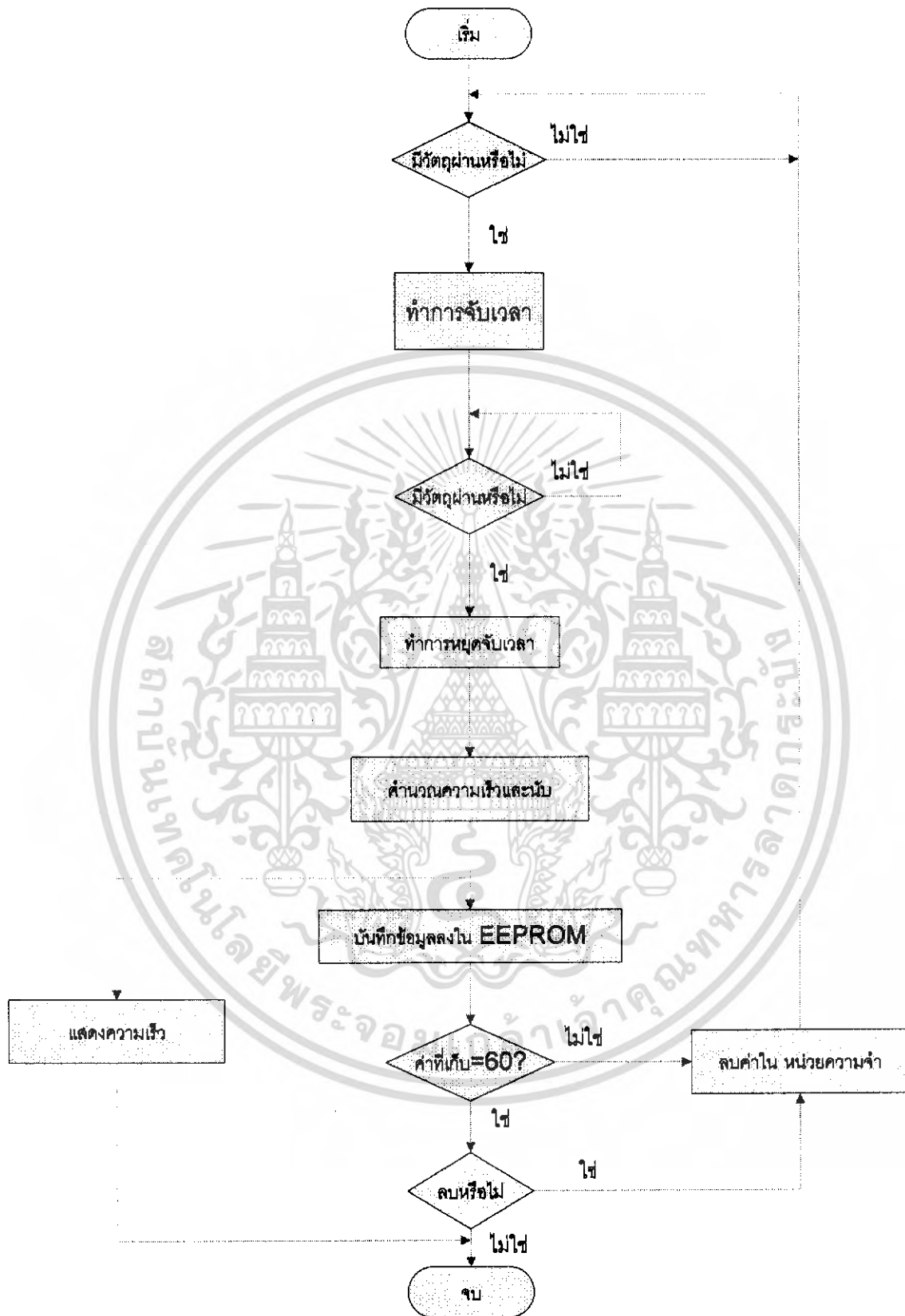


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



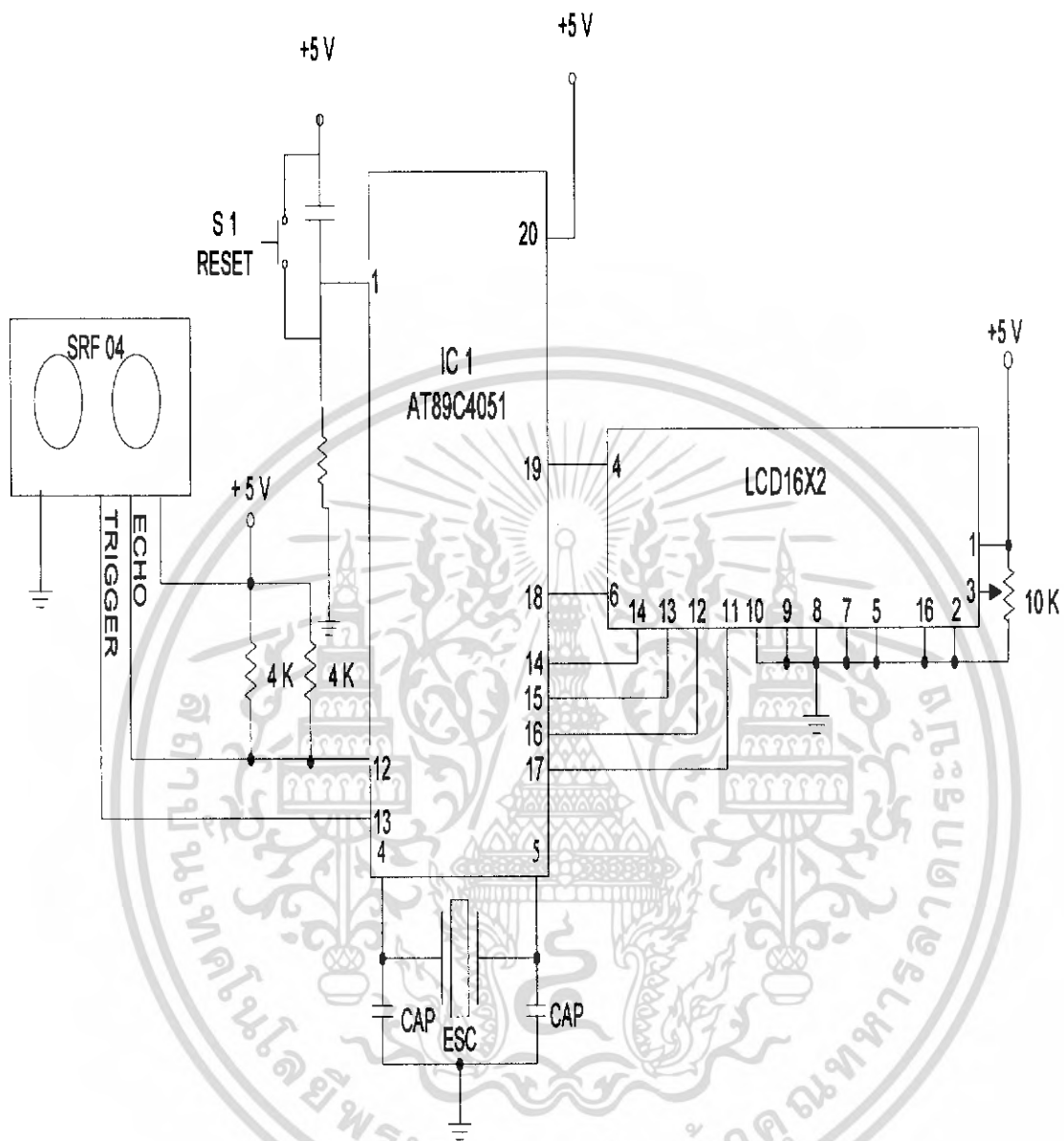
รูปแสดงวงจรไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



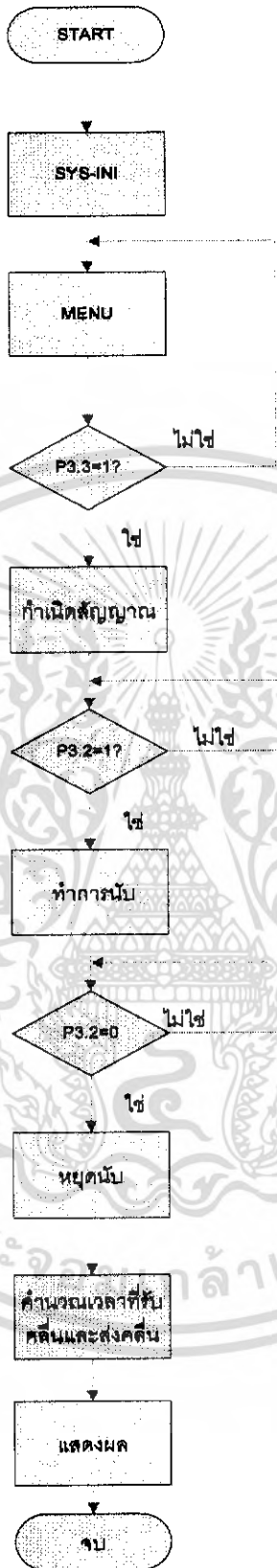
ไฟล์ชาร์ตการทำงานของProgram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดงการทำงานของวงจรเครื่องวัดระยะทางโดยใช้อัลตราโซนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



โฟลส์ชาร์ตการทำงานของProgram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Features

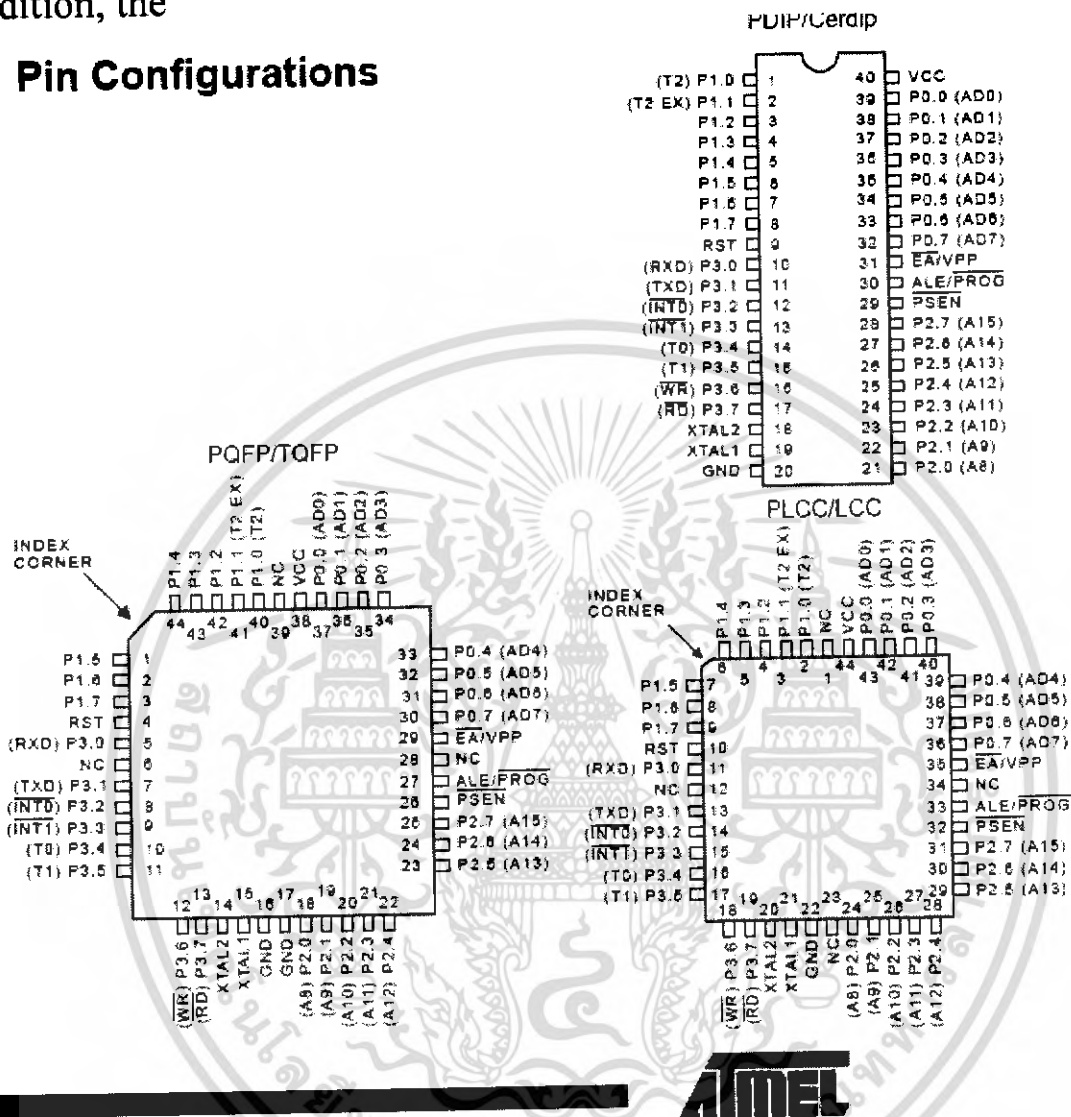
- **Compatible with MCS-51™ Products**
- **8 Kbytes of In-System Reprogrammable Flash Memory**
- **Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles**
- **Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz**
- **Three-Level Program Memory Lock**
- **256 x 8-Bit Internal RAM**
- **32 Programmable I/O Lines**
- **Three 16-Bit Timer/Counters**
- **Eight Interrupt Sources**
- **Programmable Serial Channel**
- **Low Power Idle and Power Down Modes**

Description

The AT89C52 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 8 Kbytes 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 80C51 and 80C52 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 AT89C52 is a powerful microcomputer which provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications. The AT89C52 provides the following standard features: 8 Kbytes of Flash, 256 bytes of RAM, 32 I/O lines, three 16-bit timer/counters, a six-vector two-level interrupt architecture, a

full duplex serial port, on-chip oscillator, and clock circuitry. In addition, the

Pin Configurations



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Description (Continued)

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 bidirectional 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 can 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 bidirectional 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.

In addition, P1.0 and P1.1 can be configured to be the timer/counter 2 external count input (P1.0/T2) and the timer/counter 2 trigger input (P1.1/T2EX), respectively, as shown in the following table.

Port Pin	Alternate Functions
P1.0	T2 (external count input to Timer/Counter 2), clock-out
P1.1	T2EX (Timer/Counter 2 capture/reload trigger and direction control)

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

Port 2

Port 2 is an 8-bit bidirectional 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, Port 2 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 bidirectional 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 shown in the following table.

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	WR (external data memory write strobe)
P3.7	RD (external data memory read strobe)

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

RST

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

ALE/PROG

Address Latch Enable is an output pulse for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input (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 MOVC instruction. Otherwise, the pin is weakly pulled high. Setting the ALE-disable bit has no effect if the microcontroller is in external execution mode.

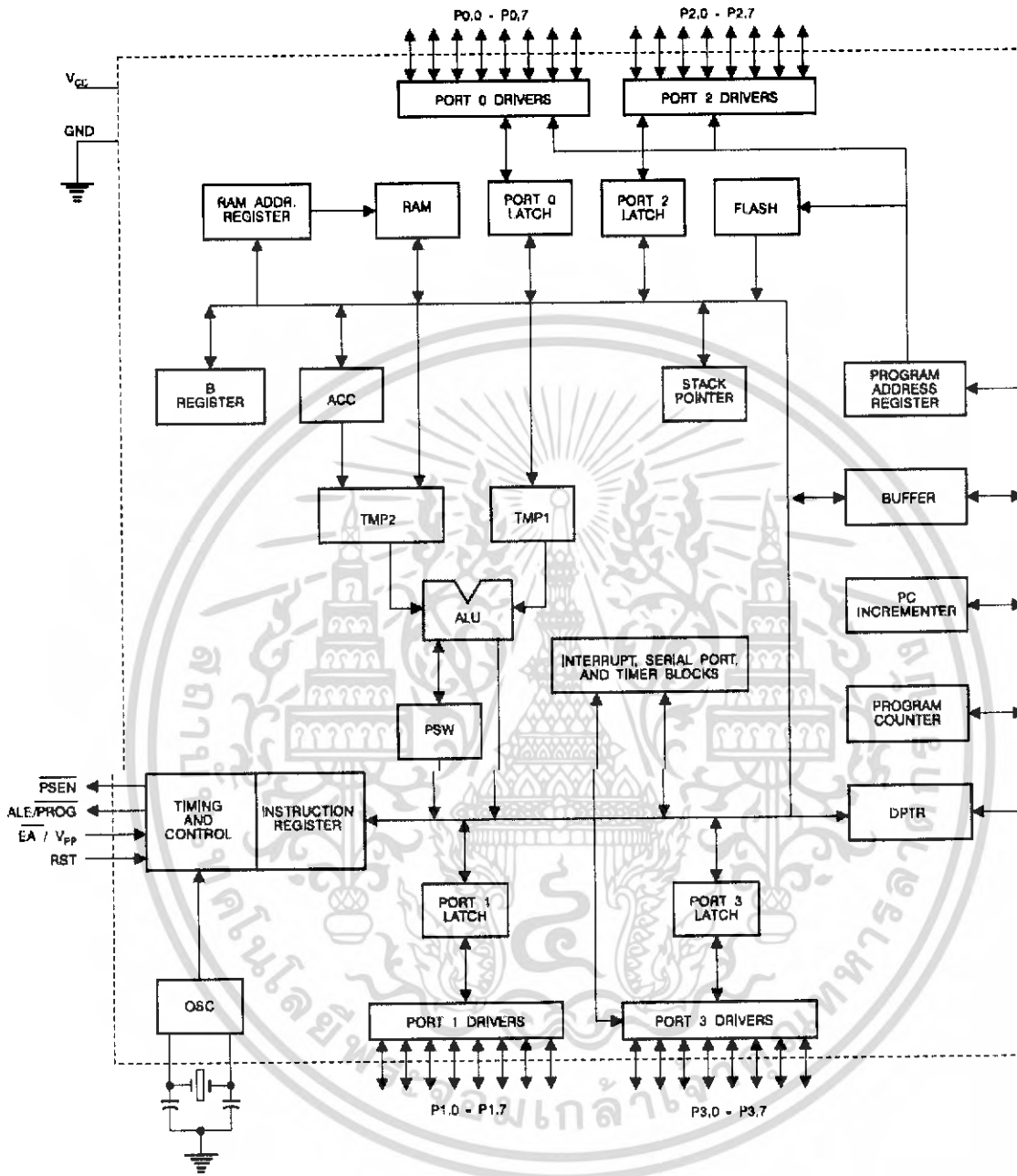
PSEN

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

When the AT89C52 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. *(continued)*



Block Diagram



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16K 2.5V I²C™ Serial EEPROM

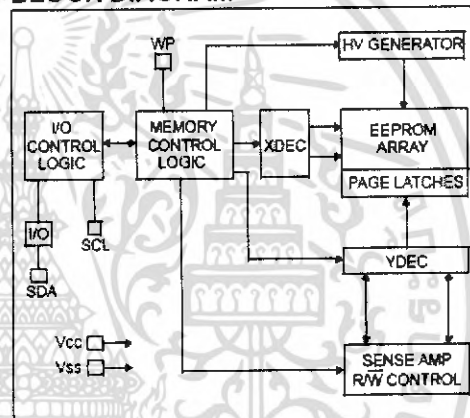
FEATURES

- Single supply with operation down to 2.5V
- Low power CMOS technology
 - 1 mA active current typical
 - 10 μ A standby current typical at 5.5V
 - 5 μ A standby current typical at 3.0V
- Organized as 8 blocks of 256 bytes (8 x 256 x 8)
- 2-wire serial interface bus, I²C™ compatible
- Schmitt trigger inputs for noise suppression
- Output slope control to eliminate ground bounce
- 100 kHz (E-temp.) and 400 kHz (C/I-temp.) compatibility
- Self-timed write cycle (including auto-erase)
- Page-write buffer for up to 16 bytes
- 2 ms typical write cycle time for page-write
- Hardware write protect for entire memory
- Can be operated as a serial ROM
- Factory programming (QTP) available
- ESD protection > 4,000V
- 1,000,000 erase/write cycles
- Data retention > 200 years
- 8-pin PDIP, SOIC, TSSOP and MSOP packages
 - Industrial (I): -40°C to +85°C
 - Automotive (E): -40°C to +125°C

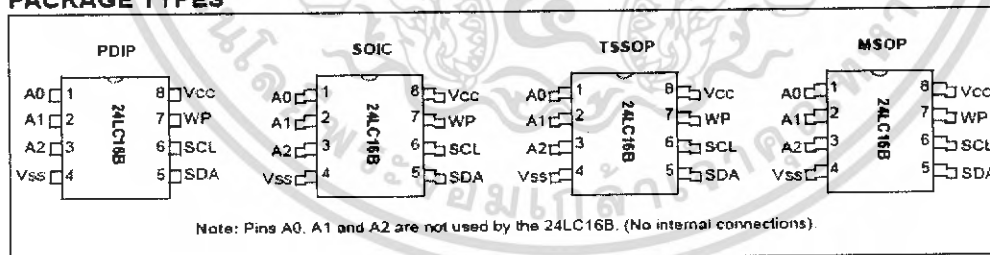
DESCRIPTION

The Microchip Technology Inc. 24LC16B is a 16 Kbit Electrically Erasable PROM. The device is organized as eight blocks of 256 x 8-bit memory with a 2-wire serial interface. Low voltage design permits operation down to 2.5V with standby and active currents of only 5 μ A and 1 mA respectively. The 24LC16B also has a page-write capability for up to 16 bytes of data. The 24LC16B is available in the standard 8-pin DIP, surface mount SOIC, TSSOP and MSOP packages.

BLOCK DIAGRAM



PACKAGE TYPES



I²C™ is a trademark of the Philips Corporation

24LC16B

1.0 ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Absolute Maximum Ratings†

Vcc	7.0V
All inputs and outputs w.r.t. Vss	-0.3V to Vcc +1.0V
Storage temperature	-65°C to +150°C
Ambient temp. with power applied	-65°C to +125°C
Soldering temperature of leads (10 seconds)	+300°C
ESD protection on all pins	≥ 4 KV

† NOTICE: Stresses above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and should not be used as a basis for design. Maximum ratings are not intended to represent a condition of normal operation. Exposure to maximum ratings conditions for extended periods may affect device reliability.

1.1 DC Characteristics

DC CHARACTERISTICS			Vcc = +2.5V to +5.5V Industrial (I): TAMB = -40°C to +85°C Automotive (E): TAMB = -40°C to +125°C			
Param. No.	Sym.	Characteristic	Min.	Max.	Units	Conditions
D1	V _{IH}	WP, SCL and SDA pins	—	—	—	—
D2	—	High level input voltage	.7 Vcc	—	V	—
D3	V _{IL}	Low level input voltage	—	.3 Vcc	V	—
D4	V _{HYS}	Hysteresis of Schmitt trigger inputs	.05 Vcc	—	V	(Note)
D5	V _{OL}	Low level output voltage	—	.40	V	I _{OL} = 3.0 mA, Vcc = 2.5V
D6	I _{LI}	Input leakage current	-10	10	µA	V _{IN} = .1V to Vcc
D7	I _{LO}	Output leakage current	-10	10	µA	V _{OUT} = .1V to Vcc
D8	C _{IN} , C _{OUT}	Pin capacitance (all inputs/outputs)	—	10	pF	Vcc = 5.0V (Note) TAMB = 25°C, F _{CLK} = 1 MHz
D9	I _{CC} write	Operating current	—	3	mA	Vcc = 5.5V, SCL = 400 kHz
D10	I _{CC} read		—	1	mA	—
D11	I _{CCS}	Standby current	—	30	µA	Vcc = 3.0V, SDA = SCL = Vcc
			—	100	µA	Vcc = 5.5V, SDA = SCL = Vcc WP = Vss

Note: This parameter is periodically sampled and not 100% tested.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

24LC16B

1.2 AC Characteristics

AC CHARACTERISTICS			Vcc = +2.5V to +5.5V Industrial (I): TAMB = -40°C to +85°C Automotive (E): TAMB = -40°C to +125°C			
Param. No.	Sym.	Characteristic.	Min.	Max.	Units	Conditions
1	FCLK	Clock frequency	—	400	kHz	2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V 2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E-temp. range)
2	THIGH	Clock high time	600 4000	—	ns	2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V 2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E-temp. range)
3	TLOW	Clock low time	1300 4700	—	ns	2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V 2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E-temp. range)
4	TR	SDA and SCL rise time (Note 1)	—	300 1000	ns	2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (Note 1) 2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E-temp. range) (Note 1)
5	TF	SDA and SCL fall time	—	300	ns	(Note 1)
6	THD:STA	START condition hold time	600 4000	—	ns	2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V 2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E-temp. range)
7	TSU:STA	START condition setup time	600 4700	—	ns	2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V 2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E-temp. range)
8	THD:DAT	Data input hold time	0	—	ns	(Note 2)
9	TSU:DAT	Data input setup time	100 250	—	ns	2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V 2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E-temp. range)
10	TSU:STO	STOP condition setup time	600 4000	—	ns	2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V 2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E-temp. range)
11	TAA	Output valid from clock (Note 2)	—	900 3500	ns	2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V 2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E-temp. range)
12	TBUF	Bus free time: Time the bus must be free before a new transmission can start	1300 4700	—	ns	2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V 2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E-temp. range)
13	TOF	Output fall time from VIH minimum to VIL maximum	20+0.1CB —	250 250	ns	2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V 2.5V ≤ Vcc ≤ 5.5V (E-temp. range)
14	TSP	Input filter spike suppression (SDA and SCL pins)	—	50	ns	(Notes 1 and 3)
15	TWC	Write cycle time (byte or page)	—	5	ms	—
16	—	Endurance	1M	—	cycles	25°C, Vcc = 5.0V, Block Mode (Note 4)

Note 1: Not 100% tested. CB = total capacitance of one bus line in pF.

Note 2: As a transmitter, the device must provide an internal minimum delay time to bridge the undefined region (minimum 300 ns) of the falling edge of SCL to avoid unintended generation of START or STOP conditions.

Note 3: The combined TSP and VHYS specifications are due to new Schmitt trigger inputs which provide improved noise spike suppression. This eliminates the need for a Ti specification for standard operation.

Note 4: This parameter is not tested but ensured by characterization. For endurance estimates in a specific application, please consult the Total Endurance Model which can be obtained on Microchip's website: www.microchip.com.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.0 FUNCTIONAL DESCRIPTION

The 24LC16B supports a bi-directional 2-wire bus and data transmission protocol. A device that sends data onto the bus is defined as transmitter, and a device receiving data as receiver. The bus has to be controlled by a master device which generates the serial clock (SCL), controls the bus access and generates the START and STOP conditions, while the 24LC16B works as slave. Both master and slave can operate as transmitter or receiver, but the master device determines which mode is activated.

3.0 BUS CHARACTERISTICS

The following bus protocol has been defined:

- Data transfer may be initiated only when the bus is not busy.
- During data transfer, the data line must remain stable whenever the clock line is HIGH. Changes in the data line while the clock line is HIGH will be interpreted as a START or STOP condition.

Accordingly, the following bus conditions have been defined (Figure 3-1).

3.1 Bus not Busy (A)

Both data and clock lines remain HIGH.

3.2 Start Data Transfer (B)

A HIGH to LOW transition of the SDA line while the clock (SCL) is HIGH determines a START condition. All commands must be preceded by a START condition.

3.3 Stop Data Transfer (C)

A LOW to HIGH transition of the SDA line while the clock (SCL) is HIGH determines a STOP condition. All operations must be ended with a STOP condition.

3.4 Data Valid (D)

The state of the data line represents valid data when, after a START condition, the data line is stable for the duration of the HIGH period of the clock signal.

The data on the line must be changed during the LOW period of the clock signal. There is one clock pulse per bit of data.

Each data transfer is initiated with a START condition and terminated with a STOP condition. The number of the data bytes transferred between the START and STOP conditions is determined by the master device and is theoretically unlimited, although only the last sixteen will be stored when doing a write operation. When an overwrite does occur it will replace data in a first-in first-out (FIFO) fashion.

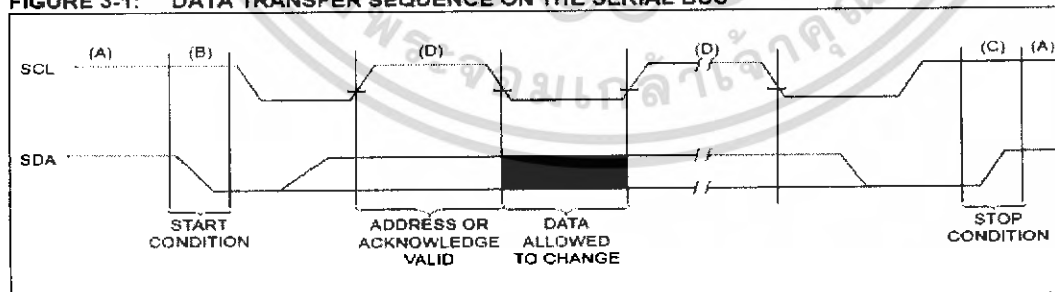
3.5 Acknowledge

Each receiving device, when addressed, is obliged to generate an acknowledge after the reception of each byte. The master device must generate an extra clock pulse which is associated with this acknowledge bit.

Note: The 24LC16B does not generate any acknowledge bit if an internal programming cycle is in progress.

The device that acknowledges, has to pull down the SDA line during the acknowledge clock pulse in such a way that the SDA line is stable LOW during the HIGH period of the acknowledge related clock pulse. Of course, setup and hold times must be taken into account. During reads, a master must signal an end of data to the slave by not generating an acknowledge bit on the last byte that has been clocked out of the slave. In this case, the slave (24LC16B) will leave the data line HIGH to enable the master to generate the STOP condition.

FIGURE 3-1: DATA TRANSFER SEQUENCE ON THE SERIAL BUS



24LC16B

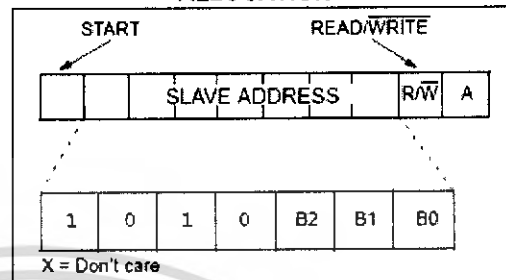
3.6 Device Addressing

A control byte is the first byte received following the start condition from the master device. The control byte consists of a four bit control code, for the 24LC16B this is set as 1010 binary for read and write operations. The next three bits of the control byte are the block select bits (B2, B1, B0). They are used by the master device to select which of the eight 256 word blocks of memory are to be accessed. These bits are in effect the three most significant bits of the word address. It should be noted that the protocol limits the size of the memory to eight blocks of 256 words, therefore the protocol can support only one 24LC16B per system.

The last bit of the control byte defines the operation to be performed. When set to '1' a read operation is selected, when set to '0' a write operation is selected. Following the START condition, the 24LC16B monitors the SDA bus checking the device type identifier being transmitted, upon a 1010 code the slave device outputs an acknowledge signal on the SDA line. Depending on the state of the R/W bit, the 24LC16B will select a read or write operation.

Operation	Control Code	Block Select	R/W
Read	1010	Block Address	1
Write	1010	Block Address	0

FIGURE 3-2: CONTROL BYTE ALLOCATION



FEATURES

- Real time clock counts seconds, minutes, hours, date of the month, month, day of the week, and year with leap year compensation valid up to 2100
- 56 byte nonvolatile RAM for data storage
- 2-wire serial interface
- Programmable squarewave output signal
- Automatic power fail detect and switch circuitry
- Consumes less than 500 nA in battery backup mode at 25°C
- Optional industrial temperature range -40°C to +85°C (IND)
- Available in 8-pin DIP or SOIC

ORDERING INFORMATION

DS1307	Serial Timekeeping Chip; 8-pin DIP
DS1307Z	Serial Timekeeping Chip; 8-pin SOIC (150 mil)
DS1307N	8-pin DIP (IND)
DS1307ZN	8-pin SOIC (IND)

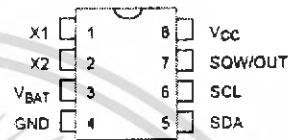
DESCRIPTION

The DS1307 Serial Real Time Clock is a low power full BCD clock calendar plus 56 bytes of nonvolatile SRAM. Address and data are transferred serially via a 2-wire bi-directional bus. The clock/calendar provides seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The end of the month date is automatically adjusted for months with less than 31 days, including corrections for leap year. The clock operates in either the 24-hour or 12-hour format with AM/PM indicator. The DS1307 has a built-in power sense circuit which detects power failures and automatically switches to the battery supply.

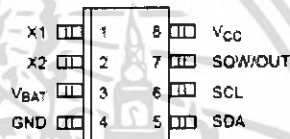
OPERATION

The DS1307 operates as a slave device on the serial bus. Access is obtained by implementing a START condition

PIN ASSIGNMENT



DS1307 8-PIN DIP (300 MIL)



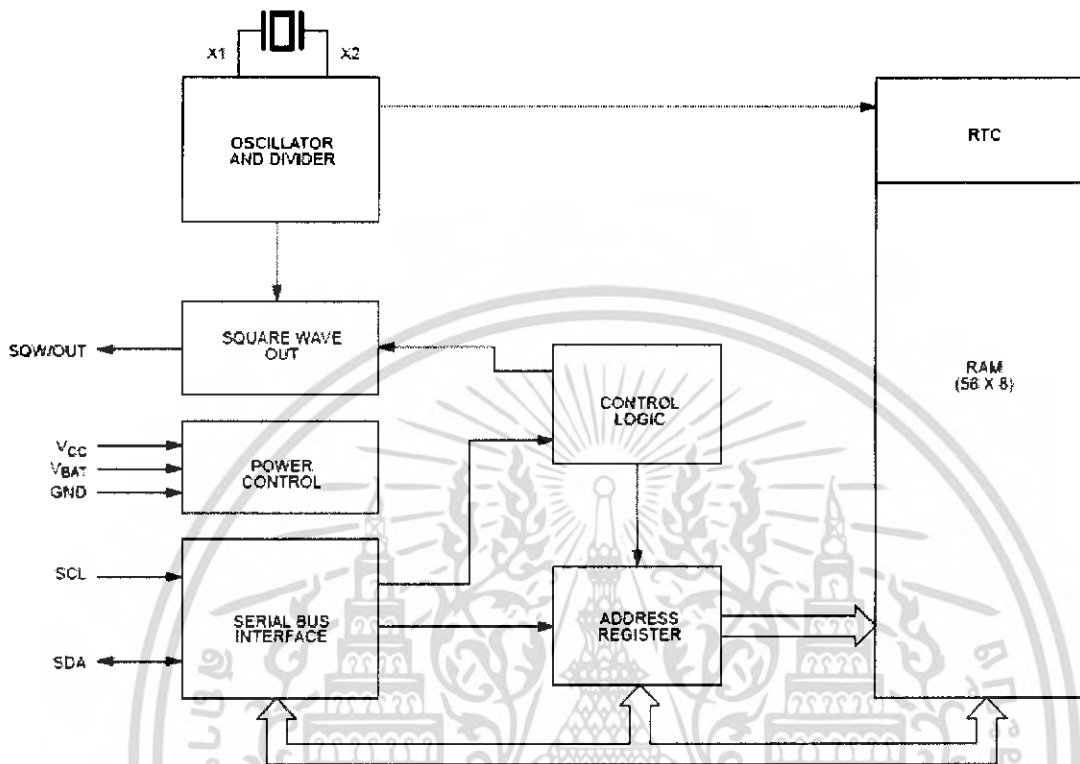
DS1307Z 8-PIN SOIC (150 MIL)

PIN DESCRIPTION

VCC	- Primary Power Supply
X1, X2	- 32.768 KHz Crystal Connection
VBAT	- +3 Volt Battery Input
GND	- Ground
SDA	- Serial Data
SCL	- Serial Clock
SOW/OUT	- Square wave/Output Driver

and providing a device identification code followed by a register address. Subsequent registers can be accessed sequentially until a STOP condition is executed. When VCC falls below 1.25 x VBAT the device terminates an access in progress and resets the device address counter. Inputs to the device will not be recognized at this time to prevent erroneous data from being written to the device from an out of tolerance system. When VCC falls below VBAT the device switches into a low current battery backup mode. Upon power up, the device switches from battery to VCC when VCC is greater than VBAT+0.2V and recognizes inputs when VCC is greater than 1.25 x VBAT. The block diagram in Figure 1 shows the main elements of the Serial Real Time Clock. The following paragraphs describe the function of each pin.

DS1307 BLOCK DIAGRAM Figure 1



SIGNAL DESCRIPTIONS

V_{CC}, GND – DC power is provided to the device on these pins. V_{CC} is the +5 volt input. When 5 volts are applied within normal limits, the device is fully accessible and data can be written and read. When a 3 volt battery is connected to the device and V_{CC} is below 1.25 x V_{BAT}, reads and writes are inhibited. However, the Timekeeping function continues unaffected by the lower input voltage. As V_{CC} falls below V_{BAT} the RAM and timekeeper are switched over to the external 3 volt battery.

V_{BAT} – Battery input for any standard 3 volt lithium cell or other energy source. Battery voltage must be held between 2.5 and 3.5 volts for proper operation. The nominal write protect trip point voltage at which access to the real time clock and user RAM is denied is set by the internal circuitry as 1.25 x V_{BAT} nominal. A Lithium battery with 35 mAh or greater will back up the DS1307 for more than 10 years in the absence of power.

SCL (Serial Clock Input) – SCL is used to synchronize data movement on the serial interface.

SDA (Serial Data Input/Output) – SDA is the input/output pin for the 2-wire serial interface. The SDA pin is open drain which requires an external pull-up resistor.

SQW/OUT (Square Wave/ Output Driver) – When enabled, the SQWE bit set to 1, the SQW/OUT pin outputs one of four square wave frequencies (1 Hz, 4 KHz, 8 KHz, 32 KHz). The SQW/OUT pin is open drain which requires an external pull-up resistor.

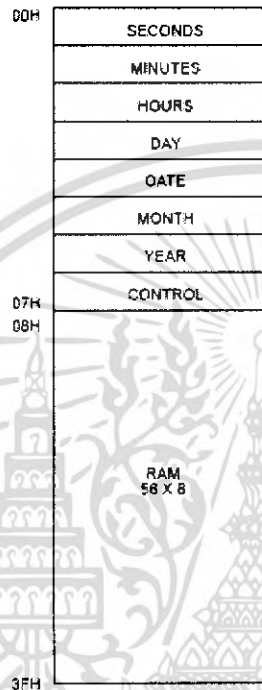
X1, X2 – Connections for a standard 32.768 KHz quartz crystal. The internal oscillator circuitry is designed for operation with a crystal having a specified load capacitance (CL) of 12.5 pF.

RTC AND RAM ADDRESS MAP

The address map for the RTC and RAM registers of the DS1307 is shown in Figure 2. The real time clock registers are located in address locations 00h to 07h. The

RAM registers are located in address locations 08h to 3Fh. During a multibyte access, when the address pointer reaches 3Fh, the end of RAM space, it wraps around to location 00h, the beginning of the clock space.

DS1307 ADDRESS MAP Figure 2



CLOCK AND CALENDAR

The time and calendar information is obtained by reading the appropriate register bytes. The real time clock registers are illustrated in Figure 3. The time and calendar are set or initialized by writing the appropriate register bytes. The contents of the time and calendar registers are in the Binary-Coded Decimal (BCD) format. Bit 7 of Register D is the Clock Halt (CH) bit. When this bit is

set to a one, the oscillator is disabled. When cleared to a zero, the oscillator is enabled.

The DS1307 can be run in either 12-hour or 24-hour mode. Bit 6 of the hours register is defined as the 12- or 24-hour mode select bit. When high, the 12-hour mode is selected. In the 12-hour mode, bit 5 is the AM/PM bit with logic high being PM. In the 24-hour mode, bit 5 is the second 10 hour bit (20-23 hours).

DS1307 TIMEKEEPER REGISTERS Figure 3

	BIT 7										BIT 0		
00H	CH	10 SECONDS			SECONDS			00-59					
	X	10 MINUTES			MINUTES			00-59					
	X	12 24	10 HR A/P	10 HR	HOURS			01-12 00-23					
	X	X	X	X	X	DAY			1-7				
	X	X	10 DATE		DATE			01-28/29 01-30 01-31					
	X	X	10 MONTH		MONTH			01-12					
	10 YEAR			YEAR			00-99						
07H	OUT	X	X	SQWE	X	X	RS1	RS0					

CONTROL REGISTER

The DS1307 Control Register is used to control the operation of the SQW/OUT pin.

BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0
OUT	X	X	SQWE	X	X	RS1	RS0

OUT (Output control): This bit controls the output level of the SQW/OUT pin when the square wave output is disabled. If SQWE = 0, the logic level on the SQW/OUT pin is 1 if OUT = 1 and is 0 if OUT = 0.

SQWE (Square wave Enable): This bit when set to a logic 1 will enable the oscillator output. The frequency of the square wave output depends on the value of the RS0 and RS1 bits.

RS (Rate Select): These bits control the frequency of the square wave output when the square wave output has been enabled. Table 1 lists the square wave frequencies that can be selected with the RS bits.

SQUAREWAVE OUTPUT FREQUENCY Table 1

RS1	RS0	SQW OUTPUT FREQUENCY
0	0	1 Hz
0	1	4 KHz
1	0	8 KHz
1	1	32 KHz

2-WIRE SERIAL DATA BUS

The DS1307 supports a bi-directional 2-wire bus and data transmission protocol. A device that sends data onto the bus is defined as a transmitter and a device receiving data as a receiver. The device that controls the message is called a master. The devices that are controlled by the master are slaves. The bus must be controlled by a master device which generates the serial clock (SCL), controls the bus access, and generates the START and STOP conditions. The DS1307 operates as a slave on the 2-wire bus. A typical bus configuration using this 2-wire protocol is show in Figure 4.