

เครื่องชี้ตำแหน่ง 3 มิติ

3D POINTER



โดย  
นายณัฐกุล ดิศพงศ์  
นายวิฑูรย์ แซ่ก้อ

เลขหมึ.....  
เลขทะเบียน..... 42292  
วัน, เดือน, ปี 16 พ.ค. 2545

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

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องชี้ตำแหน่ง 3 มิติ

3D POINTER

โดย

นายณัฐกุล ดิศพงศ์

41013211

นายวิฑูรย์ แซ่ก้อ

41013229

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ เทอดศักดิ์ ลีวหาทอง

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2543

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องชี้ตำแหน่ง 3 มิติ

ผู้จัดทำ

1. นายณัฐกุล ดิสงศ์
2. นายวิฑูรย์ แซ่ก้อ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# I

## เครื่องชี้ตำแหน่ง 3 มิติ

ณัฐกุล ศิษพงษ์

วิฑูรย์ แซ่ก้อ

อ.เทอดศักดิ์ ลีวาทอง อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2543

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการออกแบบที่ใช้บอกตำแหน่งของตัวชี้ ในพิกัด X,Y,Z โดยอาศัยหลักการวัดหาระยะทางระหว่างจุดอ้างอิง 3 จุดกับตัวชี้ จากนั้นนำเอาค่าระยะทางทั้ง 3 ที่ได้ไปคำนวณไปคำนวณพิกัดหาระยะทางโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกในการคำนวณหาระยะทางโดยอาศัยหลักการของความแตกต่างของเวลาของคลื่นที่เดินทางจากตัวส่งมายังตัวรับและนำค่าของเวลาไปคำนวณโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ 8952 ซึ่งมี timer จำนวน 3 ตัวเพื่อเป็นตัวคำนวณหาค่าเวลาที่แตกต่างกันทั้ง 3 แกน จากนั้นก็จะส่งข้อมูลของเวลาที่ได้ไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณหาระยะทางและแสดงผลต่อไป โดยการแสดงผลจะใช้โปรแกรม Visual Basic 6.0 เพื่อแสดงผล

## II

### 3D-POINTER

Nuttakull Dispong

Withun Saegue

Thurdsak Leauhatong Advisor

2000

#### ABSTRACT

A system design of  $(x,y,z)$  position measurement of a pointer is purposed in this thesis. The position is calculated by using distances between the pointer and three reference pointer. This system uses ultrasonic transducers to detect the distances between transducer base on delay time. A microcontroller, 89C52 , measures the delay times and send its data to computer. A computer calculates the position of the pointer from the data from microcontroller and display. We use Visual Basic 6.0 to program the distance calculating and the position display.

### III

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
สารบัญ	III
สารบัญภาพ	IV
สารบัญตาราง	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ	2
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับคลื่นอัลตราโซนิก	3
2.2 อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์	9
2.3 ทฤษฎี MCS-51 ของ 3D-POINTER	14
บทที่ 3 การออกแบบและการทำงานของเครื่องแสดงตำแหน่ง 3 มิติ	30
3.1 แนวทางการออกแบบเครื่องแสดงตำแหน่ง 3 มิติ	30
3.2 การทำงานของเครื่องแสดงตำแหน่ง 3 มิติ	31
บทที่ 4 คู่มือการใช้งาน โปรแกรมแสดงผลของ 3D-Pointer	43
บทที่ 5 ผลการทดลอง	48
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์	50
กิตติกรรมประกาศ	
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## IV

### สารบัญภาพ

รูปที่	1.1 ก	แสดงตำแหน่งพิกัดของตัวแปรต่างๆในสูตร	1
รูปที่	1.1 ข	แสดงบล็อกการทำงานแบบคร่าวๆ	1
รูปที่	2.1	แสดงถึงช่วงความถี่ต่างๆที่ถูกลำนำไปใช้งาน	3
รูปที่	2.2	แสดงลักษณะการเกิดคลื่นตามยาว	3
รูปที่	2.3	แสดงลักษณะการเกิดคลื่นตามขวาง	4
รูปที่	2.4	แสดงการบีบอัดของคลื่นเสียง 2 คลื่น	5
รูปที่	2.5	แสดงลักษณะการเกิดคลื่นนิ่ง	6
รูปที่	2.6	แสดงลักษณะของคลื่นเสียงที่ผ่านช่องแคบๆ จะเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดตัวใหม่	6
รูปที่	2.7	แสดงการหักเหของคลื่นเสียงในตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน	6
รูปที่	2.8	แสดงเมื่อคลื่นวงกลมกระทบกับฉากที่เป็นเส้นตรง คลื่นที่สะท้อนกลับมาจะเป็นคลื่นวงกลมเช่นเดียวกัน	7
รูปที่	2.9	ผลของเปียโซอิเล็กทริก	10
รูปที่	2.10	วงจรเสมือนของเปียโซอิเล็กทริก	10
รูปที่	2.11	แสดงขาของ MCS-51	14
รูปที่	2.12	แสดง Block Diagram ของ MCS-51	15
รูปที่	2.13	โครงสร้างวงจร Port 0 Bit	17
รูปที่	2.14	โครงสร้างวงจร Port 1 Bit	17
รูปที่	2.15	โครงสร้างวงจร Port 2 Bit	18
รูปที่	2.16	โครงสร้างวงจร Port 3 Bit	18
รูปที่	2.17	การต่อวงจร โดยใช้ On-Chip Oscillator	19
รูปที่	2.18	การต่อวงจรแบบใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอก	20
รูปที่	2.19	ผังหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมสำหรับเบอร์ 8051	20
รูปที่	2.20	ผังหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมสำหรับเบอร์ 8052	21
รูปที่	2.21	ผังหน่วยความจำสำหรับ Data Memory เบอร์ 8051	21
รูปที่	2.22	ผังหน่วยความจำสำหรับ Program Memory ของ 8052	21
รูปที่	2.23	128 ไบต์ของ RAM ที่เข้าถึงข้อมูลแบบทางตรงและทางอ้อม	23

รูปที่	2.24	รีจิสเตอร์ SCON –Serial Port Control/Status Register	27
รูปที่	2.25	รายละเอียดขาของพอร์ตอนุกรม RS232	29
รูปที่	2.26	การเชื่อมต่อระหว่าง MCS-51 กับคอมพิวเตอร์ผ่าน MAX232	30
รูปที่	3.1	แสดงวงจรภาคส่ง	31
รูปที่	3.2	แสดงสัญญาณที่จุด A ในรูปที่ 3.1	32
รูปที่	3.3	แสดงสัญญาณที่จุด B ในรูปที่ 3.1	32
รูปที่	3.4	แสดงสัญญาณที่จุด C ในรูปที่ 3.1	32
รูปที่	3.5	แสดงสัญญาณที่จุด D ในรูปที่ 3.1	33
รูปที่	3.6	แสดงสัญญาณที่จุด E ในรูปที่ 3.1	33
รูปที่	3.7	แสดงวงจรภาครับ	34
รูปที่	3.8	แสดงสัญญาณที่จุด F ในรูปที่ 3.7	35
รูปที่	3.9	แสดงสัญญาณที่จุด G ในรูปที่ 3.7	35
รูปที่	3.10	แสดงสัญญาณที่จุด H ในรูปที่ 3.7	35
รูปที่	3.11	วงจรภาคประมวลผล	36
รูปที่	3.12	แสดงสัญญาณ INPUT ที่เป็นสัญญาณอ้างอิง	36
รูปที่	3.13	แสดงสัญญาณ Interrupt 0	37
รูปที่	3.14	แสดงสัญญาณ Interrupt 1	37
รูปที่	3.15	แสดงสัญญาณ Interrupt 2	37
รูปที่	3.16	แสดงการวางตำแหน่งของตัวส่งและตัวรับ	38
รูปที่	4.1	แสดงการเลือกพอร์ต	43
รูปที่	4.2	แสดงการเลือกปุ่ม Connect	44
รูปที่	4.3	แสดงการเลือกปุ่ม Start	45
รูปที่	4.4	แสดงการเลือกปุ่ม Stop	45
รูปที่	4.5a	แสดงการเลือกปุ่ม Show Graphic	46
รูปที่	4.5b	แสดงหน้าจอ Graphics Display	46
รูปที่	4.6	แสดงการวาดพิกัดตำแหน่งต่างๆ	47
รูปที่	4.7	แสดงตำแหน่ง Clear Draw	47
รูปที่	4.8	แสดงการกด Stop Draw	48
รูปที่	4.9	แสดงเมนู Back To Standard Page	48
รูปที่	4.10	แสดงเมนู Exit	48
รูปที่	4.11	แสดงผลการกดเมนู About us	48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## VI

### สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1	แสดงสัญลักษณ์ชื่อและตำแหน่งต่างๆที่มีอยู่ใน SFR	24
ตารางที่ 2.2	อินเทอร์รัปต์เวคเตอร์ของ MCS-51 และลำดับความสำคัญของการอินเทอร์รัปต์	25
ตารางที่ 5.1	ผลการทดลองวัดค่า ณ ที่พอยต์เตอร์ตำแหน่งต่างๆ	48
ตารางที่ 5.2	ผลการทดลองวัดระยะเทียบระยะจริงเพื่อหาค่าผิดพลาด	49

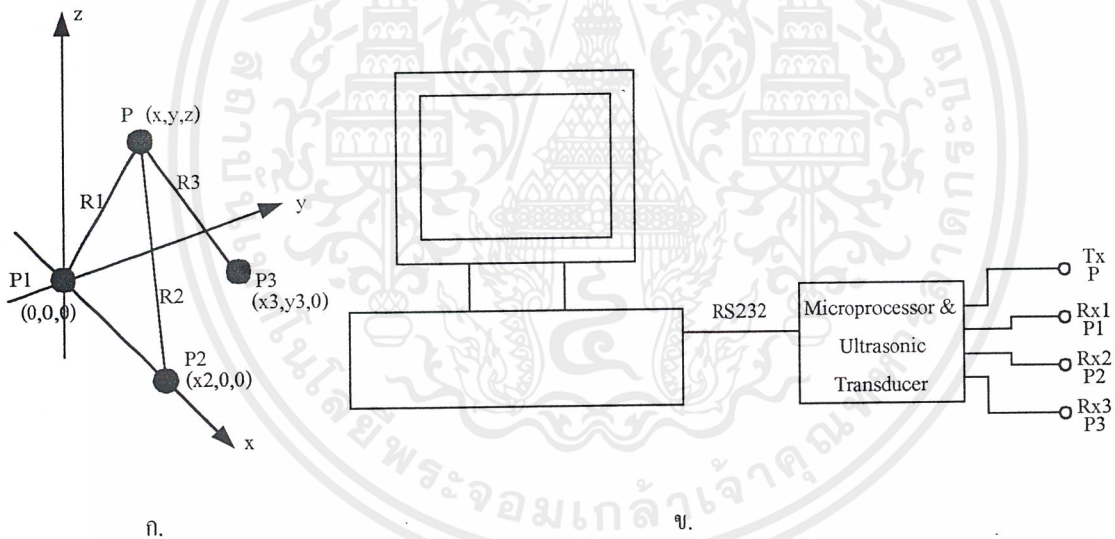


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

ปริญญาบัตรฉบับนี้เสนอการออกแบบระบบ เพื่อใช้บอกตำแหน่งในพิกัด Cartesian 3 แกน  $(x,y,z)$  ของตัวชี้โดยมีหลักการการทำงานโดยคร่าวๆดังนี้ ในรูปที่ 1.1 จะเป็นรูปในแนวคิดหลักของการหาพิกัดของตัวชี้ ซึ่งจะประกอบด้วยตัวชี้ P ณ ตำแหน่ง  $(x,y,z)$  และจุดอ้างอิง 3 ตัวคือ P1,P2 และ P3 ตามลำดับ ที่ตำแหน่ง  $(0,0,0)$ ,  $(x_2,0,0)$  และ  $(x_3,y_3,0)$  ตามลำดับ การหาพิกัด  $(x,y,z)$  ทำได้โดยการวัดระยะทางระหว่างตัวชี้ไปยังจุดอ้างอิงทั้ง 3 คือ R1 , R2 และ R3 โดยใช้ตัววัดระยะทางแบบ Ultrasonic ซึ่งมีตัวส่งอยู่ที่จุด P และมีตัวรับอยู่ที่จุด P1 , P2 และ P3 โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุม จากนั้นก็จะส่งข้อมูลของระยะทางทั้ง 3 ไปยังคอมพิวเตอร์ผ่านทางสาย RS232 เพื่อให้คอมพิวเตอร์ทำการคำนวณหาตำแหน่งพิกัด  $(x , y , z)$  และแสดงผลต่อไป



รูปที่ 1.1 แนวคิดการออกแบบของเครื่องชี้ตำแหน่ง

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ

#### 2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับคลื่นอัลตราโซนิก

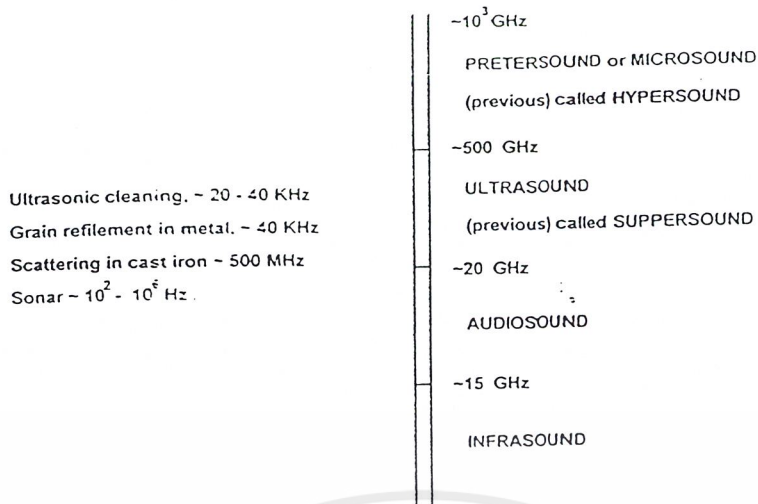
เครื่องชี้ตำแหน่ง 3 มิตินี้ อาศัยหลักการวัดระยะทางด้วยคลื่นอัลตราโซนิก แล้วนำค่าระยะทางที่วัดได้มาคำนวณหาพิกัดตำแหน่ง โดยทฤษฎีของคลื่นอัลตราโซนิกจะกล่าวโดยสังเขปดังนี้

##### 2.1.1 คุณสมบัติและธรรมชาติของคลื่นอัลตราโซนิก

หลักการของการของคลื่นเสียง คือฟิล์มของพลังงานจะถูกส่งออกมาจากตัวส่งไปซึ่งถ้าเรานำตัวรับชนิดเดียวกันกับตัวส่งซึ่งมีความถี่ตรงกันแล้วก็จะสามารถรับสัญญาณได้ ซึ่งคลื่นอัลตราโซนิกจะเป็นคลื่นที่มีทิศทางและจะพุ่งออกจากตัวส่งซึ่งจะมีขอบเขตประมาณ 30 องศาจากตัวส่ง เวลาที่ใช้ในการเดินทางในอากาศสามารถที่จะคำนวณระยะทางได้เพราะฉะนั้นการศึกษาถึงธรรมชาติของคลื่น จะสามารถทำให้เข้าใจในการนำไปประยุกต์ใช้ได้เป็นอย่างดี

##### 2.1.2 คลื่นอัลตราโซนิก

คลื่นอัลตราโซนิก คือคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงเกินที่มนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้วมนุษย์จะได้ยินคลื่นความถี่ประมาณ 20Hz ถึง 20 KHz ดังนั้นแล้วคลื่นอัลตราโซนิกจึงหมายถึงคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่า 20KHz จนถึง 104 GHz โดยคลื่นที่มีความถี่สูงกว่า 104 GHz และแอมพลิจูดสูงๆ จะเรียกว่า “ไฮเปอร์ซาวนด์”

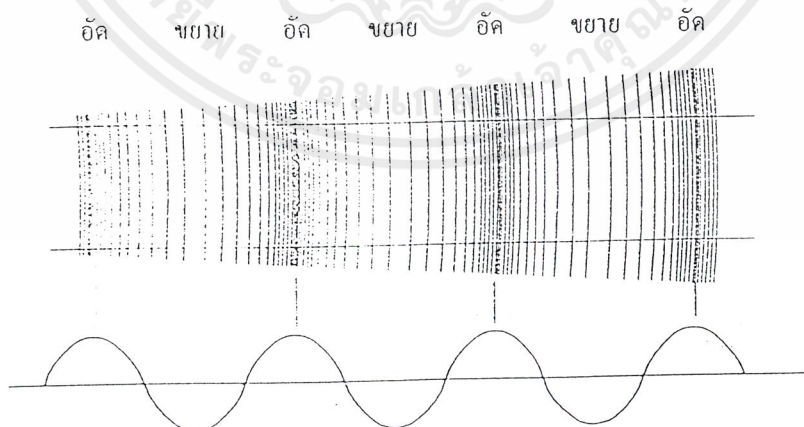


รูปที่ 2.1 แสดงถึงช่วงความถี่ต่างๆที่ถูกนำไปใช้งาน

2.1.3 ชนิดของคลื่นอัลตราโซนิค

คลื่นอัลตราโซนิคที่เดินทางผ่านตัวกลางต่างๆ มีหลายชนิดด้วยกันซึ่งแต่ละชนิดแตกต่างกันตามการเคลื่อนของอนุภาคในตัวกลางนั้น

2.1.3.1 คลื่นตามยาว(Longitudinal Wave) คือคลื่นอนุภาคตัวกลางที่มีการเคลื่อนที่ไปในทิศทาง การเคลื่อนที่ของคลื่น



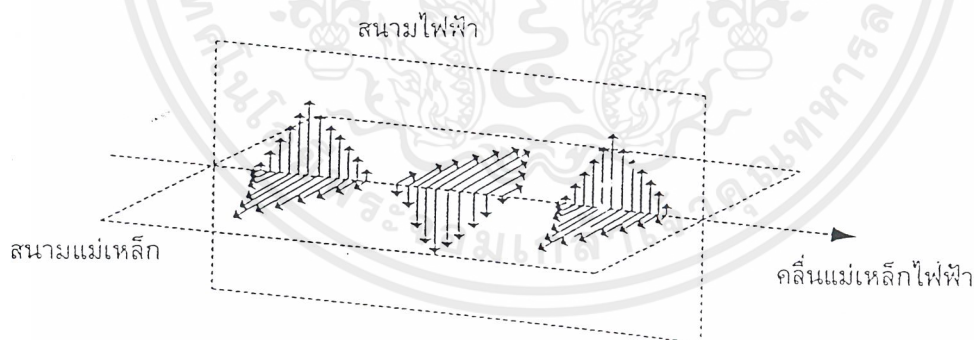
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะการเกิดคลื่นตามยาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 2.2 จะเห็นว่ามีส่วนที่เคลื่อนที่อัด (Compression) ซึ่งก็คือคลื่นช่วงของอนุภาคตัวกลางมีความชันสูงและคลื่นขยาย (Reaction) คือที่อนุภาคของตัวกลางมีความดันต่ำและเมื่อนำค่าของความดันที่เปลี่ยนแปลงตามระยะทางมาเขียนกราฟจะได้รูปไซน์ โดยยอดคลื่นจะตรงกับส่วนอัดและท้องคลื่นจะตรงกับส่วนขยาย ระยะทางระหว่างส่วนอัดถึงส่วนอัด หรือส่วนขยายถึงส่วนขยายคือ 1 ความยาวคลื่น และมีความยาวเป็น (t) ซึ่งเท่ากับ  $1/f$  โดยจุดที่เป็นแกนนั้นยาว 1 ปรายภาค

**2.1.3.2 คลื่นตามขวาง (Transverse Wave)** คือที่ทุกๆจุดบนคลื่น มีการเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ คลื่นชนิดนี้จะเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็ง คลื่นชนิดนี้ไม่สามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็งและก๊าซได้

คลื่นตามขวางที่ลักษณะเหมือนกับการเกิดขั้วลบและขั้วบวก ซึ่งเป็นเหตุผลที่ว่า การเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคเป็นไปในทิศทางเดียว เช่น ในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของคลื่น ที่เคลื่อนที่ไปจากต้นกำเนิดของคลื่นตามขวาง เป็นพื้นที่หน้าเรียบของระนาบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคอันเนื่องมาจากการแกว่ง และความหนาของตัวกลาง จะไม่เปลี่ยนแปลงโดยการเคลื่อนที่ของคลื่นแบบตามขวาง ความเร็วของคลื่นชนิดนี้จะน้อยกว่าความเร็วของคลื่นชนิดตามยาว ในขณะที่เดินทางผ่านตัวกลางชนิดเดียวกัน ดังนั้นที่ความถี่เดียวกันความยาวคลื่นของคลื่นตามขวางจะน้อยกว่าคลื่นตามยาวเสมอ



รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะการเกิดคลื่นตามขวาง

**2.1.3.3 คลื่นผิวหน้า (Surface Wave or Rayleigh)** คือคลื่นชนิดหนึ่งซึ่งคล้ายกับคลื่นตามขวางจะต่างกันตรงที่ว่า การเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาค ไม่เป็นไปในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางที่เคลื่อนที่เพียงอย่างเดียว แต่มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ด้วย จึงทำให้คลื่นเคลื่อนที่เอียงขึ้นเป็นเอียงลงสำหรับอนุภาค ซึ่งพบเพื่อการศึกษานานๆ ไม่นานมานี้ นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไปตามระนาบในแนวนอน ด้วยเหตุนี้คลื่นจึงเดินทางผ่านไปเฉพาะบนผิวของตัวกลางเท่านั้น ไม่วกรณใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

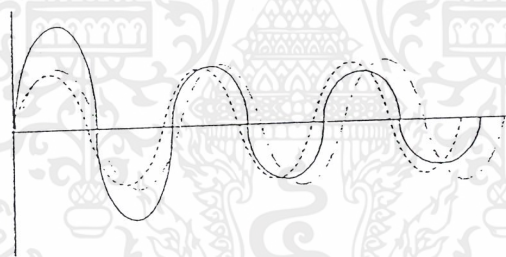
## 2.1.4 คุณสมบัติที่สำคัญของคลื่นอัลตราโซนิก

คุณสมบัติโดยทั่วไปของคลื่นเสียงจะแสดงได้ 4 แบบคือ

### 2.1.4.1 การแทรกสอดของเสียง (Interference)

การแทรกสอดของเสียงเกิดจากการรวมกันของคลื่น 2 คลื่นขึ้นไป ขณะเมื่อพบกันในตัวกลางเดียวกัน ซึ่งทำให้เกิดผลได้หลายลักษณะคือ

ก.) การบีตส์ (Beats) ของคลื่นเสียงเป็นปรากฏการณ์ที่เกิดจากการรวมคลื่นที่มีความถี่ต่างกันหรือต่างเฟสกัน เคลื่อนที่ไปในตัวกลางเดียวกันแล้วรวมเป็นคลื่นใหม่ ซึ่งทำให้แอมพลิจูดเปลี่ยนแปลงไปดังแสดงในรูปที่ 2.4



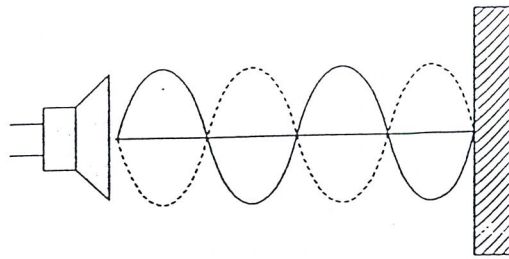
รูปที่ 2.4 แสดงการบีตส์ของคลื่นเสียง 2 คลื่น

จากรูปที่ 2.4 เป็นการแสดงบีตส์ของคลื่น 2 คลื่น ซึ่งคลื่นที่มีแอมพลิจูดเปลี่ยนแปลงไปซึ่งประโยชน์ของการบีตส์ของคลื่นนั้น จะนำไปใช้ในการเปรียบเทียบความถี่ของคลื่นให้แสดงผลออกมาในลักษณะของแอมพลิจูดที่แตกต่างกันนี้

ข.) การเกิดคลื่นนิ่ง (Standing Wave) เกิดจากการแทรกสอดของคลื่นซูดที่มีแอมพลิจูดเท่ากันและความถี่เท่ากัน แต่มีทิศทางการเคลื่อนที่ตรงกันข้ามหรือเฟสตรงกันข้าม ซึ่งจะทำให้เกิดคลื่นนิ่งดังรูป เสียงจะมีความเข้มขึ้นสูงสุดที่ตำแหน่ง ก และเบาที่สุดที่ตำแหน่ง ข ซึ่งระยะระหว่างขั้วทั้ง 2 เท่ากับ

$$d = n\lambda/2 ; (n=1,2,3\dots)$$

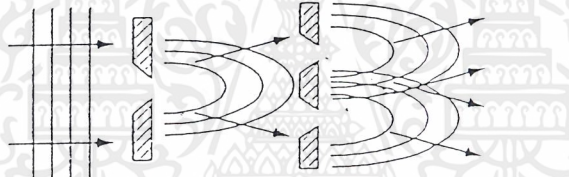
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะการเกิดคลื่นนิ่ง

#### 2.1.4.2 การเลี้ยวเบนของคลื่นเสียง (Diffraction)

คือคลื่นเสียงจะเลี้ยวเบนอ้อมสิ่งกีดขวางที่มีลักษณะเป็นมุมหรือช่องแคบ ซึ่งปรากฏการณ์เช่นนี้พบในชีวิตประจำวันอยู่ตลอดเวลาเช่น ในกรณีที่เราได้ยินแตรรถที่อยู่คนละมุมถนนของตึกหรือการได้ยินเสียงลอดผ่านช่องเล็กๆ จากอีกห้องหนึ่ง ดังแสดงในรูป 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะของคลื่นเสียงที่ผ่านช่องแคบๆ จะเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดตัวใหม่

#### 2.1.4.3 การหักเหของคลื่น (Refraction)

คลื่นเสียงเมื่อเดินทางผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกันจะเกิดการหักเหของคลื่น ซึ่งทำให้ความเร็วของคลื่นเสียงเปลี่ยนไป โดยที่ความถี่ยังคงที่อยู่

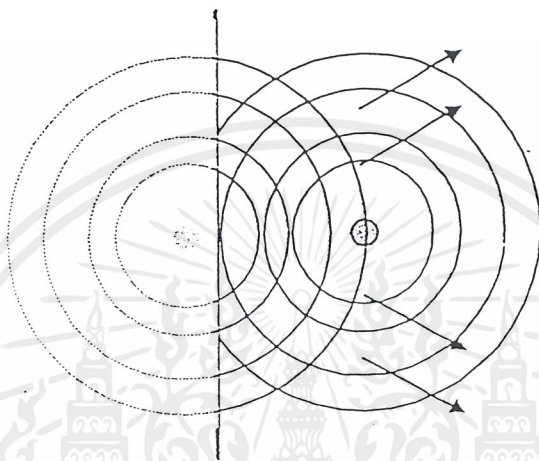


รูปที่ 2.7 แสดงการหักเหของคลื่นเสียงในตัวกลางที่มีความหนาแน่นต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.1.4.4 การสะท้อนของคลื่นเสียง (Reflection)

คลื่นเสียงสามารถสะท้อนได้เมื่อตกกระทบตัวกลางโดยที่มุมสะท้อนและจะทำให้เกิดเสียงก้อง ซึ่งเสียงก้องที่สะท้อนกลับมาในเวลาที่มากกว่า 50 msec จะทำให้เราได้ยินเสียงนี้เป็นครั้งที่ 2



รูปที่ 2.8 แสดงเมื่อคลื่นวงกลมกระทบกับฉากที่เป็นเส้นตรง  
คลื่นที่สะท้อนกลับมาจะเป็นคลื่นวงกลมเช่นเดียวกัน

#### 2.1.4.5 การเกิดคลื่นอัลตราโซนิก

อัลตราโซนิกเป็นคลื่นที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานรูปอื่นให้เป็นพลังงานกล โดยการสั่นไปมา หรือ เกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกลให้เกิดคลื่นย่านอัลตราโซนิกกระจายออกไปในอากาศ ดังนั้นจึงถือได้ว่าคลื่นที่เกิดขึ้นเป็นคลื่นกล (Mechanical Wave) อัลตราโซนิกสามารถสร้างได้โดยตัวทรานสดิวเซอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกลหลักการสร้างมีหลายวิธีดังนี้

ก. แบบเพียโซอิเล็กทริก (Piezo-electric Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกล โดยมีความถี่เรโซแนนท์คงที่อยู่ค่าหนึ่ง

ข. แบบแมกนีโตสตริกทีฟ (Magnetostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าในขดลวดกับตำแหน่งความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดนั้น

ค. แบบอิเล็กโตรสตริกทีฟ (Electrostrictive Transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
\*\*\* สำหรับเพียโซอิเล็กทริกเป็นแบบที่นิยมใช้เพราะมีราคาถูกและหาซื้อได้ง่าย  
ไม่ว่ากรณีใดๆ พึงสัน อักษรห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 2.1.4.6 ความถี่และความยาวคลื่น (Frequency and Wave Length)

**ความถี่** คือจำนวนของการออกสิจเลขที่สมบูรณ์จากแหล่งกำเนิดคลื่นภายในหนึ่งวินาทีคลื่นที่ดูส่งจากแหล่งกำเนิดจะเดินทางด้วยความถี่เดียวกัน

**ความยาวคลื่น** คือระยะทางที่คลื่นเดินทางระหว่างการสั่นที่สมบูรณ์ หรือการเดินทางครบ 1 รอบ (Cycle) สามารถกล่าวได้ว่า ความยาวคลื่นเป็นระยะทางระหว่างการอัดอย่างต่อเนื่อง

(Success Compression) หรือการเบาบางของอากาศ (Rare Fraction) การอัดคือการที่บริเวณนั้นมีความหนาแน่นของโมเลกุล และแรงดันมากกว่าบริเวณรอบๆ ส่วนการเบาบางเป็นบริเวณเฉพาะที่เกิดการลดความหนาแน่นของโมเลกุลและแรงดันสัมพันธ์กับแรงดันของอากาศปกติ

ความถี่และความยาวคลื่นมีความสัมพันธ์กันตามสมการข้างล่าง

$$c = f\lambda$$

**c** : ความเร็วของการเดินทาง

**f** : ความถี่

**λ** : ความยาวคลื่น

#### 2.1.4.7 ความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิก

ความเร็วที่ยอมรับของคลื่นในอากาศที่อุณหภูมิปกติความสัมพันธ์ที่ใช้จะเป็นดังสมการ

$$V = 331.45 + 0.607T \quad (\text{m/sec})$$

**V** : ความเร็วของคลื่นในตัวกลางอากาศ

**T** : อุณหภูมิของคลื่นในอากาศ

#### 2.1.4.8 ปริมาณพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิก

ปริมาณพลังงานของคลื่นอัลตราโซนิกจะถูกวัดในรูปความเข้มของคลื่นอัลตราโซนิกจะมีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเซนติเมตร เป็นการไหลของพลังงานผ่านพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร ซึ่งตั้งฉากกับทิศทางการเดินทางของคลื่นใน 1 วินาที

#### 2.1.4.9 การลดทอนของคลื่นอัลตราโซนิก

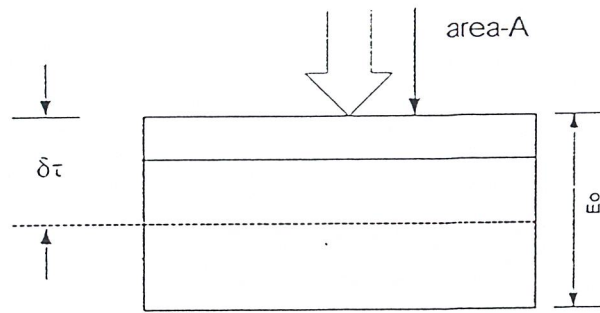
เมื่อคลื่นเดินทางผ่านตัวกลาง ลำคลื่น (Beam) ของคลื่นอัลตราโซนิกจะสูญเสียความเข้มซึ่งเกิดจากการลู่ออกของลำคลื่นอัลตราโซนิก หรือเกิดจากการกระจายพลังงานของคลื่นออกจากลำคลื่นเนื่องจากความไม่ต่อเนื่องของตัวกลาง และอาจเกิดจากการดูดซับพลังงานส่วนหนึ่งของคลื่น โดยตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน พลังงานที่ดูดซับนี้จะเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน การดูดซับพลังงานความร้อนนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของวัตถุ ความยืดหยุ่นและความหนาแน่น รวมทั้งความถี่ของคลื่นที่ใช้ยังความถี่สูงพลังงานยิ่งถูกดูดซับมาก

## 2.2 อัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์

### 2.2.1. ปราบฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก

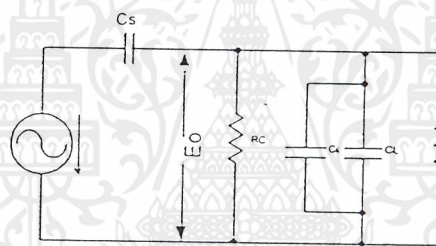
เพียโซอิเล็กทริกเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติอย่างหนึ่ง ซึ่งทำให้พลังงานสามารถเปลี่ยนแปลงจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งได้ กล่าวคือถ้าป้อนแรงกลให้แก่ Solid Crystalline Dielectric ดังในรูปที่ 2.9 ก็จะทำให้เกิดความเค้น (Stress) ภายในคริสตอลและทำให้ผลึกของคริสตอลผิดรูปไปเช่นพวกควอทซ์ (Quartz) ผลก็คือประจุเปลี่ยนไป การผิดรูปร่างของแลททิซเป็นผลให้ความสัมพันธ์ระหว่างการแทนที่ (Displacement) ของประจุบวกและลบในแลททิซเปลี่ยนไป การแทนที่ของประจุภายในจะเท่ากับประจุภายนอกของขั้วที่ตรงข้ามของคริสตอล เรียกว่าผลของเพียโซอิเล็กทริก

การวัดประจุทำได้โดยการต่ออิเล็กโทรด (electrod) เข้าที่ผิวนอก แล้ววัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสอง ขนาด (Magnetude) และการมีขั้ว (Polarity) ของประจุบนผิวที่ถูกเหนี่ยวนำ (induce) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดและทิศทางของแรงที่มากระทำ



รูปที่ 2.9 ผลของเปียโซอิเล็กทริก

วงจรเสมือนของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์



รูปที่ 2.10 วงจรเสมือนของเปียโซอิเล็กทริก

$C_s$ : คาปาซิแตนซ์ของชิ้นส่วนเปียโซอิเล็กทริก

$R_c$ : Leakage Resistance ของเปียโซอิเล็กทริก ปกติจะมีค่าสูงประมาณ  $10^8$ - $10^{10}$

ความต้านทานระหว่างเทอร์มินอล โดยทั่วไปจะเป็นความต้านทานทางโหลด  $R_L$  (ในช่วง  $10^6$ - $10^7$ )

$C_L$ : คาปาซิแตนซ์ของ Subsequent Stage (Load) ร่วมกับ Connection Cable

ที่ความถี่ปานกลางและความถี่สูง โวลต์เตจ  $E_0$  ที่คร่อมโหลดหาได้โดย  $C_c$  และ  $C_L$  ค่าเหล่านี้มาได้โดยการใช้การแบ่งโวลต์เตจ โดยโวลต์เตจ  $E_0$  ได้จากสมการ

$$E_0 = E \cdot (C_c / (C_c + C_L))$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยขึ้นกับความถี่ ถ้าเอาท์พุทโวลต์เตจมีค่ามากสามารถทำให้ลดลงได้โดยการเพิ่มค่า  $C_L$  เช่นการนำค่า  $C_C$  ต่อขนานเข้าไปที่ความถี่ต่ำโวลต์เตจ  $E_0$  คร่อมโหลดหาได้โดยค่ารีแอกแตนซ์ของ  $C_C$  และอิมพีแดนซ์ของ  $C_L$  และ  $R_L$  ที่ต่อขนานกันโวลต์เตจ  $E_0$  ขึ้นกับความถี่และจะลดลงถ้าความถี่ลดลง การตอบสนองต่อความถี่สามารถปรับปรุงได้โดยการใช้ทรานสดิวเซอร์ที่มีค่าคาปาซิแตนซ์สูงหรือโดยการเพิ่มความต้านทานทางโหลด  $RL$

### 2.2.2 วัสดุเปียโซอิเล็กทริก

วัสดุเปียโซอิเล็กทริกที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง เช่น Quartz, Tourmaline sulphate, Barium Titanate และ Zirconate Titanate (TZI) โดยทั่วไปแล้วพวกควอตซ์ และคริสตอลที่เป็นเปียโซอิเล็กทริกธรรมชาติ มักจะมีขั้วของมันเองตามธรรมชาติ แต่พวกวัสดุเปียโซอิเล็กทริกที่สังเคราะห์ขึ้นมาเช่น แบเรียม ไททาเนท เซรามิก จะต้องนำมาทำการอบคริสตอลภายในแรงดัน และวางวัสดุที่ได้นี้ในสนามไฟฟ้าที่มีแรงดันของไฟฟ้ากระแสตรงมาก หลังจากขึ้นส่วนนี้ถูกนำไปในสนามไฟฟ้าแล้ว คริสตอลนี้จะมีขั้วตามแนวของทิศทางของสนาม และประพืดตัวตามคุณสมบัติของเปียโซอิเล็กทริกสำหรับขึ้นส่วนที่ทำจากวัสดุสังเคราะห์นี้ไม่มีข้อจำกัดทางขนาด โดยโครงสร้างของคริสตอลและยังสามารถทำให้มีรูปร่างและขนาดต่างๆและทิศทางของขั้วก็จะถูกสร้างขึ้นระหว่างขั้นตอนการผลิต

### 2.2.3 ชนิดของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์สามารถแบ่งได้เป็นสองชนิดคือ

1. แบบ **Generation-Action Transducer** ใช้เป็นตัวรับ โดยแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะหาได้จากแรงดันและความถี่ที่มากกระทำต่อวัสดุเปียโซอิเล็กทริก
2. แบบ **Motor-Action Transducer** ใช้เป็นตัวส่ง โดยการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างที่ทำให้เกิดคลื่นอัลตราโซนิค โดยจะขึ้นอยู่กัขนาดความสูงและความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่ให้ในทั้งสองกรณี ค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับขนาดของวัสดุ

### 2.2.4 การทำงานของทรานสดิวเซอร์ตัวส่งตัวรับ

เมื่อเซรามิกได้รับสัญญาณแรงดันมาตกคร่อมจะทำให้ขึ้นสารเซรามิกโค้งงอทำให้เกิดการอัดอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นขึ้นมา ดังนั้นถ้าป้อนสัญญาณเป็นห้วงๆ (Electrically Pulse) จากการออสซิลเลทก็จะให้ขึ้นสารโค้งงอมากขึ้นหรือทิศทางใดตามขนาดและทิศทางการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณไฟฟ้าจากการออสซิลเลทนั้นออกไป โดยทั่วไปกำลังเอาท์พุทที่ออกมาจะตกประมาณ 10% ของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แต่เอาท์พุทจะสูงที่ค่านี้ โดยประมาณก็ต่อเมื่อความถี่ของสัญญาณออสซิลเลเตอร์ที่ป้อนเข้าขึ้นสารเซรามิก ตรงกับความถี่เรโซแนนท์เป็นความถี่ทางกลตามธรรมชาติของขึ้นสารเซรามิกนั้นๆ ส่วนที่ความถี่อื่นๆกำลังเอาท์พุทจะลดลงกว่านี้ ส่วนการทำงานของทรานสดิวเซอร์ตัวรับมักมีการทำงานตรงข้าม

กับตัวส่ง คือเมื่อมีคลื่นเสียงที่มีความถี่ตรงกับความถี่เรโซแนนซ์ของชิ้นสารเซรามิกเข้ามา จะทำให้ชิ้นสารโก่งตัวไปมาและเกิดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่มีขนาดเล็กขึ้นคร่อมขั้วทั้งสองของตัวมัน

คุณสมบัติทั่วไปของอัลตราโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริกก็คือ มีความต้านทานไฟฟ้าตรงสูงมากอาจถึง 100 เมกกะโอห์ม เรียกว่าถ้าเอาวัสดุนี้มาต่อวงจรคา ตั้งเสถลวดค่าความต้านทานสูงๆ เข็มจะไม่กระดิกเลยแต่ขณะที่มันทำงานความต้านทานไฟฟ้าสลับจะลดลง

## 2.2.5 ข้อควรระวังในการใช้งานตัวรับ-ตัวส่งทรานสดิวเซอร์

1. ไม่ควรให้ตัวต้านทานทรานสดิวเซอร์ได้รับการกระแทกหรือตกจากที่สูง เพื่อป้องกันโครงสร้างภายในไม่ให้เสียหาย
2. ทรานสดิวเซอร์ที่มีขายกัน โดยทั่วไปจะทนแรงดันตกคร่อมตัวมันได้ไม่เกิน 20 Vrms ดังนั้นขนาดของสัญญาณที่จะป้อนให้กับตัวทรานสดิวเซอร์ก็ควรอยู่ในขีดจำกัดนี้
3. ความถี่เรโซแนนซ์ (คือความถี่ที่ตัวมันสามารถทำงานอย่างมีประสิทธิภาพที่สุด) ของทรานสดิวเซอร์ 40KHz (Bandwidth) ที่มีขายโดยทั่วไปจะผิดพลาดไม่เกิน +/- 1KHz และมีแถบความถี่ประมาณ 4.5KHz (Bandwidth) สำหรับตัวส่ง และมีแถบความถี่ประมาณ 5.0KHz (Bandwidth) สำหรับตัวรับ จะเห็นได้ว่าแถบความถี่ของตัวรับจะกว้างกว่าตัวส่งเล็กน้อย เพื่อให้แน่ใจว่าตัวรับจะสามารถรับความถี่ทั้งหมดที่ออกจากตัวส่งได้
4. อุณหภูมิที่ใช้งานของตัวทรานสดิวเซอร์ควรอยู่ในช่วง -20 ถึง 60 องศาเซลเซียส
5. ตัวส่งและตัวรับจะมีทิศทางคล้ายกันมาก กล่าวคือที่ตำแหน่งเบนจากแนวแกนของตัวส่งไปประมาณ 30 องศา ความแรงของคลื่นเสียงที่ถูกส่งออกไปจะลดลงจากแนวแกนประมาณ 10 dB ทำนองเดียวกัน ถ้าคลื่นเสียงพุ่งเข้ามาในแนวที่เฉียงเบนไป จากแกนของตัวรับประมาณ 30 องศาความไวหรือขนาดของแรงดันที่ออกมาจะลด จึงควรจะทำให้ตัวรับและตัวส่งอยู่ในแนวที่พุ่งตรงมากที่สุดอย่างไรก็ตามในกรณีที่อยู่ในห้องจะเกิดการเบี่ยงเบนกันได้มาก เพราะคลื่นเสียงอัลตรา-โซนิคจะสะท้อนกับกำแพงและวัสดุที่อยู่ในห้อง ทำให้คลื่นเสียงเข้าไปหาตัวรับได้หลายทาง

อัลตราโซนิคนี้สามารถทำให้เป็นลำแคบได้โดยที่ใช้เลนส์ที่เรียกว่า Planacone avelenes วางข้างหน้าของทรานสดิวเซอร์ แต่การทำให้เป็นลำแคบ (Beam) นี้ จะทำให้ near field ตื้นลงและ far field กระจายกว้างขึ้น การทำให้เป็นลำแคบเหมาะสำหรับการใช้ทรานสดิวเซอร์ที่สร้างคลื่นสูงที่เหมาะสมสำหรับที่ใช้ในงานแพทย์ (Ultrasound) ที่มีความถี่ตั้งแต่ 2-5 MHz เพื่อใช้ตรวจในเนื้อเยื่อมีการส่งเป็นลำแคบ

6. ในกรณีที่ใช้งานตัวรับจะต้องมีความต้านทานต่อขานานกับตัวรับที่ทำหน้าที่เป็นโหลด ตามปกติแล้วตัวต้านทานนี้ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 10KΩ ถึง 100KΩ จากการทดลองพบว่าถ้าเปลี่ยนจาก 100kΩ มาเป็น 10KΩ ความไวจะลดลงประมาณ 10-12 dB แต่ความถี่จะกว้างขึ้น ถ้าความต้านทานต่ำลงไป

อีก ความถี่เรโซแนนท์ (ความถี่กลาง) จะลดลงไปจากที่ระบุไว้ ถ้าการใช้งานมีสัญญาณรบกวนมากควรใช้โหลดที่มีค่าความต้านทานสูงสักหน่อย เพื่อให้ตัวส่งมีความไวสูงและมีความถี่แคบ

7. ตามปกติแล้วสามารถนำตัวส่งและตัวรับมาใช้งานแทนกันได้ ในการใช้งานส่วนใหญ่ตัวส่งและตัวรับรุ่นใด ก็สามารถใช้แทนกันได้ในงานส่วนใหญ่ ขอเพียงแต่ให้มีความถี่เรโซแนนท์เดียวกันเท่านั้น อย่างไรก็ตามในบางกรณีอาจต้องเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานสมมูลย์ทางไฟฟ้าทางด้านไฟฟ้าสลับ เพื่อให้เกิดลักษณะผลตอบแทนของความถี่สอดคล้องกับของเดิม

8. ประโยชน์การใช้งานคลื่นอัลตราโซนิก คลื่นอัลตราโซนิกเป็นคลื่นที่มีทิศทาง ทำให้สามารถเล็งคลื่นไปตามเป้าหมายที่ต้องการได้เจาะจง ยิ่งคลื่นที่มีความถี่สูงขึ้นความยาวคลื่นจะยิ่งสั้นลง ถ้าความยาวคลื่นยาวกว่าช่องเปิด (ที่ทำให้เสียงออกมา) ของตัวที่ทำให้เกิดเสียงความถี่นี้ เช่นคลื่นความยาว 300Hz ในอากาศ จะมีความยาวคลื่นถึงประมาณ 1 เมตรกว่าๆ ซึ่งจะยาวกว่าช่องเปิดที่ทำให้เสียงออกมาจากตัวกำเนิดเสียงโดยทั่วไปมากมาย คลื่นจะหักเหที่ขอบด้านนอกของตัวกำเนิดเสียงที่ทำให้เกิดการกระจายทิศทางของคลื่น แต่ถ้าความถี่สูงขึ้นมาอยู่ในย่านอัลตราโซนิก อย่างเช่น 40KHz จะมีความยาวคลื่นในอากาศเพียง 8 มิลลิเมตรเท่านั้น ซึ่งเล็กกว่าตัวที่ทำให้เกิดคลื่นความถี่นี้มากๆ คลื่นเสียงจะไม่มี การเลี้ยวเบนที่ขอบ จึงพุ่งออกมาเป็นลักษณะลำแคบๆหรือที่เราเรียกว่า “มีทิศทาง” นั่นเอง การมีทิศทางของคลื่นเสียงอัลตราโซนิกทำให้เราสามารถนำไปใช้งานได้หลายอย่าง เช่น คลื่นวัดความหนาแน่นของวัตถุ โดยสังเกตระยะที่คลื่นสะท้อนกลับมา เครื่องวัดความลึกทำแผนที่ใต้ท้องทะเล ส่วนการใช้งานทางการแพทย์ อาจใช้ความถี่ในช่วง 1MHz ถึง 10MHz ขณะที่ความถี่เป็น GHz ก็มีใช้กันหลายๆการใช้งานที่ตัวกลางที่คลื่นเสียงเดินทางผ่านไม่ใช่ในอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.3 ทฤษฎี MCS-51 ของ 3D-POINTER

การติดต่อกับ คอมพิวเตอร์ นั้นจริงๆแล้ว เราต้องทำการติดต่อในระดับของภาษาเครื่องเท่านั้น ซึ่งก็จะต้องติดต่อในรูปของเลขฐานสองเป็นลำดับของตัวเลข 0 1 0 1 ไปเรื่อยๆ ขึ้นอยู่กับว่าจะเป็นการติดต่อแบบขนานหรือแบบอนุกรม ซึ่งคอมพิวเตอร์จะสามารถเข้าใจได้เองเพราะวงจรภายในของคอมพิวเตอร์ก็เป็นวงจร คิจิตอล ซึ่งประกอบไปด้วยวงจร ลอจิกเกต ที่ทำงานเมื่อมีระดับสัญญาณเข้าเป็น 1 (5 โวลต์) หรือมีระดับสัญญาณเข้าเป็น 0 (0 โวลต์) แต่สำหรับคนเรานั้นไม่สามารถเข้าใจภาษาที่เป็นตัวเลขนี้ได้ จึงได้มีการคิดค้นตัวแปลภาษาจากภาษาเครื่องไปเป็นภาษาที่มนุษย์สามารถเข้าใจได้ง่ายเช่น ภาษาซี ภาษา ปาสคาล ภาษา เบสิก เป็นต้น

### 2.3.1 โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของ คอมพิวเตอร์ ตระกูล MCS-51

การติดต่อกับ คอมพิวเตอร์ นั้นเราจำเป็นต้องเข้าใจถึงโครงสร้างและสถาปัตยกรรมภายในของมันเสียก่อน ซึ่งองค์ประกอบหลักๆของ คอมพิวเตอร์ มีดังต่อไปนี้

#### 2.3.1.1 ) Central Processing Unit ( CPU )

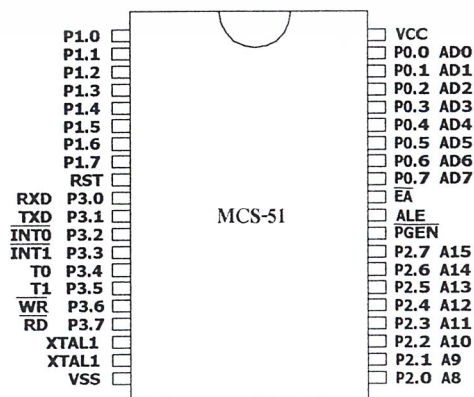
ทำหน้าที่เป็นหน่วยประมวลผลหลักของ คอมพิวเตอร์ เป็นตัวกลางคอยควบคุมส่วนประกอบอื่นๆใน คอมพิวเตอร์ โดยจะทำการประมวลผลข้อมูลที่เข้ามาเป็นตัวเลข และส่งออกเป็นตัวเลขเช่นเดียวกัน

#### 2.3.1.2 ) Memory

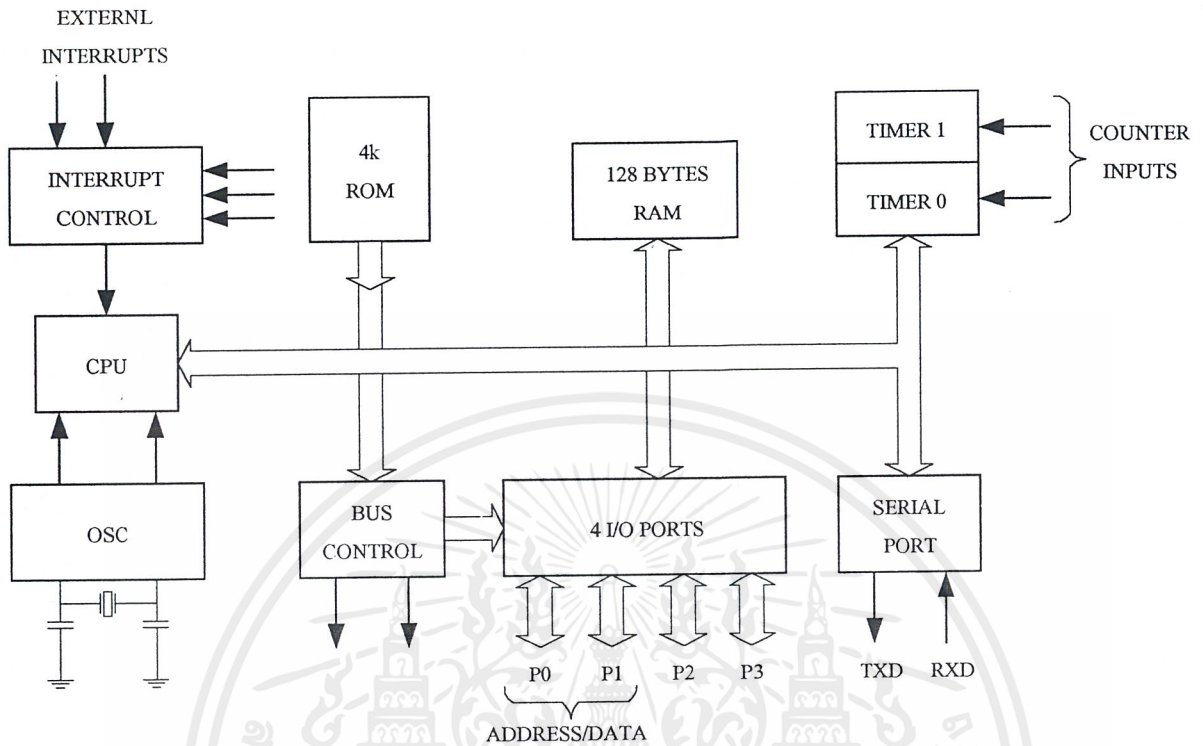
คือหน่วยความจำนั่นเอง คอยทำหน้าที่เก็บข้อมูลให้ทั้ง ซีพียู และอุปกรณ์ I/O ต่างๆ ทั้งเมื่อเกิดการเข้า และ ออก ของข้อมูล

#### 2.3.1.3 ) ส่วน อินพุต และ เอาต์พุต

จะประกอบไปด้วยส่วนของ พอร์ต และ บัส ต่างๆที่คอยทำหน้าที่เป็นตัวรับ - ส่ง ข้อมูลระหว่าง ซีพียู กับส่วนต่างๆของ คอมพิวเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 2.11 แสดงขาของ MCS-51  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 แสดง Block Diagram ของ MCS-51

### 2.3.2 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

เป็นไมโครโปรเซสเซอร์ขนาด 8 บิต มีวงจรรอสซิลเลเตอร์ภายใน ต้องการแหล่งจ่ายไฟ +5V ชุดเดียว มีหน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) ขนาด 4 กิโลไบต์ (สำหรับเบอร์ 8052 มีหน่วยความจำถึงโปรแกรม 8 กิโลไบต์) มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล (Data Memory) ขนาด 128 ไบต์ (สำหรับเบอร์ 8052 ขึ้นไปมีถึง 256 ไบต์) หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลแยกจากกันอย่างละ 64 กิโลไบต์ มีไทม์เมอร์ เคนต์เตอร์ ขนาด 16บิต 2 ชุด (สำหรับ 8052 มี 3 ชุด) ทำงานได้ 4 โหมครับอินเตอร์รัพท์ได้ 6 แหล่ง 5 เวกเตอร์ (สำหรับเบอร์ 8052 ขึ้นไปมี 8 แหล่ง 6 เวกเตอร์) มีพอร์ตรับส่งข้อมูลแบบโปรแกรมระดับบิตได้ 4 พอร์ต มีพอร์ตรับส่งข้อมูลอนุกรม (UART) 2 พอร์ตแบบ Full Duplex เลือกลงได้ 4 โหมคร มีคำสั่งในการทำ AND,OR หรือ Complement ได้ทั้งแบบ 8 บิตและ 1 บิต

### 2.3.3 โครงสร้างภายในของ MCS-51

MCS-51 ใช้เทคโนโลยีในการผลิตเป็นแบบ CMOS เบอร์ 8051 และ 8052 จะมี ROM BASIC อยู่ภายในจึงสะดวกสำหรับโปรแกรมเมอร์ที่จะเขียนโปรแกรมด้วยภาษาเบสิก โครงสร้างภายในสำหรับเบอร์ 8051 ดังแสดงในรูปที่ 2.12

#### 2.3.3.1 พอร์ตของ 8051

8051 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 40 ขา ซึ่งมีขาต่างๆ ดังนี้

Vcc (ขา 40) ต่อกับ +5V

Vss (ขา 20) ต่อกับ GND

อุปกรณ์ I/O ใช้สำหรับเป็นช่องทางสื่อสารระหว่างตัวไมโครคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก ซึ่งพอร์ต ของ MCS-51 จะมี 4 พอร์ต คือ

**พอร์ต 0** (ขา 32 – 39) มีทั้งหมด 8 บิต คือ (P0.0 – P0.7) มีโครงสร้างแบบ Open-Drain Bi-directional ดังแสดงในรูปที่ 2.13 ใช้งานได้ 2 หน้าที คือ แอ็คเตสบัตและดาต้าบัต เมื่อต้องการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกหรือเป็น I/O พอร์ต ถ้าต้องการให้ทำงานเป็นอินพุทพอร์ตต้องส่งลอจิก “1” ไปยังพอร์ตนี้ จะมีผลทำให้ Q ของ D-FF เป็น “0” ทำให้ FET ตัวล่างมีสถานะ OFF สัญญาณที่ใช้อ่านอินพุทพอร์ตแลทซ์โดยส่งสัญญาณ READLATCH ไปกระตุ้นที่ Tri-state Buffer ตัวบนและอ่าน Port (pin) จะใช้สัญญาณ Read (pin) พอร์ต 1 (ขา 1 – 8) มีทั้งหมด 8 บิต คือ (P1.0 – P1.7) มีโครงสร้างคล้ายพอร์ต 0 แต่จะใช้ความต้านทานภายในพลูลัพแทน Internal Pull up Register มีโครงสร้างดังรูปที่ 2.14

**พอร์ต 2** (ขา 21 – 28) มีทั้งหมด 8 บิต คือ ขา (P2.0 – P2.7) มีโครงสร้างคล้ายพอร์ต 0 โดยมี FET ตัวล่างตัวเดียวส่วนด้านบนใช้ความต้านทานพลูลัพแทน (Internal pull up) พอร์ตนี้ทำงาน 2 หน้าที คือ สามารถใช้เป็นแอ็คเตสบัตขนาด 8 บิต (A15 – A8) และเป็นไอโอพอร์ตใช้งานทั่วไปเมื่อจะใช้งานเป็นอินพุทพอร์ตต้องส่งลอจิก “1” มาที่พอร์ตนี้ก่อนเพื่อบังคับให้ FET อยู่ในสถานะ OFF ดังแสดงในรูปที่ 2.15

**พอร์ต 3** (ขา 10 – 17) มีทั้งหมด 8 บิต คือ ขา (P3.0 – P3.7) มีโครงสร้างคล้ายพอร์ต 1 ทำงานได้ 2 หน้าทีคือ เป็น I/O พอร์ต ถ้าจะโปรแกรมให้เป็นอินพุทพอร์ตต้องส่งลอจิก “1” มาที่พอร์ตนี้ก่อนและอีกหน้าทีหนึ่งก็คือใช้ส่งสัญญาณควบคุมออกมาและรับสัญญาณเข้าไป สัญญาณต่าง ๆ มีดังนี้

**P3.0/RXD** (Serial Input Port) เป็นขาที่ใช้รับข้อมูลแบบอนุกรม (UART)

**P3.1/TXD** (Serial Output Port) เป็นขาที่ใช้ส่งข้อมูลแบบอนุกรม (UART)

**P3.2/INT0** (External Interrupt 0) ใช้รับสัญญาณการขัดจังหวะจากภายนอกเบอร์ 0

**P3.3/INT1** (External Interrupt) ใช้รับสัญญาณการขัดจังหวะจากภายนอกเบอร์ 1

**P3.4/T0** (Counter 0 External Input) ขารับสัญญาณพัลซ์อินพุทเข้าไปยังวงจร Counter 0 (เป็นอินพุทโหมด

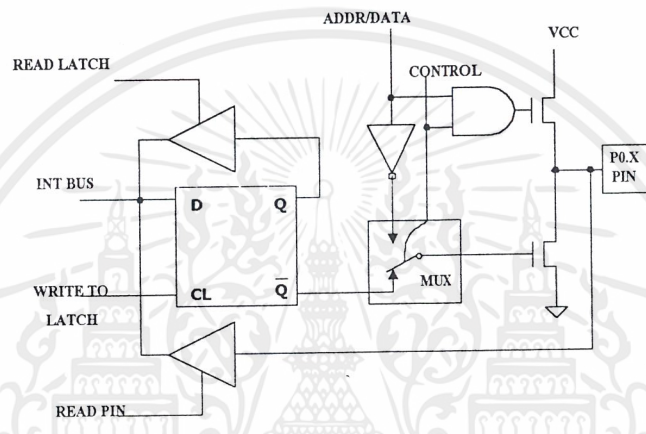
เคาน์เตอร์) เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

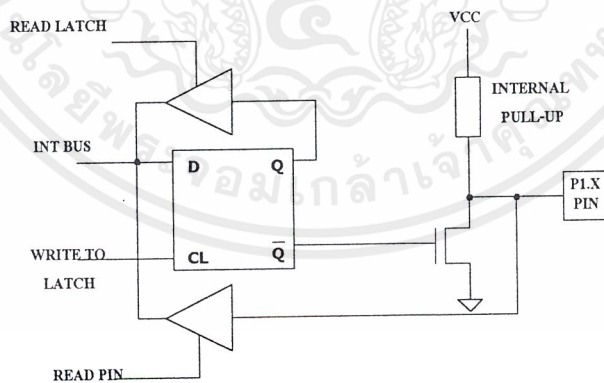
**P3.5/T1** (Counter 1 External Input) ขารับสัญญาณพัลซ์อินพุตเข้าไปยังวงจร Counter 1 (เป็นอินพุทโหมดแคน์เตอร์)

**P3.6/WR** (External Data Memory Write Strobe) ขาสัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูลลงหน่วยความจำข้อมูลภายนอก

**P3.7/RE** (External Data Memory Read Strobe) ขาสัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำข้อมูลภายนอก โครงสร้างของ (พอร์ต 3) ดังแสดงในรูปที่ 2.16

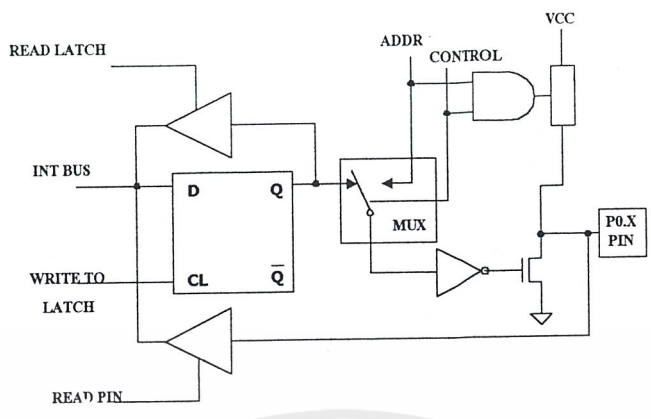


รูปที่ 2.13 โครงสร้างวงจร Port 0 Bit

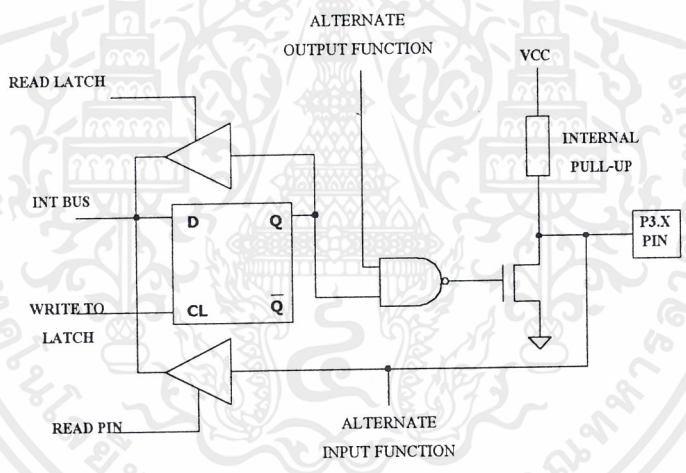


รูปที่ 2.14 โครงสร้างวงจร Port 1 Bit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 โครงสร้างวงจร Port 2 Bit



รูปที่ 2.16 โครงสร้างวงจร Port 3 Bit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ALE** (ขา 30) เป็นขาส่งสไตรบสำหรับใช้ในการแลตซ์แอดเดรสไบต์ต่ำ (A7 – A0) ที่ส่งออกมาจาก (พอร์ต 0) สัญญาณนี้จะแอกทีฟทุก ๆ ครั้งใน 1 แมกซ์ซินไซเคิล

**PSEN** (ขา 29) เป็นขาสไตรบที่ใช้สำหรับการอ่านข้อมูลจาก Program Memory ภายนอกสัญญาณนี้จะส่งออกมา 2 ครั้ง ในแต่ละแมกซ์ซินไซเคิล แต่ถ้าเป็นการอ่าน Internal Program Memory จะไม่มีสัญญาณออกที่ขา

**EA** (ขา 31) ใช้เลือกหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก

    ป้อน “0” จะอ่านโปรแกรมจากภายนอกชิพ

    ป้อน “1” จะอ่านโปรแกรมจากภายในชิพ

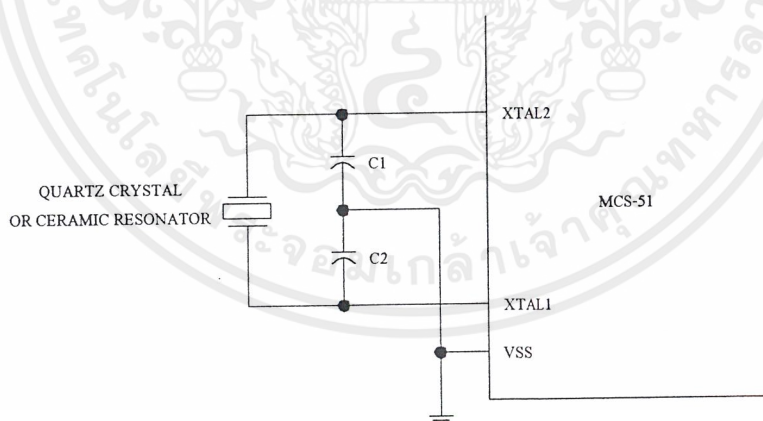
**RST** (ขา 9) ขารีเซ็ตจะรีเซ็ตได้ก็ต่อเมื่อป้อนลอจิก “1” เข้าที่ขานี้ นานอย่างน้อย 2 แมกซ์ซินไซเคิล

**XTAL1** (ขา 19) ใช้ต่อคริสตัลภายนอกโดยเป็นอินพุตเข้าสู่วงจรรอสซิลเลเตอร์ภายใน

**XTAL2** (ขา 20) ใช้ต่อคริสตัลภายนอกโดยเป็นอินพุตเข้าสู่วงจรรอสซิลเลเตอร์ภายใน

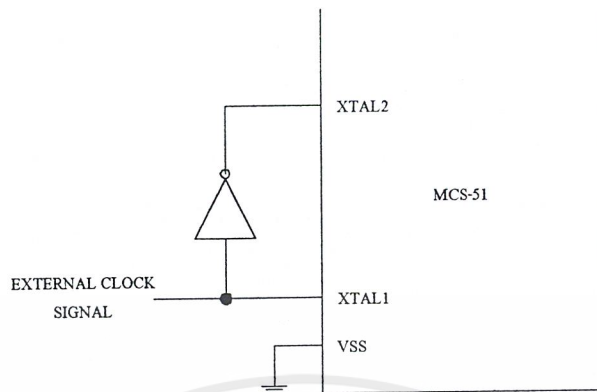
### 2.3.3.2 สัญญาณนาฬิกาของ MCS-51

การต่อมีอยู่ด้วยกัน 2 รูปแบบคือแบบใช้วงจรรอสซิลเลเตอร์ภายในตัว MCS-51 โดยการต่อคริสตัลกับตัวเก็บประจุเพิ่มดังรูปที่ 2.17 กับการใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอก ซึ่งมีวิธีการต่อดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.17 การต่อวงจรรอสซิลเลเตอร์โดยใช้ On-Chip Oscillator

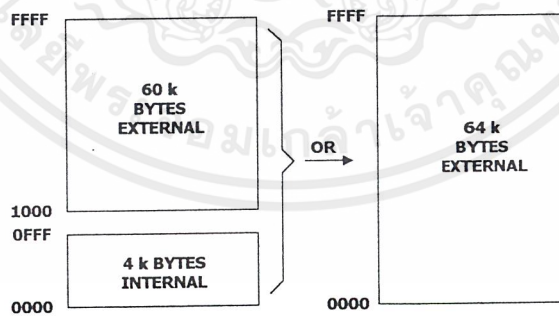
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



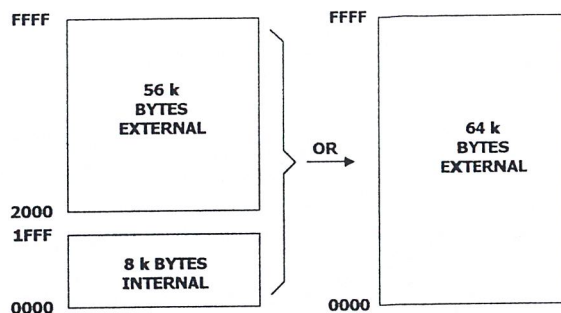
รูปที่ 2.18 การต่อวงจรแบบใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอก

2.3.3.3 หน่วยความจำ

หน่วยความจำที่ใช้ใน MCS-51 มีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิด คือหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม (Program Memory) และหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูล (Data Memory) หน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรม เป็นหน่วยความจำที่ใช้เก็บโปรแกรมสั่งงานบรรจุในชิพ 8051 ส่วนที่เป็น Program Memory ก็คือ ROM ขนาด 4 กิโลไบต์นั่นเอง แต่ถ้าเป็นเบอร์ 8052 จะมี ROM ขนาด 8 กิโลไบต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.19 และรูปที่ 2.20

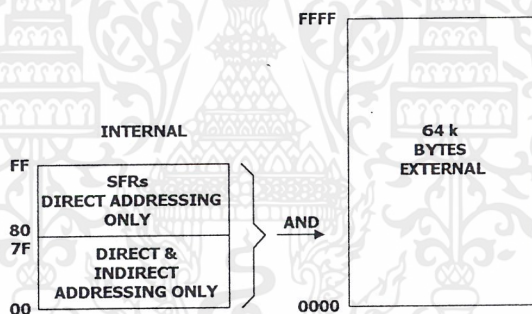


รูปที่ 2.19 ผังหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมสำหรับเบอร์ 8051

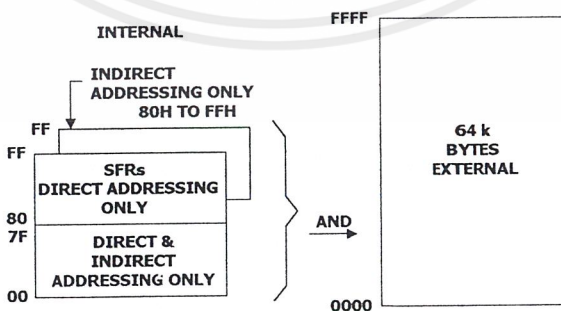


รูปที่ 2.20 ผังหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมสำหรับเบอร์ 8052

Data Memory (RAM) แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ หน่วยความจำข้อมูลภายในชิพมีเพียง 128 ไบต์ สำหรับเบอร์ 8051 และ 256 ไบต์ สำหรับเบอร์ 8052 ขึ้นไปและหน่วยความจำข้อมูลภายนอกชิพมีความจุ 64 กิโลไบต์ ดังแสดงในรูปที่ 2.21 และรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.21 ผังหน่วยความจำสำหรับ Data Memory เบอร์ 8051



รูปที่ 2.22 ผังหน่วยความจำสำหรับ Program Memory ของ 8052

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### พื้นที่หน่วยความจำที่เข้าถึงข้อมูลทางอ้อมเท่านั้น (Indirect Address Area)

พื้นที่หน่วยความจำบริเวณ (80h-FFh) ตามรูปที่ 2.22 เป็นพื้นที่ซับซ้อนกันอยู่อย่างละ 128 ไบต์ โดยส่วนแรกจะเป็น SFR แอแดกเรสและ Indirect Address Area ดังนั้นผู้เขียนโปรแกรมถ้าจะติดต่อกับ SFR จะต้องใช้คำสั่งแบบเข้าถึงข้อมูลโดยตรงเท่านั้น (Direct Address Area) ส่วนตำแหน่ง (00h-7Fh) จะเข้าถึงข้อมูลได้ทั้ง 2 แบบ Special Function Register (SFR) มีรายละเอียดดังตารางที่ 2.1

### พื้นที่หน่วยความจำที่เข้าถึงข้อมูลโดยตรงและทางอ้อม (Direct and Indirect Address Area)

#### 1. รีจิสเตอร์แบงก์ (Register Banks 0-3) ตั้งแต่ตำแหน่ง (00-1Fh)

จะเป็นส่วนของรีจิสเตอร์แบงก์ (0-3) โดยแบ่งเป็นแบงก์ละ 8 ไบต์รวมแล้วได้ 32 ไบต์ (แต่ละแบงก์จะมีรีจิสเตอร์ R0,R1,R2,R3,R4,R5,R6,R7) ถ้าซีพียูทำงานอยู่ที่แบงก์ 3 เมื่อถูกรีเซ็ตก็จะกลับมาทำงานที่แบงก์ 0 เสมอและ SP จะมาเริ่มต้นที่ตำแหน่ง 07h ทันที

2. บริเวณหน่วยความจำที่ใช้คำสั่งอ่านเขียนทีละบิตได้ (Bit Addressable Area) พื้นที่ตั้งแต่แอแดกเรส (20h-7Fh) จำนวน 16 ไบต์หรือแบ่งเป็นบิตจะได้เท่ากับ 128 บิตซึ่งตำแหน่งบิตมีดังนี้ 00,01,02,03,04,05,06,07 จนถึง 7Fh เช่นบิต 00 ก็คือ D0 ของหน่วยความจำตำแหน่งที่ 20h บิต 01 ก็คือ D1 ของหน่วยความจำตำแหน่งที่ 20h เช่นต้องการเซตบิต 00 ต้องเขียนคำสั่งว่า SETB 20h.0

3. บริเวณหน่วยความจำที่ใช้งานทั่วไป (Scratch Pad Area) พื้นที่ตั้งแต่ (30h-7Fh) จะเขียนข้อมูลได้ทีละไบต์เท่านั้น ไม่สามารถใช้คำสั่งเกี่ยวกับบิตได้ถ้าย้ายเนื้อที่สแตคมาบริเวณนี้ โปรแกรมเมอร์จะเขียนข้อมูลมาทับสแตค

Byte	(MSB)				(LSB)				
7FH	<b>Scratch Pad Area</b>								
30H									
2FH	7F	7E	7D	7C	7B	7A	79	78	
2EH	77	76	75	74	73	72	71	70	
2DH	6F	6E	6D	6C	6B	6A	69	68	
2CH	67	66	65	64	63	62	61	60	
2BH	5F	5E	5D	5C	5B	5A	59	58	
2AH	57	56	55	54	53	52	51	50	
29H	4F	4E	4D	4C	4B	4A	49	48	
28H	47	46	45	44	43	42	41	40	
27H	3F	3E	3D	3C	3B	3A	39	38	
26H	37	36	35	34	33	32	31	30	
25H	2F	2E	2D	2C	2B	2A	29	28	
24H	27	26	25	24	23	22	21	20	
23H	1F	1E	1D	1C	1B	1A	19	18	
22H	17	16	15	14	13	12	11	10	
21H	0F	0E	0D	0C	0B	0A	09	08	
20H	07	06	05	04	03	02	01	00	
1FH	<b>R0-R7</b>								รีจิสเตอร์ แบนด์ 3
18H	<b>R0-R7</b>								รีจิสเตอร์ แบนด์ 2
17H	<b>R0-R7</b>								รีจิสเตอร์ แบนด์ 1
10H	<b>R0-R7</b>								รีจิสเตอร์ แบนด์ 0
0FH	<b>R0-R7</b>								
08H	<b>R0-R7</b>								
07H	<b>R0-R7</b>								
00H	<b>R0-R7</b>								

รูปที่ 2.23 128 ไบต์ของ RAM ที่เข้าถึงข้อมูลแบบทางตรงและทางอ้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 แสดงสัญลักษณ์ชื่อและตำแหน่งต่างๆที่มีอยู่ใน SFR

Symbol	Name	Address
*ACC	Accumulator	0E0H
*B	B Register	0F0H
*PSW	Program Status Word	0D0H
SP	Stack Pointer	81H
DPTR	Data Pointer 2 Bytes	
DPL	Low Byte	82H
DPH	High Byte	83H
*P0	Port 0	80H
*P1	Port 1	90H
*P2	Port 2	0A0H
*P3	Port 3	0B0H
*IP	Interrupt Priority Control	0B8H
*IE	Interrupt Enable Control	0A8H
TMOD	Timer/Counter Mode Control	89H
*TCON	Timer/Counter Control	88H
*T2CON	Timer/Counter 2 Control	0C8H
TH0	Timer/Counter 0 High Byte	8CH
TL0	Timer/Counter 0 Low Byte	8AH
TH1	Timer/Counter 1 High Byte	8DH
TL1	Timer/Counter 1 Low Byte	8BH
+TH2	Timer/Counter 2 High Byte	0CDH
+TL2	Timer/Counter 2 Low Byte	0CCH
+RCAP2H	T/C 2 Capture Reg.High Byte	0CBH
+RCAP2L	T/C 2 Capture Reg.Low Byte	0CAH
*SCON	Serial Control	98H
SBUF	Serial Data Buffer	99H
PCON	Power Control	87H

\* = Bit addressable

+ = 8052 only

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


### 2.3.3.3 ไทม์เมอร์ / เคาน์เตอร์

ไทม์เมอร์ / เคาน์เตอร์ สามารถเลือกให้มีการทำงานเป็นไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์อย่างใดอย่างหนึ่ง โดยเลือกที่บิต C/T ในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ TMOD ไทม์เมอร์และเคาน์เตอร์จะใช้ Up Counter Register ( $TH_x$ ,  $TL_x$ ) ตัวเดียวกันซึ่งเป็นแบบนับขึ้น ไทม์เมอร์ Up Counter Register ( $TH_x$ ,  $TL_x$ ) จะถูกเพิ่มค่าทุก ๆ 1 แมกซ์ซินไซเคิล (12 คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกา) ไทม์เมอร์นี้ไม่ต้องป้อนสัญญาณจากภายนอกเข้ามาแต่ใช้สัญญาณนาฬิกาของ CPU ไทม์เมอร์เคาน์เตอร์ Up Counter Register ( $TH_x$ ,  $TL_x$ ) จะถูกเพิ่มค่าทีละหนึ่งเมื่อป้อนสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกเข้ามาทางขา T0, T1(pin) อยู่ที่ขา 14 และ 15 ตามลำดับโดยไม่สนใจคาบเวลาของพัลส์ แต่ละลูกการตรวจสอบสัญญาณที่เข้ามาทางขานี้โดยจะตรวจสอบทุก ๆ S5P2 ของแต่ละแมกซ์ซินไซเคิล ดังนั้นการตรวจสอบสัญญาณนาฬิกา 1 ลูกจะต้องใช้ถึง 2 แมกซ์ซินไซเคิล (1/24 คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกาของ CPU)

### 2.3.3.4 การอินเทอร์รัปต์

คือการขัดจังหวะ โปรแกรมชั่วคราวแล้วมาทำโปรแกรมบริการอินเทอร์รัปต์ (Interrupt Service Routine ; ISR) การตรวจสอบสัญญาณการร้องขออินเทอร์รัปต์จะตรวจสอบที่ตำแหน่ง S5P2 ของทุก ๆ แมกซ์ซินไซเคิลเมื่อพบแล้ว ในช่วงแมกซ์ซินไซเคิลที่ 2 จะเป็นการตรวจสอบว่าเป็นของอุปกรณ์ใดและแมกซ์ซินไซเคิลที่ 3 จะกระโดดไปทำโปรแกรมบริการอินเทอร์รัปต์ (Interrupt Service Routine; ISR) อินเทอร์รัปต์ของ MCS-51 ได้มาจาก 8 แหล่ง และแต่มีเพียง 6 Vector (TI และ RI ใช้ตำแหน่งเดียวกัน) ตำแหน่งของเวกเตอร์ดังแสดงตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 อินเทอร์รัปต์เวกเตอร์ของ MCS-51 และลำดับความสำคัญของการอินเทอร์รัปต์

ลำดับ	ชื่อสัญญาณอินเทอร์รัปต์	Vector Address	Priority
1	INT0	0003H	highest  lowest
2	TF0	000BH	
3	INT1	0013H	
4	TF1	001BH	
5	TI+RI	0023H	
6	TF2+EXF2	002BH	

- ถ้ามีอินเทอร์รัปต์เข้ามาพร้อมกัน INT 0 จะถือว่ามี Priority สูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.4 การสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม

#### 2.3.4.1 การกำหนดค่าการติดต่อสำหรับ MCS-51

คอมพิวเตอร์ต้องสามารถติดต่อกับคอมพิวเตอร์อื่นๆ ในระบบมัลติโปรเซสเซอร์สมัยใหม่ การติดต่อที่มีประสิทธิภาพทางหนึ่งคือ การส่ง และการรับบิตข้อมูลอนุกรม 8051 มีวงจรติดต่อข้อมูลอนุกรมโดยใช้รีจิสเตอร์ SBUF เก็บข้อมูล SCON ควบคุมการสื่อสาร PCON ควบคุมอัตราข้อมูล และขา RXD (P3.0) และ TXD (P3.1) ต่อกับเครือข่ายข้อมูลอนุกรม

SBUF มีอยู่ 2 รีจิสเตอร์ โดยอันหนึ่งใช้เขียนและเก็บข้อมูลที่จะส่งออกของ 8051 ผ่าน TXD อีกตัวให้อ่านและเก็บข้อมูลที่ได้รับจาก RXD

การสื่อสารกับคอมพิวเตอร์จะต้องทำการตั้งค่ากำหนดโหมดการสื่อสาร อัตราข้อมูลในรีจิสเตอร์ SCON ก่อน

(MSB)				(LSB)							
SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI	RB8	SCON.2	Recieve Bit 8. Set/Clear by hardware to indicate state of ninth data bit recieved.	
SM0	SCON.7	Serial port Mode control bit 0. Set/Clear by Software (see note)					TI	SCON.1	TransmitInterrupt flag. Set by hardware when byte transmitted. Clear by software after servicing.		
SM1	SCON.6	Serial port Mode control bit 1. Set/Clear by Software (see note)					RI	SCON.0	Recieve Interrupt flag. Set by hardware when byte recieved. Clear by software after servicing.		
SM2	SCON.5	Serial port Mode control bit 2. Set/Clear by Software to disable reception of frames for which bit 8 is zero.						<b>Note</b>	The state of (SM0, SM1) selects: (0,0)--Shift register I/O expansion. (0,1)--8 bit UART , variable data rate. (1,0)--9 bit UART , fixed data rate. (1,1)--9 bit UART , variable data rate.		
REN	SCON.4	Reciever Enble control bit. Set/Clear by software to enable/disable serial data reception.									
TB8	SCON.3	Transmit Bit 8. Set/Clear by hardware to terminate state of ninth data bit transmitted in 9 bit UART mode.									

รูปที่ 2.24 รีจิสเตอร์ SCON –Serial Port Control/Status Register

สำหรับโหมดและอัตราการสื่อสารข้อมูลจะกำหนดจากค่า SM0, SM1 ในรีจิสเตอร์ SCON โดยอัตราการส่งข้อมูลจะคงที่ในโหมด 0 และสามารถเปลี่ยนแปลงได้เมื่อใช้โหมดเบอร์ 1 และบิตที่เปลี่ยน Baud rate อนุกรม (SMOD) ซึ่งอยู่ในรีจิสเตอร์ PCON สำหรับโหมด 1, 2, 3 ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.4.2 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม RS-232 เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง โดยมาตรฐาน RS-232 ในอดีตนั้นถูกออกแบบมาเพื่อการส่งผ่านข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังโมเด็มเพียงอย่างเดียว เพื่อที่จะนำข้อมูลจากโมเด็มนี้สื่อสารผ่านสายโทรศัพท์ไปยังคอมพิวเตอร์อีกชุดซึ่งอยู่ห่างไกลกัน โดยคณะกรรมการที่เรียกว่า สมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industries Association : EIA) ได้วางมาตรฐานที่มีชื่อเรียกกันว่า EIA RS-232 มาตรฐานนี้ในช่วงแรกจะใช้คอนเน็กเตอร์เป็นแบบ DB-25 โดยกำหนดความยาวสูงสุดของสายสัญญาณไว้ที่ 50 ฟุต มีระดับสัญญาณตั้งแต่ -3 ถึง -12V แสดงว่ามีข้อมูล (Mark) และ +3 ถึง +12V แสดงว่าเป็นช่องว่าง (Space)

มาตรฐาน RS-232 ได้กำหนดรูปแบบของอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (Data Terminal Equipment : DTE) กับวงจรข้อมูลปลายทาง (Data Circuit Terminating : DCE) ไว้ว่าอุปกรณ์ DTE จะต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัว เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการสร้างบิตข้อมูลแบบอนุกรมได้ ส่วนอุปกรณ์ DCE จะทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจาก DTE เท่านั้น โดยการรับส่ง ข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองจะกระทำผ่านมาตรฐาน RS-232

ข้อแตกต่างของอุปกรณ์ DTE และอุปกรณ์ DCE อย่างหนึ่งที่เราเห็นได้ชัด คือ คอนเน็กเตอร์ของ DTE จะเป็นตัวผู้ ส่วนคอนเน็กเตอร์ของ DCE จะเป็นตัวเมีย ซึ่งพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะเป็นแบบ DTE ส่วนคอนเน็กเตอร์ที่อยู่ทีโมเด็มจะเป็นแบบ DCE

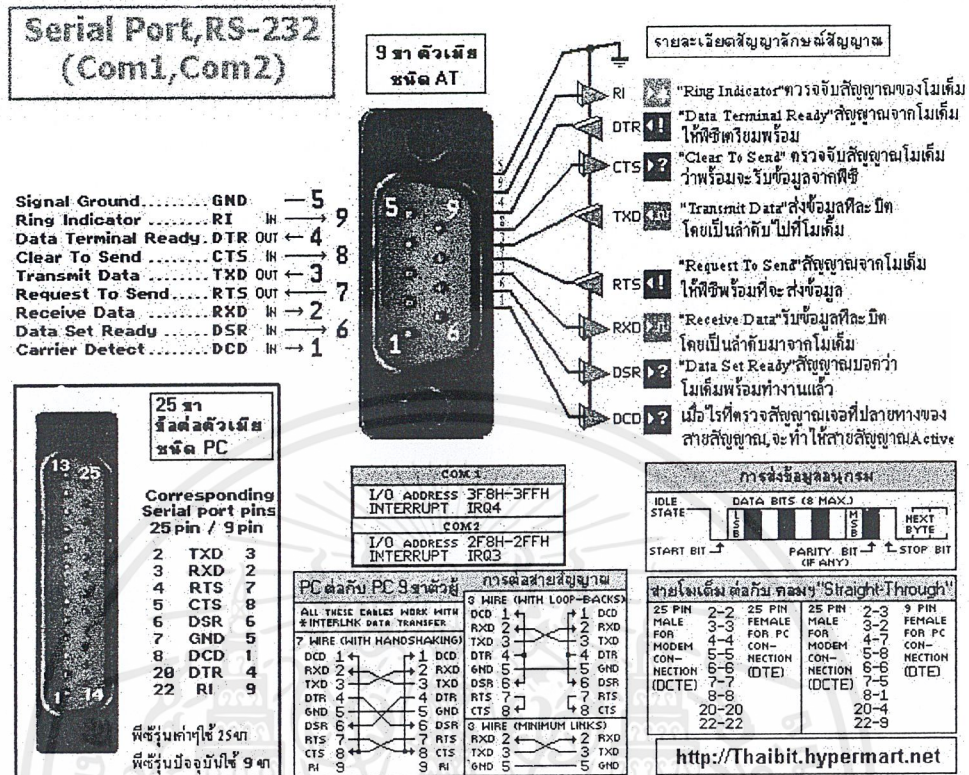
สำหรับการใช้งานบนคอมพิวเตอร์ พอร์ตอนุกรม RS-232 มักถูกใช้เชื่อมต่อกับโมเด็มหรือเมาส์ โดยสามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความยาวของสายสัญญาณสูงสุดถึง 20 เมตร

### 2.3.4.3 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS-232 จะใช้คอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 ตัวผู้หรือ DB-9 ตัวผู้ซึ่งคอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 จะมีขาต่อใช้งานเพียง 9 เส้นเช่นเดียวกับคอนเน็กเตอร์แบบ DB-9 เนื่องจากขาอื่น ๆ ที่เคยใช้งานในอดีต ปัจจุบันมีการใช้งานไม่มากนัก จึงถูกยกเลิกไป โดยแสดงรูปร่างและตำแหน่งขาในรูปที่ 2.25

สำหรับการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกดังในรูปที่ 2.25 ถูกสรในรูปแสดงถึงทิศทางของข้อมูล ในรูปที่ 2. เป็นการเชื่อมต่อแบบ Null modem หรือการเชื่อมต่อโดยตรงโดยไม่ต้องผ่านโมเด็ม โดยมีการตรวจสอบหรือแฮนด์เช็กเต็มรูปแบบ ส่วนในรูปที่ 2. เป็นการเชื่อมต่อแบบ Null modem ในลักษณะที่ใช้สายสัญญาณเพียง 3 เส้นโดยเส้นหนึ่งสำหรับส่งข้อมูล อีกเส้นสำหรับรับข้อมูล และเส้นสุดท้ายเป็นกราวด์ สำหรับรายละเอียดหน้าที่การทำงานในแต่ละขาของพอร์ตอนุกรม RS-232 มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.25 รายละเอียดของพอร์ตอนุกรม RS232

\* Data Carrier Detect : DCD หรืออาจเรียกว่า Carrier Detect : CD ขานี้จะแอกติฟเมื่อมีการส่งสัญญาณพาห์จากอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล เช่น โมเด็ม สำหรับการใช้งานปกติ ขานี้จะไม่ได้ถูกใช้งานมากนัก

\* Receive Data : RD หรือ RxD ขานี้ใช้เพื่อรับสัญญาณอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์โดยนำข้อมูลที่อ่านได้เก็บไว้ในรีจิสเตอร์ บัฟเฟอร์

\* Transmitted Data : TD หรือ TxD ขานี้ใช้เพื่อส่งข้อมูลออกจากคอมพิวเตอร์ โดยนำ ข้อมูลที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลส่งออกไป

\* Data Terminal Ready : DTR เป็นขาสัญญาณที่ส่งออกจากคอมพิวเตอร์เพื่อให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ว่าการติดต่อด้วย โดยขา DTR นี้จะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของอุปกรณ์ปลายทาง และขา DTR ของอุปกรณ์ปลายทางจะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของคอมพิวเตอร์ ถ้าใช้การเชื่อมต่อเป็นแบบ Null Modem ซึ่งใช้สายในการเชื่อมต่อเพียง 3 เส้น จะต้องต่อขา DTR และ DSR ของตัวมันเองเข้าด้วยกันและต้องต่อกับขา DCD ด้วยในกรณีที่โปรแกรมสื่อสารที่ใช้มีการตรวจจับสัญญาณพาห์

\* Signal Ground : GND ขากราวด์ของระบบ

\* Data Set Ready : DSR ขานี้จะใช้คู่กับขา DTR เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งขา DSR นี้จะเป็นขาคำสำหรับรับข้อมูลจากภายนอกซึ่งถูกส่งมาจากขา DTR

แต่ถ้าเป็นแบบ Null Modem หรือใช้สายในการเชื่อมต่อเพียง 3 เส้น จะต้องต่อขา DTR และ DSR ของตัวมันเองเข้าด้วยกันและต้องต่อกับขา DCD ด้วยในกรณีที่โปรแกรมสื่อสารที่ใช้มีการตรวจจับสัญญาณพาห์

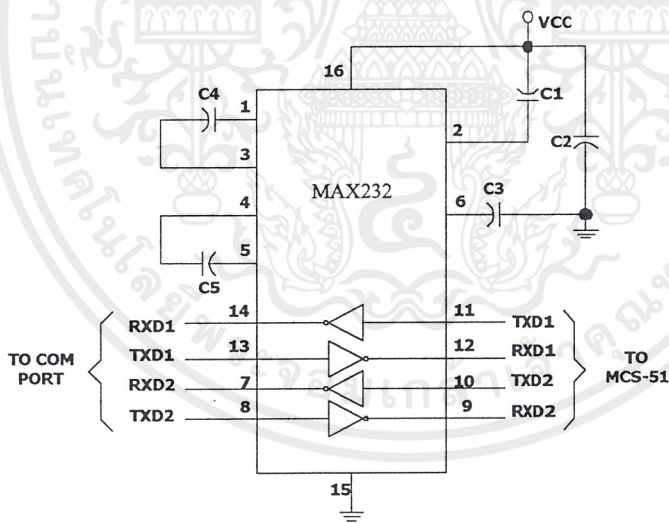
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

\* Request To Send : RTS เป็นขาสำหรับส่งสัญญาณร้องขอให้ทางอุปกรณ์ร้องขอให้ทางอุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลกลับมายังคอมพิวเตอร์โดยขาที่รับสัญญาณ RTS ก็คือขา CTS ในกรณีที่ใช้การเชื่อมต่อแบบ Null modem 3 สาย จะต้องเชื่อมต่อขา RTS และ CTS ของตัวมันเองเข้าด้วยกัน เพื่อจะให้การรับและส่งข้อมูลสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา

\* Clear To Send : CTS ขานี้จะคอยรับสัญญาณจากขา RTS เมื่อรับสัญญาณได้ ข้อมูลที่ขา TxD จะถูกส่งออกไป ดังนั้นขานี้จึงถูกใช้เพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ต่อพ่วงว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือไม่

\* Ring Indicator : RI ใช้แสดงสถานะสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์ ปกติในการสื่อสารโดยทั่วไปสายนี้จะไม่ถูกใช้งาน จะใช้งานก็ต่อเมื่อมีการเชื่อมต่อกับโมเด็มและโปรแกรมมีการตรวจสอบสัญญาณนี้เท่านั้น

การเชื่อมต่อกับพอร์ตอนุกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์ จำเป็นต้องใช้ BUFFER เป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อ เนื่องจาก MCS-51 ใช้เพียงขนาด 5 โวลต์ ในขณะที่ไฟจากพอร์ตของคอมพิวเตอร์มีขนาด 12 โวลต์ การใช้ BUFFER นี้มีรูปแบบหลากหลายตามการออกแบบ แต่ในปัจจุบันได้มีไอซีสำเร็จรูปที่ออกแบบมา เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยเฉพาะเช่น MAX232 ซึ่งมีรูปแบบการเชื่อมต่อดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 การเชื่อมต่อระหว่าง MCS-51 กับคอมพิวเตอร์ผ่าน MAX232

## บทที่ 3

### การออกแบบและการทำงานของเครื่องชั่งตำแหน่ง 3 มิติ

#### 3.1 แนวทางการออกแบบเครื่องชั่งตำแหน่ง 3 มิติ

##### 3.1.1 จุดประสงค์ก่อนออกแบบ

1. วงจรภาคส่งและรับคลื่นอัลตราโซนิกสามารถทำงานได้
2. ควบคุมให้สามารถวัดระยะทางระหว่างตัวรับ-ส่งได้
3. นำระยะทางที่ได้มาคำนวณหาพิกัดตำแหน่งบนระนาบ 3 มิติ
4. สามารถแสดงผลของพิกัดตำแหน่งบนเครื่องคอมพิวเตอร์ได้

##### 3.1.2 ขั้นตอนการออกแบบ

###### -ภาคส่งคลื่น

เนื่องจากตัวส่งสัญญาณ Ultrasonic จะมีความถี่ใช้งานที่ 40 kHz วงจรภาคส่งจึงเป็นวงจรผลิตความถี่ 40 kHz ป้อนให้กับตัวส่ง แต่เนื่องจากต้องเป็นตัวป้อนสัญญาณเพื่อเป็นจุดอ้างอิงให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วย ซึ่งสัญญาณที่จะป้อนให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องเป็นสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่ต่ำๆ ดังนั้น วงจรภาคส่งนี้จะทำหน้าที่ผลิตความถี่ 40 kHz และผลิตสัญญาณพัลส์แล้วนำมาผสมกันป้อนให้กับตัวส่งอัลตราโซนิกและสัญญาณพัลส์ที่ผลิตขึ้นมานี้ก็จะถูกส่งให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยพร้อมๆ กัน

###### -ภาครับคลื่น

วงจรในส่วนของภาครับคลื่น จะต้องสามารถรับสัญญาณที่ส่งมาจากตัวส่ง ซึ่งเป็นสัญญาณที่ถูกผสมกันระหว่างความถี่สูง 40 kHz กับสัญญาณพัลส์ความถี่ต่ำ แล้วทำการกรองเอาเฉพาะสัญญาณพัลส์เพื่อเป็นสัญญาณ Interrupt ให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยจะสร้างวงจรภาครับขึ้นมา 3 ชุด ส่งสัญญาณ Interrupt 3 ชุด จากสัญญาณ Interrupt ที่ได้นี้ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณอ้างอิงจากภาคส่ง ทำการคำนวณระยะทางต่อไป

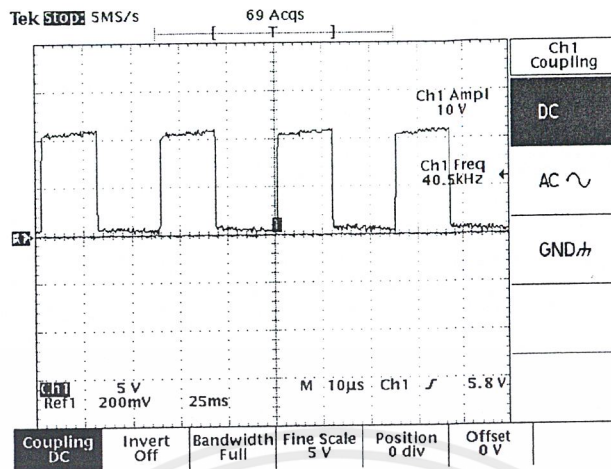
###### -ภาคประมวลผล

วงจรในส่วนนี้จะรวมไปถึงส่วนของการแสดงผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วย โดยจะแยกเป็น

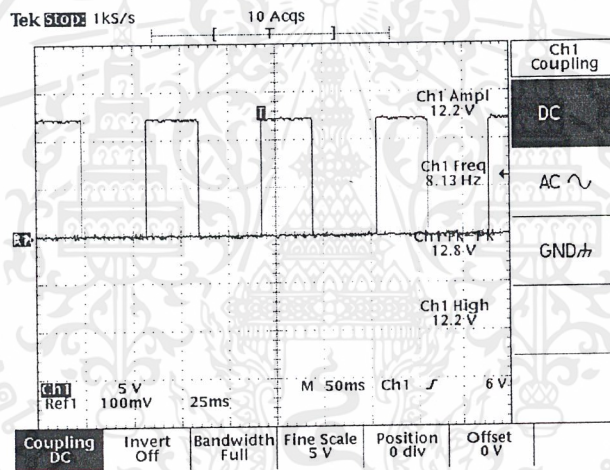
1. วงจรในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทำหน้าที่รับสัญญาณจากวงจรภาคส่ง และภาครับเปรียบเทียบกับและนับระยะเวลาที่เกิดขึ้นระหว่างตัวส่งกับตัวรับแต่ละจุด โดยใช้ Timer ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ เป็นตัวนับ ค่าเวลาที่ได้อาจจะส่งให้กับคอมพิวเตอร์คำนวณผ่านทางพอร์ตสื่อสารแบบอนุกรม

2. ส่วนของการคำนวณและแสดงผล ซึ่งเป็นการทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ จะรับค่าการนับจากไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำการคำนวณหาพิกัดตำแหน่ง และแสดงผลไม่วางกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

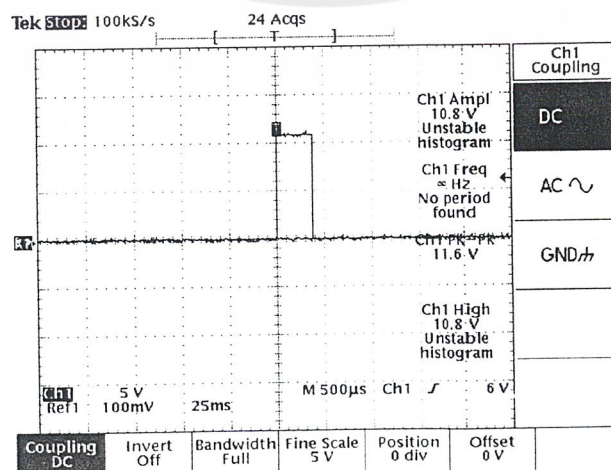




รูปที่ 3.2 แสดงสัญญาณที่จุด A ในรูปที่ 3.1

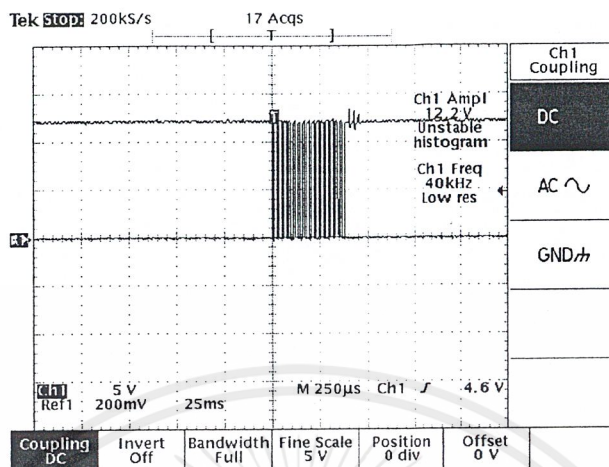


รูปที่ 3.3 แสดงสัญญาณที่จุด B ในรูปที่ 3.1

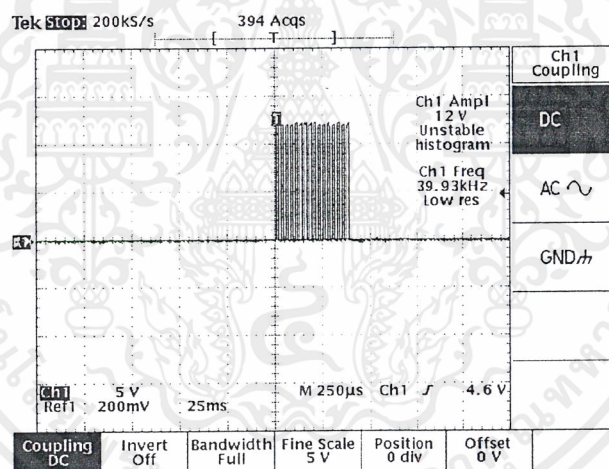


รูปที่ 3.4 แสดงสัญญาณที่จุด C ในรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อแหล่งอื่นใด และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงสัญญาณที่จุด D ในรูปที่ 3.1

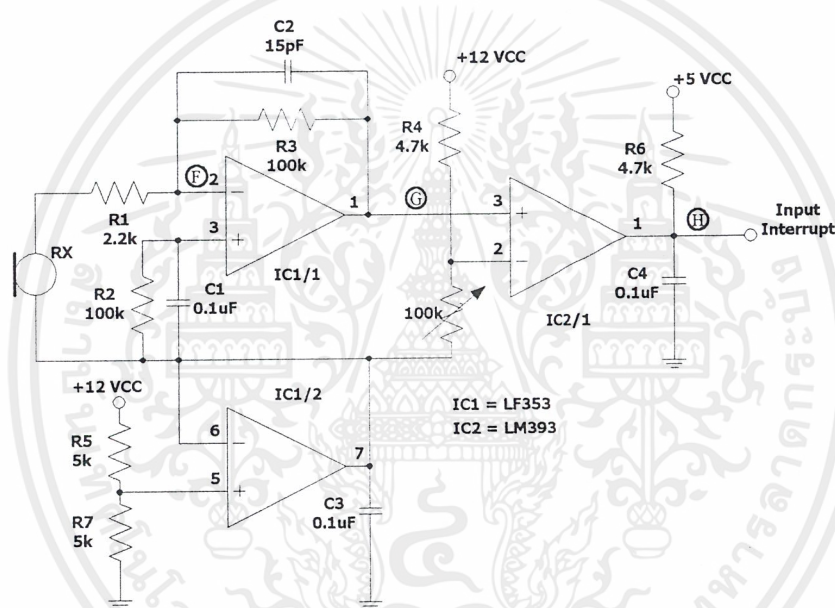


รูปที่ 3.6 แสดงสัญญาณที่จุด E ในรูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.2 วงจรภาครับคลื่น

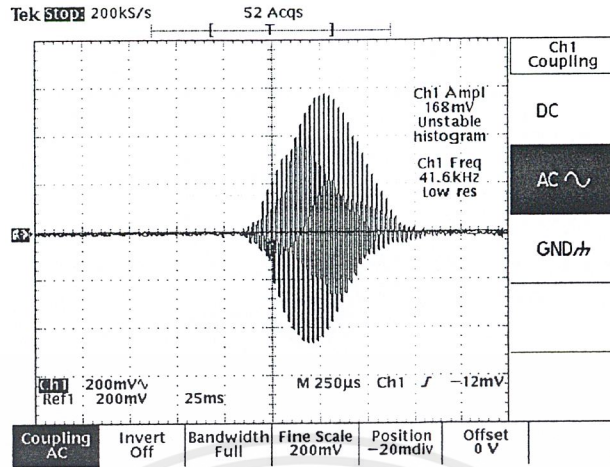
หน้าที่ของวงจรภาครับคลื่นคือการแปลงสัญญาณที่รับมาในรูปของสัญญาณที่ถูกผสมกันมา ระหว่างสัญญาณความถี่สูง (40 kHz) กับสัญญาณความถี่ต่ำ (10 Hz) ให้เป็นแรงดันแล้วหลังจากนั้นก็ทำการส่งเป็นสัญญาณ Interrupt ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำการประมวลผลต่อไป วงจรภาครับแสดงดังรูปที่ 3.2



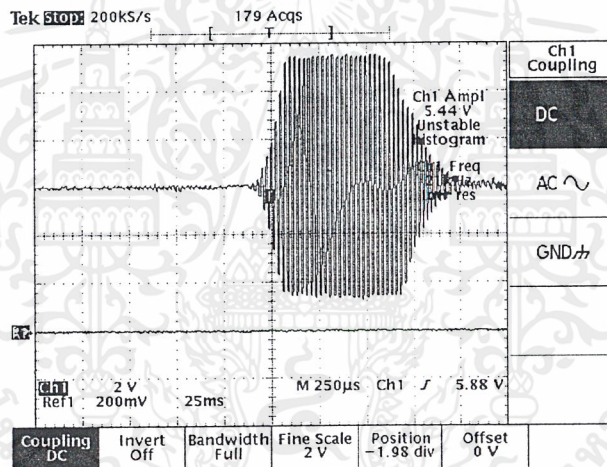
รูปที่ 3.7 แสดงวงจรภาครับ

การทำงานของวงจรสามารถอธิบายได้ดังนี้ โดยเริ่มจากเมื่อมีสัญญาณคลื่นความถี่ประมาณ 40 kHz มาตกกระทบกับตัวรับซึ่งจะเป็นผลให้เกิดแรงดันค่าน้อยๆ อยู่ในระดับมิลลิโวลต์ ขึ้นที่ขั้วของตัวรับ ค่าแรงดันดังกล่าวจะถูกนำไปผ่านวงจรคอมพาราเตอร์สัญญาณอีกครั้ง และเพื่อเป็นการยกระดับแรงดันให้สูงขึ้นเท่ากับขนาดของไฟเลี้ยง สัญญาณที่ออกมาจากเอาต์พุตของวงจรคอมพาราเตอร์ ยังคงเป็นลักษณะของสัญญาณความถี่สูงรวมมากับสัญญาณความถี่ต่ำ สุดท้ายสามารถที่จะกำจัดสัญญาณความถี่สูงได้ โดยนำสัญญาณดังกล่าวมาผ่านวงจรแถบความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) ซึ่งประกอบไปด้วย C 0.1 uF และตัวต้านทาน 4.7 k สัญญาณที่ได้จะเหลือเฉพาะสัญญาณความถี่ต่ำ ซึ่งมีค่าประมาณ 10 Hz จะถูกส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อนำไปประมวลผลและควบคุมต่อไป

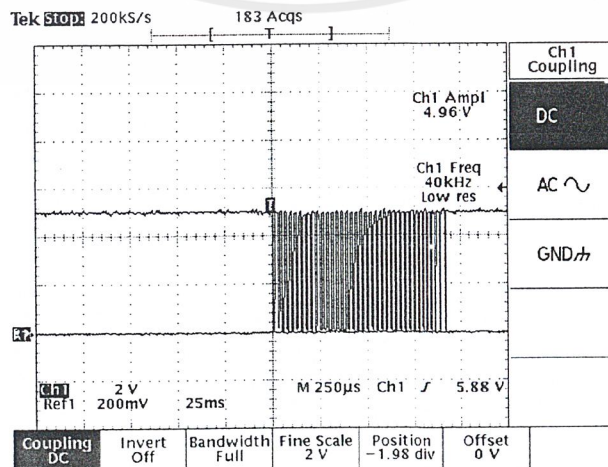
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 แสดงสัญญาณที่จุด F ในรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.9 แสดงสัญญาณที่จุด G ในรูปที่ 3.7

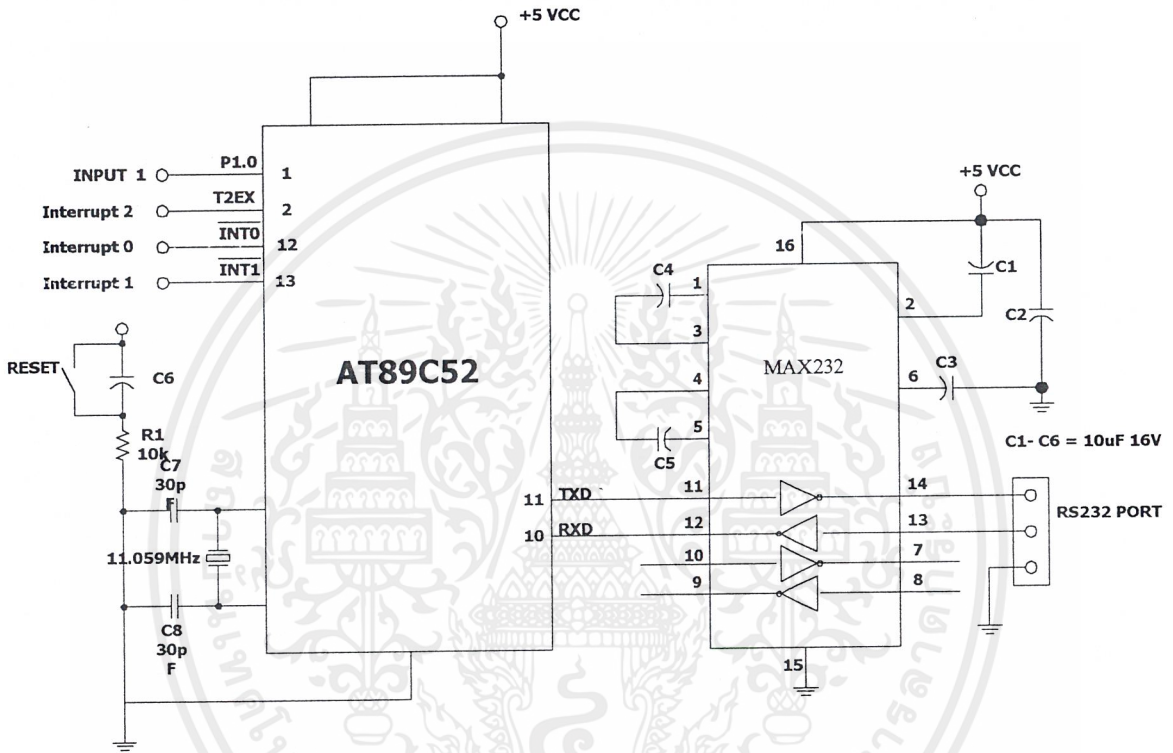


รูปที่ 3.10 แสดงสัญญาณที่จุด H ในรูปที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ข้อมูลนี้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

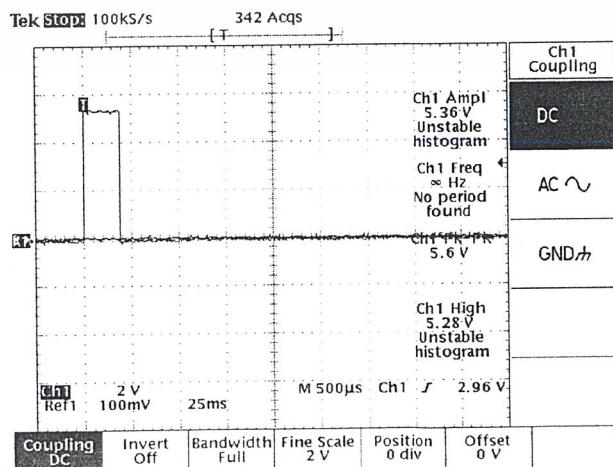
### 3.2.3 วงจรภาคประมวลผล

วงจรในส่วนของภาคประมวลผล จะประกอบไปด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ 8052 เนื่องจากภายในมีไทม์เมอร์ 3 ตัว ซึ่งสามารถใช้กับโครงงานนี้ได้ เพราะจะต้องรับสัญญาณอินเตอร์รัพต์จากวงจรมาถึง 3 จุด ไทม์เมอร์แต่ละตัวจะใช้เป็นตัวนับค่าเวลาระหว่างตัวส่งและตัวรับ 3 ตัว แล้วนำค่าเวลาที่ได้ไปคำนวณ วงจรในส่วนของภาคประมวลผลแสดงดังรูปที่ 3.11

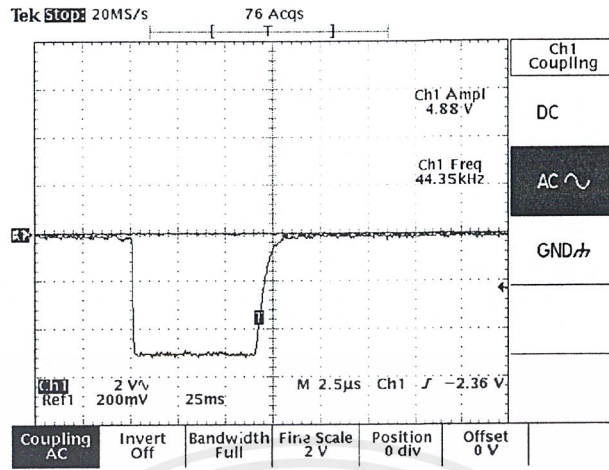


รูปที่ 3.11 วงจรภาคประมวลผล

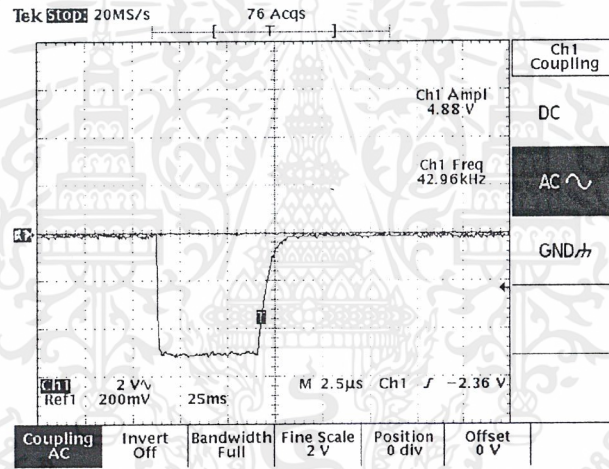
สัญญาณ Interrupt ที่รับเข้ามาทั้ง 3 จุด จะมีระยะเวลาที่ต่างกันซึ่งแสดงดังนี้



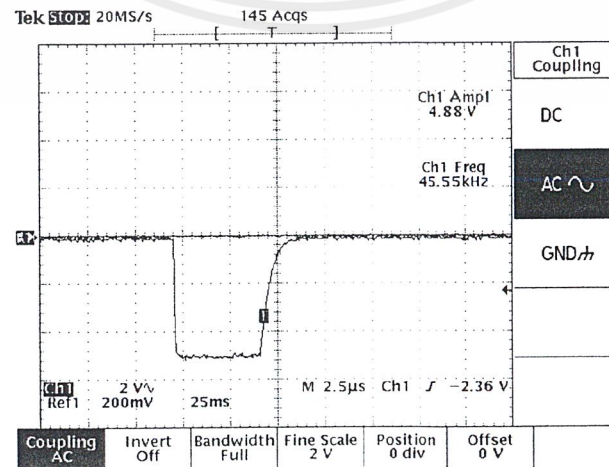
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น **รูปที่ 3.12 แสดงสัญญาณ INPUT ที่เป็นสัญญาณอ้างอิง**



รูปที่ 3.13 แสดงสัญญาณ Interrupt 0



รูปที่ 3.14 แสดงสัญญาณ Interrupt 1

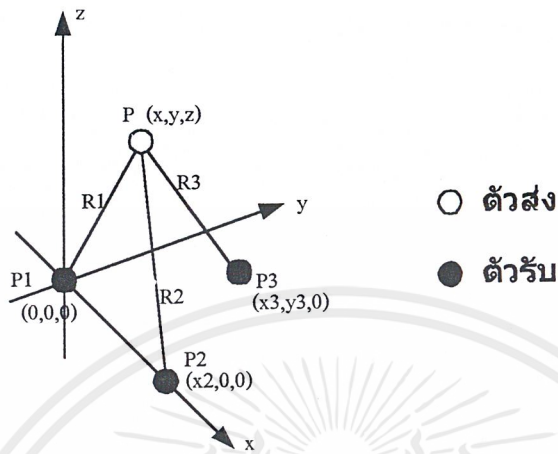


รูปที่ 3.15 แสดงสัญญาณ Interrupt 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2.4 การคำนวณหาพิกัดตำแหน่ง

การคำนวณหาพิกัดตำแหน่ง อาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์ โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้



รูปที่ 3.16 แสดงการวางตำแหน่งของตัวส่งและตัวรับ

สมมติว่าตัวส่งอยู่ที่ตำแหน่ง  $(X, Y, Z)$  และเราทำการวางตำแหน่งของตัวรับทั้ง 3 ตัวตามจุดดังรูป เมื่อส่งสัญญาณอัลตราโซนิกจากตัวส่งไปยังตัวรับทั้ง 3 ตัว ระยะเวลาที่คลื่นเดินทางระหว่างตัวส่งกับตัวรับ จะเก็บไว้ในไทม์เมอร์และส่งไปให้คอมพิวเตอร์คำนวณผ่านพอร์ตอนุกรม

สัญญาณจากภาคส่งคลื่นจะมีลักษณะเป็นพัลส์ช่วงสั้นๆ ป้อนให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยโปรแกรมจะตรวจจับขอบขาขึ้นของสัญญาณ เพื่อเป็นจุดเริ่มต้นการนับและให้ไทม์เมอร์ 3 ตัวเริ่มนับในเวลาพร้อมๆ กัน

ส่วนของภาครับคลื่น เมื่อได้รับคลื่นจากภาคส่งแล้ว จะให้สัญญาณออกมาเป็นพัลส์ช่วงสั้นๆ ซึ่งใช้เป็นสัญญาณ อินเตอร์รัพต์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ หากตัวรับที่จุดใดได้รับคลื่นก่อน ก็จะส่งสัญญาณอินเตอร์รัพต์มาเพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งหยุดการนับของไทม์เมอร์ที่ละตัวตามจุดที่กำหนดไว้จนครบทั้ง 3 จุด ค่าเวลาที่นับได้ทั้ง 3 ค่าดังกล่าวจะเป็นเลขฐาน 16 ต้องทำการแปลงเป็นเลขฐาน 10 เพื่อให้ได้ค่าเวลาในหน่วยไมโครวินาที ค่าเวลานี้จะนำไปคำนวณหาพิกัดตำแหน่งบนระนาบ 3 มิติต่อไป

$$\text{จากสูตร} \quad s = vt \quad (\text{m})$$

โดยที่  $v = 331.45 \text{ m/s}$

ค่า  $s$  ที่ได้เป็นระยะทางระหว่างตัวส่งกับตัวรับแต่ละตัว ซึ่งก็คือค่า  $R_1, R_2, R_3$  ในรูปที่ 3.16

สำหรับสูตรในการคำนวณมีวิธีการหาดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากระยะทางที่วัดได้จาก P1, P2, และ P3 เราสามารถหาสมการได้ดังนี้

$$X^2 + Y^2 + Z^2 = R1^2 \tag{1}$$

$$(X-X2)^2 + Y^2 + Z^2 = R2^2 \tag{2}$$

$$(X-X3)^2 + (Y-Y3)^2 + Z^2 = R3^2 \tag{3}$$

จาก (1)  $Y^2 + Z^2 = R1^2 - X^2 \tag{4}$

แทนค่าสมการ (4) ลงในสมการ (2)

$$(X-X2)^2 + R1^2 - X^2 = R2^2$$

~~$$X^2 - 2*X*X2 + X2^2 + R1^2 - X^2 = R2^2$$~~

$$2*X*X2 = X2^2 + R1^2 - R2^2$$

ดังนั้นสามารถหาค่า X ได้จาก

$$X = \frac{X2^2 + R1^2 - R2^2}{2*X2} \tag{5}$$

จาก (3) ทำการกระจายได้

$$X^2 - 2*X*X3 + X3^2 + Y^2 - 2*Y*Y3 + Y3^2 + Z^2 = R3^2 \tag{6}$$

จัดสมการที่ (6) ใหม่ได้ดังนี้

$$X^2 + Y^2 + Z^2 - 2(X*X3 + Y*Y3) + X3^2 + Y3^2 = R3^2$$

แทนค่า  $X^2 + Y^2 + Z^2$  ด้วย  $R1^2$  จะได้

$$R1^2 - 2(X*X3 + Y*Y3) + X3^2 + Y3^2 = R3^2$$

$$R1^2 - R3^2 + X3^2 + Y3^2 - 2*X*X3 = 2*Y*Y3$$

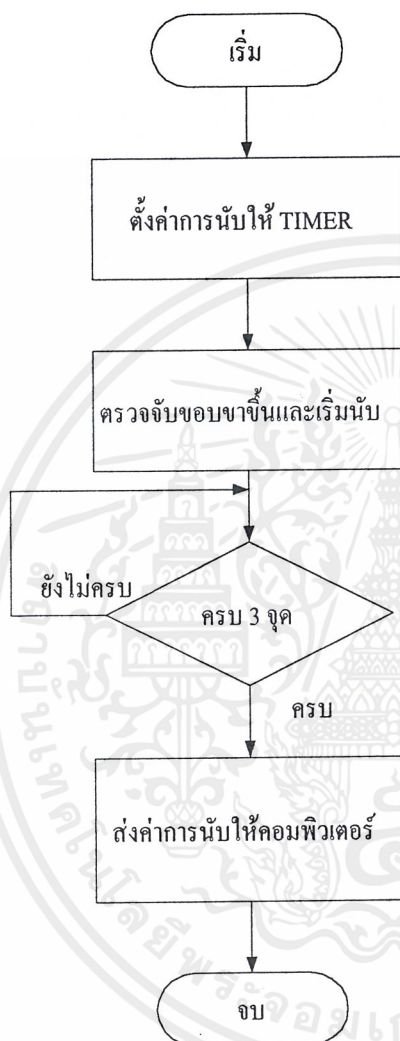
หาค่า Y ได้จาก

$$Y = \frac{R1^2 - R3^2 + X3^2 + Y3^2 - 2*X*X3}{2*Y3}$$

จาก (1) สามารถหาค่า Z ได้ดังนี้

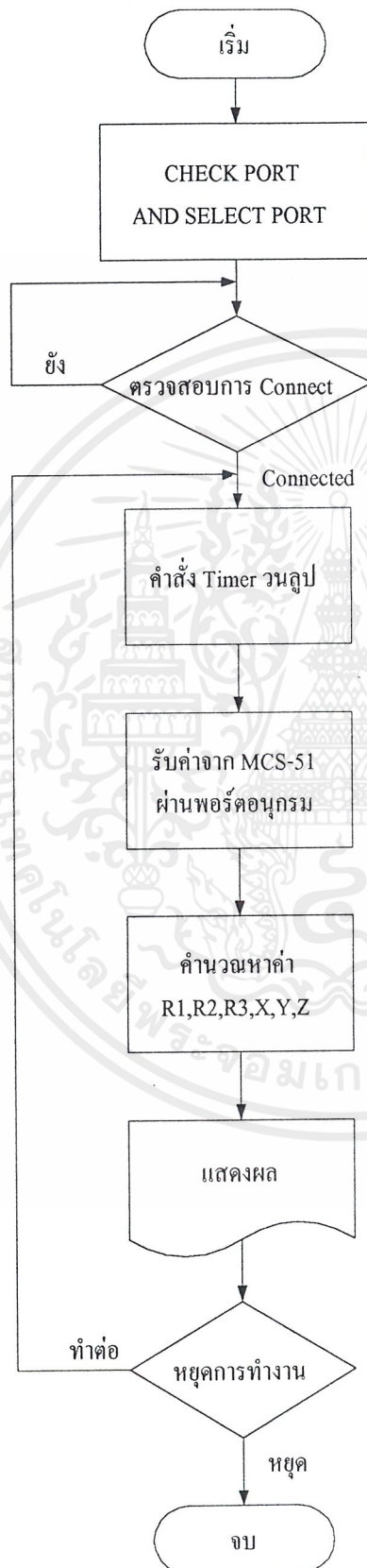
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัด  $Z = \sqrt{(R1^2 - X^2 - Y^2)}$  ออกจากเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## FLOWCHART แสดงการทำงานของโปรแกรมภายใน MCS-51



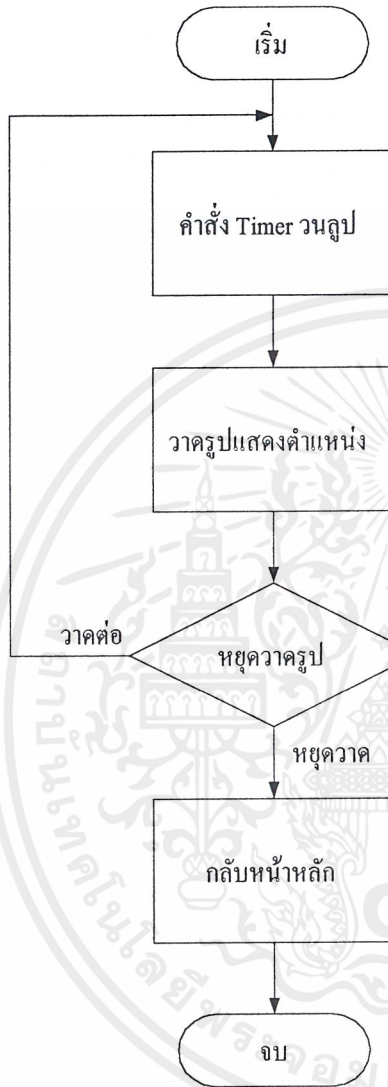
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FLOWCHART แสดงการทำงานของโปรแกรมคำนวณของ Visaul Basic (Form 1)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FLOWCHART แสดงการทำงานของโปรแกรมคำนวณของ Visaul Basic (Form 2)

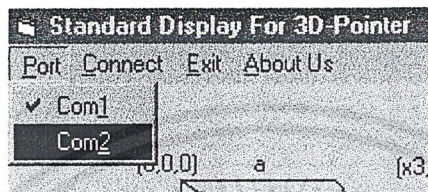


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

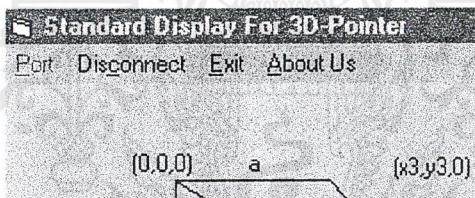
### คู่มือการใช้งานโปรแกรมแสดงผลของ 3D-POINTER

1. เมื่อเข้าโปรแกรมแล้ว ให้ทำการเลือกพอร์ต ดังรูปที่ 4.1



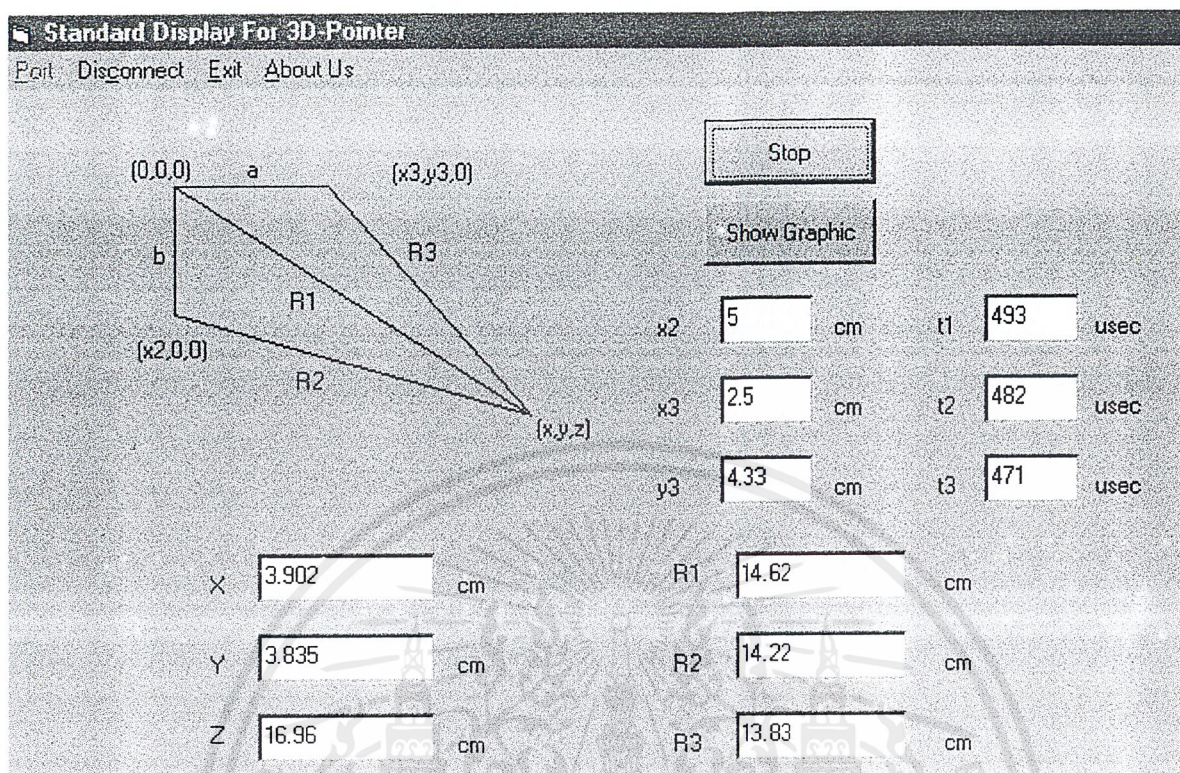
รูปที่ 4.1 แสดงการเลือกพอร์ต

2. ทำการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ กับ RS-232 โดยกดปุ่ม Connect แล้วถ้าปุ่มเปลี่ยนเป็น Disconnect แล้ว แสดงว่า การเชื่อมต่อได้กระทำแล้ว เมื่อเลือกแล้วจะไม่สามารถเปลี่ยนพอร์ตได้ ดังรูป 4.2



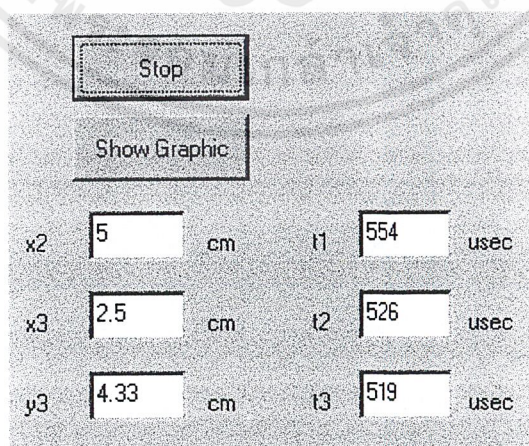
รูปที่ 4.2 แสดงการเลือกปุ่ม Connect

3. ทำการกดปุ่ม Start เพื่อให้โปรแกรมเริ่มทำงาน จะมีการแสดงผล ดังรูป โดยที่เมื่อกดปุ่มนี้จะ ได้ผลของตำแหน่งพอยต์เตอร์ซึ่งจะแสดงค่าออกมาทั้งค่าเวลาใน Timer ทั้ง 3 ตัว หรือค่าของ ระยะทางที่พอยต์เตอร์ห่างจากตัวรับ และค่าของระยะทางเมื่อนำมาแปลงพิกัดเป็น X,Y,Z แล้ว โดยปุ่ม Show Graphic ปรากฏออกมาหลังจากนี้ ซึ่งจะสามารถเปลี่ยนหน้าจอแสดงผลไปยัง หน้าจอของการแสดงผลแบบกราฟิกได้



รูปที่ 4.3 แสดงการเลือกปุ่ม Start

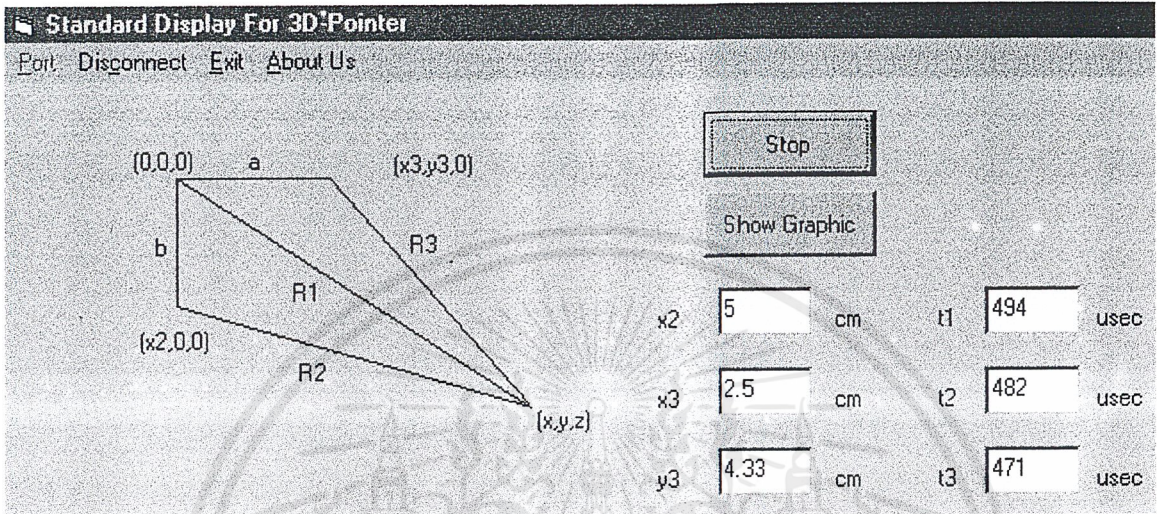
4. ถ้าต้องการให้หยุดการทำงาน เพื่อที่จะดูตำแหน่งของพอยต์เตอร์ในขณะนั้น ให้ทำการกดปุ่ม Stop เพื่อให้แสดงค่าตำแหน่งของพอยต์เตอร์ครั้งที่ ดังรูป



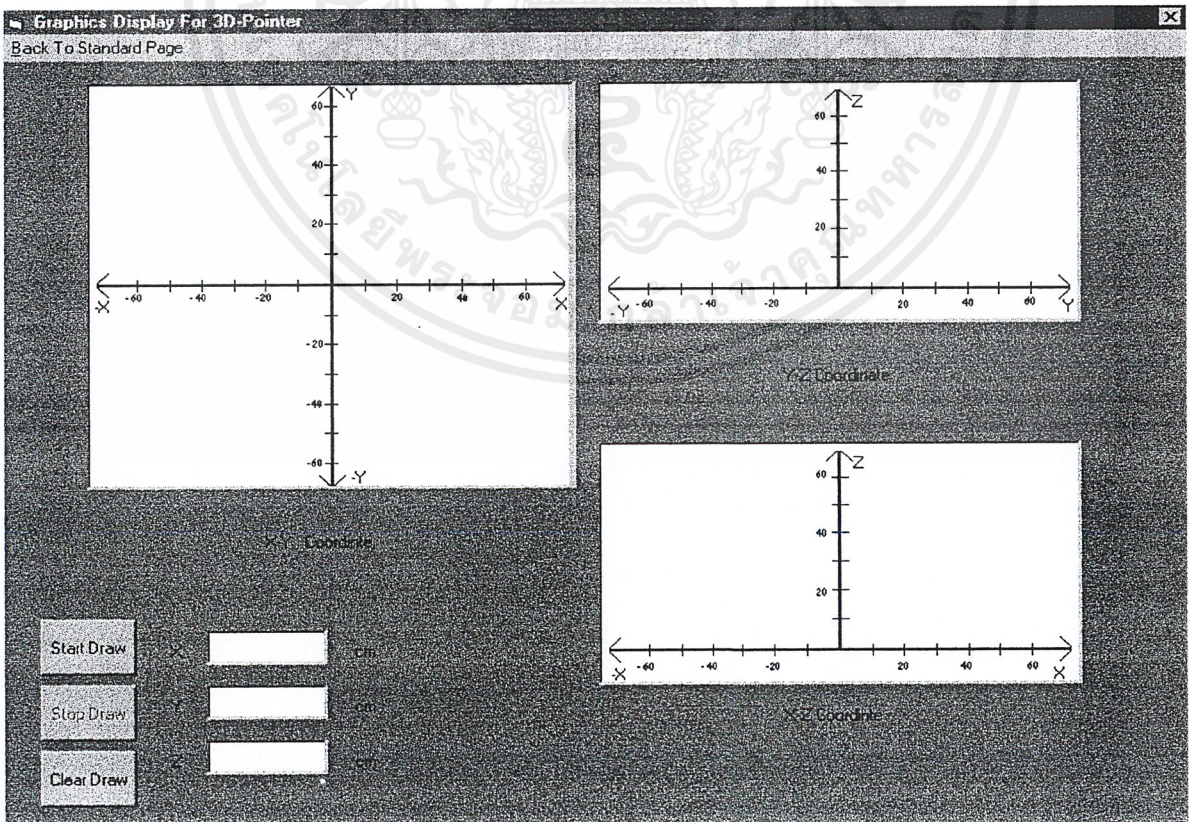
รูปที่ 4.4 แสดงการเลือกปุ่ม Stop

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ถ้าต้องการให้แสดงผลเป็นรูปภาพ ตำแหน่งของพอยต์เตอร์ในขณะนั้น เมื่อเทียบกับพิกัด X-Y, X-Z และ Y-Z ให้ทำการกดปุ่ม Show Graphic แล้วโปรแกรมจะแสดงหน้าจอรูปภาพ ให้เห็น ดังรูป 4.5a และ 4.5b ตามลำดับ



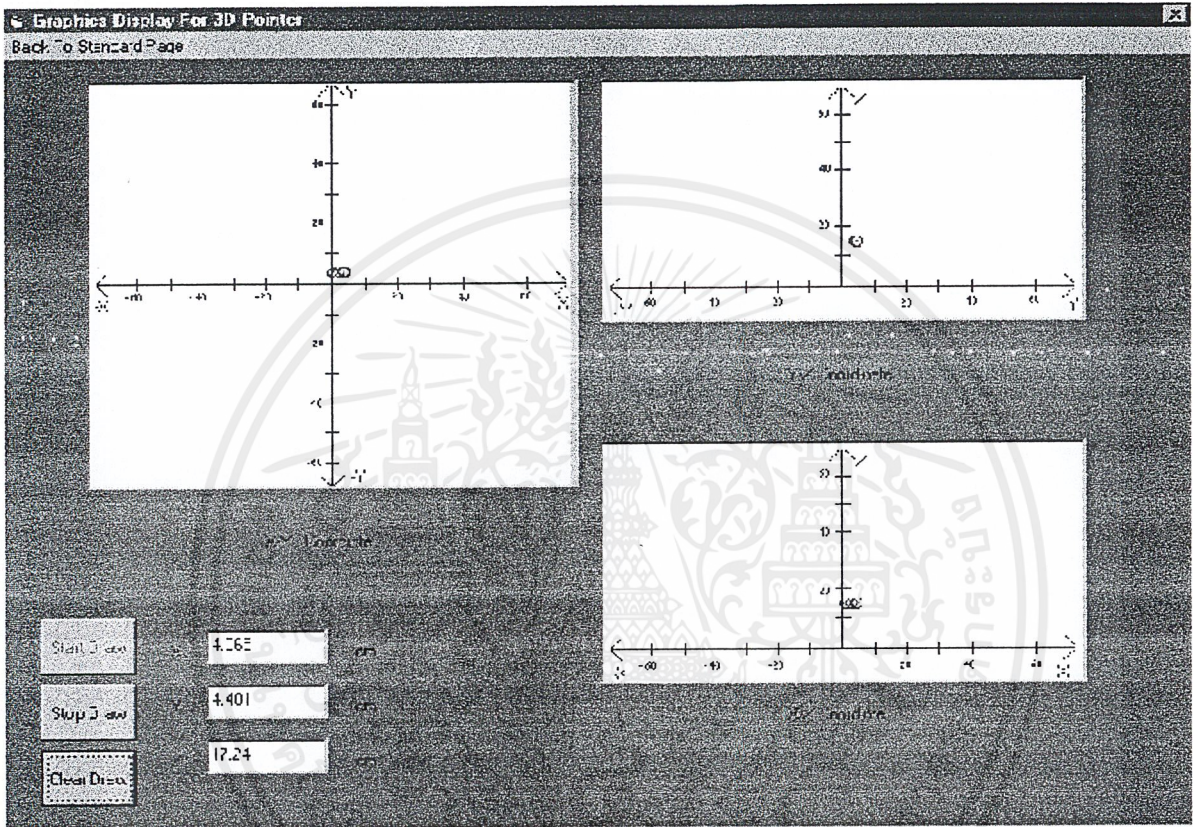
รูปที่ 4.5a แสดงการเลือกปุ่ม Show Graphic



รูปที่ 4.5b แสดงหน้าจอ Graphics Display

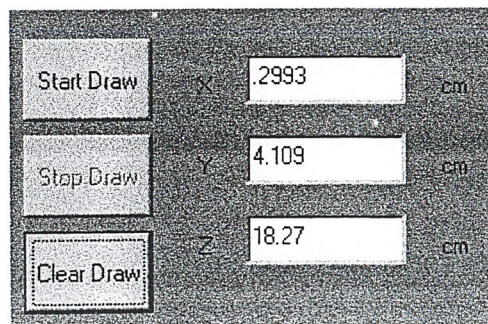
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาตและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.เมื่อเข้ามาในหน้าต่างของ Graphics Display แล้ว ให้เริ่มแสดงตำแหน่งโดยการกดปุ่ม Start Draw จะได้ตำแหน่งของพอยต์เตอร์ออกมา ดังรูป



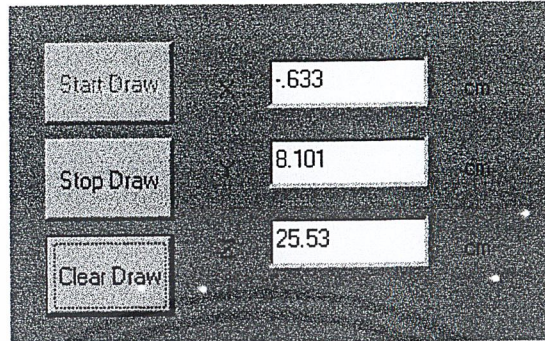
รูปที่ 4.6 แสดงการวาดพิกัดตำแหน่งต่างๆ

7.ในกรณีที่รูปภาพซ้อนกันมากเกินไป ต้องการจะลบตำแหน่งที่วาดไปแล้วออกให้กดปุ่ม Clear Draw ดังรูป



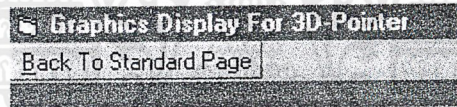
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.7 แสดงตำแหน่ง Clear Draw  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ถ้าต้องการจะหยุดการแสดงผลให้กดปุ่ม Stop Draw



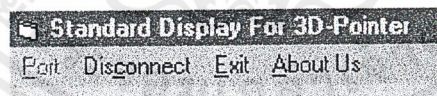
รูปที่ 4.8 แสดงการกด Stop Draw

5. ถ้าต้องการจะกลับไปหน้าจอ Standard Display ให้ทำการกดปุ่ม Back To Standard Page ที่ menu bar



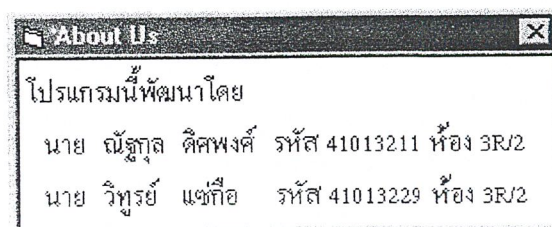
รูปที่ 4.9 แสดงเมนู Back To Standard Page

6. หลังจากกลับมาหน้าจอปกติแล้ว ถ้าต้องการออกจากโปรแกรมให้กดปุ่ม Exit บน menu bar



รูปที่ 4.10 แสดงเมนู Exit

11. ปุ่ม About Us เป็นปุ่ม แสดงข้อมูลของผู้เขียน โปรแกรม จะแสดงผลดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.11 แสดงผลการกดเมนู About us

## บทที่ 5

### ผลการทดลอง

#### ผลการทดลอง

ผลการทดลองจะแบ่งเป็น 3 ส่วนคือ

- ตารางที่ 5.1 ทดสอบวัดค่าตำแหน่งจากระยะต่างๆเพื่อให้เห็นว่าวัดได้จริง
- ตารางที่ 5.2 วัดระยะทางเทียบกับระยะทางจริงที่วัดเทียบ โดยใช้ตลับเมตรเพื่อหาค่าผิดพลาด
- ตารางที่ 5.3 วัดทดสอบหาความละเอียดในการวัด

ในส่วนนี้ได้ทำการทดลองวัดระยะทางค่าเมื่อพอยต์เตอร์อยู่ตำแหน่งต่างๆดังนี้

โดยจะแสดงค่าเวลาที่วัดได้มีค่าระยะจากตัวส่งถึงตัวรับและพิกัดที่แปลงค่าจากโปรแกรมแล้ว

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองวัดค่า ณ ที่พอยต์เตอร์ตำแหน่งต่างๆ

ครั้งที่ ของการวัด	ค่าเวลา Usec			ค่าระยะทางจากตัวส่ง cm			ค่าระยะทางพิกัด 3 มิติ cm		
	Timer 1	Timer 2	Timer 3	ระยะ R1	ระยะ R2	ระยะ R3	ระยะ แกน X	ระยะ แกน Y	ระยะ แกน Z
1	356	301	354	9.672	7.683	9.599	7.224	-1.07	10.60
2	669	604	601	20.98	18.63	18.53	13.31	8.235	18.43
3	524	559	641	15.74	17.01	19.97	-2.45	-16.2	9.387
4	488	528	471	14.44	15.89	13.83	-2.81	6.972	15.96
5	664	581	545	20.80	17.80	16.50	16.01	15.36	9.169
6	774	717	772	24.78	22.72	24.71	13.61	-4.50	24.03
7	772	747	709	22.90	23.81	22.43	-2.30	7.024	25.03
8	1003	1069	1028	33.06	35.45	33.97	-15.3	4.100	32.58
9	1111	1166	1187	36.97	38.96	39.71	-13.8	-15.4	34.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองวัดระยะเทียบระยะจริงเพื่อหาค่าผิดพลาด

โดยในส่วนนี้จะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างการวัดโดยผ่านโปรแกรมคำนวณกับใช้ตลับเมตรเพื่อหาระยะทางระหว่างตัวส่งกับตัวรับ

ครั้งที่	ค่าจริง (cm)			ค่าคำนวณ (cm)			ค่าผิดพลาด (%)		
	ระยะ R1	ระยะ R2	ระยะ R3	ระยะ R1	ระยะ R2	ระยะ R3	R1	R2	R3
1	16	16	15	19.23	19.52	18.1	20	22	20.6
2	24.5	26	24	27.78	29.21	27.23	13.38	12.34	13.45
3	20	19.8	19	23.18	22.14	22.00	15.9	10.56	15.78
4	11.2	12.6	14	14.52	15.39	17.21	29.6	22.14	22.9
5	32	35	40.5	35.21	38.11	42.23	10	8.88	4

\* ค่าระยะทางที่วัดได้จะมีค่าที่คลาดเคลื่อนไปจากระยะจริงประมาณ 3 เซนติเมตรตลอดทุกระยะ อันเนื่องมาจากระยะที่แท้จริงของตัวส่งกับตัวรับจะไม่ใช่ระยะที่วัดจากตัว Body ของตัวส่งกับตัวรับ แต่จะต้องวัดจากตัวกำเนิดสัญญาณภายในตัวส่งกับ ภายในของตัวรับ ดังนั้นค่าที่วัดจริงกับค่าที่คำนวณจึงมีความผิดพลาดดังตาราง ซึ่งภายในโปรแกรมการคำนวณหาพิกัด ได้ชดเชยค่าผิดพลาดดังกล่าวให้ถูกต้องแล้ว

## บทที่ 6

### สรุปและวิจารณ์

#### สรุปและวิจารณ์

การออกแบบเครื่องแสดงตำแหน่ง 3 มิติ สามารถทำได้หลายแบบและเลือกอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้แทน ตัวรับ-ส่งแบบอัลตราโซนิกก็มีหลายชนิด ซึ่งสาเหตุที่เลือกใช้อัลตราโซนิกก็เพราะสามารถหาซื้อได้ง่ายกว่าในบ้านเราและการนำมาใช้งานก็สามารถทำได้ง่ายกว่าการเลือกใช้อุปกรณ์อื่น เช่น อินฟราเรด อีกทั้งการวางตำแหน่งของตัวรับกับตัวส่ง ซึ่งที่ผู้จัดทำได้ลองออกแบบคู่มือเป็นทางเลือกหนึ่งเท่านั้น ซึ่งโปรแกรมการทำงานและประมวลผลก็ออกแบบมาเฉพาะ ทำให้ต้องเปลี่ยนวงจรก็มี ต่อแล้วใช้ไม่ได้ก็มี โดยจะแยกสรุปเป็นส่วนๆ ดังนี้

#### 6.1 โปรแกรมการทำงานและเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

โปรแกรมส่วนจะใช้ Visual Basic 6.0 เป็นตัวควบคุมซึ่งการคำนวณระยะทางและเปลี่ยนแกนมาเป็นระนาบ 3 มิติจะอยู่ในนี้เพราะว่าคอมพิวเตอร์ทำงานได้เร็วและง่ายกว่าการใช้ MCS-51 ทำงานซึ่งจะช้ากว่ามากๆ ซึ่งส่วนนี้นับว่ายากเพราะต้องเข้าใจถึงการเชื่อมต่อระหว่างตัวไมโครโปรเซสเซอร์กับคอมพิวเตอร์จึงจะสามารถเขียนโปรแกรมได้ถูกต้อง

#### 6.2 ภาคส่ง

ภาคส่งนี้มีขนาดเล็กและวงจรไม่ได้ซับซ้อนทำให้การแก้ไข และการปรับจูนความถี่ที่จะทำการส่งทำได้โดยสะดวก โดยการเลือกตัวส่งที่ดี ก็จะทำให้สามารถทำการส่งได้เป็นไปตามที่ต้องการ แต่ก็มีปัญหาในช่วงแรกๆก็คือเมื่อตอนที่ยังไม่ได้ทำแผ่นปริ้นซ์ แต่จะใช้โปรโตบอร์ดต่อวงจรแทนนั้นจะประสบกับปัญหาเรื่องน้อยสั แต่เมื่อใช้แผ่นปริ้นซ์ปัญหาดังกล่าวก็หมดไป

#### 6.3 ภาครับและประมวลผล

ในส่วนนี้ไม่พบว่ามีปัญหาแต่ประการใด การเชื่อมต่อระหว่างภาคส่ง และภาครับ ต่างก็ทำงานร่วมกันได้เป็นอย่างดี สามารถแยกแยะนำสัญญาณจากภาครับ ไปประมวลผลและการรอสัญญาณที่เป็นฐานเวลาจากภาคส่งมายังส่วนประมวลผลเพื่อคำนวณระยะทางและความคุมภาคประมวลผลก็ทำงานได้เป็นอย่างดี การคำนวณค่าและส่งไปประมวลผลที่คอมพิวเตอร์ก็ทำงานได้เป็นอย่างดีและถูกต้อง เนื่องจากในภาคนี้มี 2 ส่วนคือ จะแยกสรุปดังนี้

ภาครับ จะมีปัญหามากในเรื่องของสัญญาณจากภาคส่งและสัญญาณความถี่ต่ำเข้ามารบกวนทำให้เมื่อตัวรับอยู่ห่างจากตัวส่งระยะหนึ่ง สัญญาณรบกวนข้างต้นจะมีค่ามากกว่าสัญญาณจากตัวส่งทำให้ไม่สามารถใช้งานได้ ดังนั้นในการออกแบบวงจรจึงต้องออกแบบให้สัญญาณรบกวนเข้ามาได้น้อยที่สุดเพื่อว่าเมื่อตัวส่งอยู่ไกล ตัวรับและภาครับยังสามารถแยกแยะสัญญาณได้ถูกต้อง ซึ่งเมื่อทำปริ้นซ์แล้วปัญหาดังกล่าวก็คลี่คลายจนน่าพอใจจนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประมวลผลที่สำคัญก็คือโปรแกรมการคำนวณ โดยเมื่อภาครับได้รับสัญญาณก็จะส่งไปคำนวณหาผลต่างของเวลาจากนั้นจึงนำค่าของเวลาที่ได้ไปส่งให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลต่อไป ซึ่งการเขียนโปรแกรมก็ยากพอสมควรกว่าจะเสร็จออกมาได้

#### 6.4 ส่วนของการแสดงผลโดยใช้ Visual Basic 6.0

ในส่วนนี้จะนำค่าที่ได้จากไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มาคำนวณและแสดงผล โดยได้ทำเป็น 2 ส่วน ซึ่งส่วนแรกจะแสดงค่าเป็นตัวเลขตามค่าต่างๆและส่วนที่สองคือการแสดงผลโดยนำค่าตัวเลขมาวาดเป็นรูปโดยจะแสดงผลตามแกนต่างๆ 3 แกนคือ แกน X-Y, แกน X-Z, แกน Y-Z ซึ่งการแสดงผลส่วนนี้จะทำให้เข้าใจได้ง่ายกว่าพิกัดของตัวพอยต์เตอร์นั้นอยู่ตรงส่วนใดในระนาบแกนนั้นจริงๆ

#### 6.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 15-30 พฤศจิกายน 2543 : แกะและออกแบบ PCB ใหม่จากเทอมที่แล้ว
- 1-20 ธันวาคม 2543 : ทดลองโปรแกรมบน MCS-51 เพื่อติดต่อกับคอมพิวเตอร์
- 21-30 ธันวาคม 2543 : ค้นคว้าหาวิธีและโปรแกรมที่นำมาแสดงผล
- 5-30 มกราคม 2544 : ศึกษาและทดลองเขียนโปรแกรม Visual Basic
- 1-30 กุมภาพันธ์ 2544 : พิมพ์รายงานเพิ่มเติมและเขียนโปรแกรมใช้งานจริง
- 1-15 มีนาคม 2544 : นำฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์มาประยุกต์ใช้ร่วมกันและทดสอบประสิทธิภาพ

#### 6.6 สรุปคุณสมบัติของ 3D-Pointer

อัตราการประมวลผลค่าตำแหน่ง ประมาณ 2 ครั้งต่อ 1 วินาที

ความละเอียดในการวัดระยะทาง ประมาณ 2-5 มิลลิเมตร

ความละเอียดในการจับเวลาอันเนื่องมาจากระยะห่างของตัวส่งกับตัวรับ ประมาณ 5 Usec

ระยะที่วัดได้ไกลที่สุด ประมาณ 3-5 เซนติเมตร (ถ้าไกลกว่านี้จะเกิดค่าผิดพลาดจากโปรแกรม)

ระยะที่วัดได้ไกลที่สุด การใช้งานปรกติกับพอยต์เตอร์ 3 มิติจะแสดงผลได้ที่ไม่เกิน 70 เซนติเมตรจากตัวรับ (หน้าจอแสดงผลจำกัดแค่นั้น)

ค่าผิดพลาด จะมีค่าในประมาณ 3 เซนติเมตร กับระยะการใช้งานปรกติทุกระยะ (อันเนื่องมาจากระยะของตัวส่งและรับกับวัสดุกำเนิดเสียงและวัสดุรับเสียงเอง)

#### 6.7 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองวัดระยะทางและคำนวณหาพิกัดตำแหน่ง ค่าระยะระหว่างตัวส่งและตัวรับทั้ง 3 ตัวสามารถที่จะวัดได้อย่างถูกต้อง โดยมีค่าคลาดเคลื่อนประมาณ 2 เซนติเมตร คงที่ ค่าการนับของ Timer สามารถส่งให้กับคอมพิวเตอร์ได้อย่างถูกต้อง

ส่วนการคำนวณเพื่อหาพิกัดตำแหน่ง ยังไม่มีความแน่นอนมากนัก เนื่องจากค่าที่ส่งมาจาก MCS-51 มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา และ ค่าการนับมีค่าไม่คงที่ อีกทั้งเกิดสัญญาณรบกวนการทำงานของวงจร ซึ่งมีส่วนทำให้การวัดระยะผิดพลาด ทำให้ตำแหน่งที่คำนวณได้ผิดพลาดไปด้วย อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิติกรรมประกาศ

โครงการนี้จะไม่สามารถสำเร็จออกมาได้ หากไม่ได้ความร่วมมือกันทำงานของเหล่าผู้ร่วมงานทุกคน แม้ว่าจะมีบางเวลาที่อ่อนล้า บางเวลาที่รู้สึกท้อแท้ แต่ก็มีผู้ที่ให้กำลังใจและผู้ให้ความช่วยเหลืออยู่ทั้งเบื้องหน้าและเบื้องหลัง ขอขอบคุณเหล่าเพื่อนพ้อง ขอขอบคุณอาจารย์เทอดศักดิ์ที่ให้คำชี้แนะและคำปรึกษาในการทำงานเป็นอย่างดี ขอขอบคุณทุกๆคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือยามจับขันด้วยดีตลอดมา ขอขอบคุณเพื่อนร่วมงานทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือ รวมไปถึงนายสิทธิชัยที่ได้ให้การช่วยเหลือเป็นอย่างมาก ในด้านการเขียนโปรแกรมและที่สำคัญมากที่สุดคือคุณพ่อ คุณแม่ที่พวกเราเคารพรักและทำให้มีพวกเราในวันนี้ สำหรับคำชมผู้จัดทำขอน้อมรับไว้ด้วยใจถ้ามีข้อผิดพลาดประการใดทางผู้จัดทำต้องขออภัยมา ณ.ที่นี้ด้วย

นาย สันติกร ตัดพวง

( นายณัฐกุล ศิษพงษ์ )

นาย สิทธิชัย แซ่ก๊อ

( นายวิฑูรย์ แซ่ก๊อ )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- 1.) "เข้าใจ/สร้าง/เล่น ไมโครโปรเซสเซอร์ 1", บริษัท ซีอีคยูเคชั่น จำกัด (มหาชน) กรุงเทพฯ , 2538
- 2.) "คู่มือ ไอซี ไมโครโปรเซสเซอร์ MCS-51 ",บริษัท อีทีที จำกัด กรุงเทพฯ , 2542
- 3.) ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล และ วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล,"เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์", บริษัทอินเวตีฟ เอกซ์เพอริเมนต์ จำกัด กรุงเทพฯ,



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก

### 5.1) รายการอุปกรณ์

#### 1.) IC

1.1	เบอร์	4049	1	ตัว
1.2	เบอร์	4093	1	ตัว
1.3	เบอร์	LM339	2	ตัว
1.4	เบอร์	LM353	3	ตัว
1.5	MCS-51	เบอร์ 89C52	1	ตัว
1.6	Regulator	เบอร์ 7812	2	ตัว
1.7	Regulator	เบอร์ 7805	1	ตัว

#### 2.)Diode

2.1	เบอร์	1N4148	1	ตัว
2.2	เบอร์	1N1004	8	ตัว

#### 3.)Resister ( 5% , ¼ W )

3.1	220 Ω	1	ตัว
3.2	680 Ω	1	ตัว
3.3	2.2 KΩ	3	ตัว
3.4	4.7 KΩ	3	ตัว
3.5	5 KΩ	3	ตัว
3.6	10 KΩ	6	ตัว
3.7	100 KΩ	2	ตัว
3.8	470 KΩ	2	ตัว

#### 4.)VR แบบ Trimrod

4.1	10 KΩ	1	ตัว
4.2	100 KΩ	1	ตัว
4.3	500 KΩ	3	ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.) Capaciter

-ไม่มีขั้ว

5.1	47 $\mu\text{f}$	2	ตัว
5.2	0.22 $\mu\text{f}$	4	ตัว
5.3	0.1 $\mu\text{f}$	2	ตัว
5.4	27 nf	1	ตัว
5.5	47 nf	2	ตัว
5.6	15 pf	1	ตัว
5.7	33 pf	1	ตัว

-มีขั้ว

5.8	1000 $\mu\text{f}/ 50\text{v}$	2	ตัว
-----	--------------------------------	---	-----

## 6.) อุปกรณ์อื่นๆ

6.1	Crystal 12 MHz	1	ตัว
6.2	ตัวรับ-ตัวส่ง Ultrasonic	3	ชุด
6.3	Connecter 2 pin	1	คู่
6.4	Connecter 7 pin	1	คู่
6.5	ชุดต่อ Serial Port	1	ชุด
6.6	แผ่นพลาสติกใสทำฐานรอง	1	อัน
6.7	น็อตและแหวนรองครบชุด	1	ชุด
6.8	ปริ้นท์เอนกประสงค์และที่มีลายวงจรแล้ว	1	ชุด

## 5.2) DATASHEET

DATASHEET MCS-51

DATASHEET LM 393

DATASHEET CD4046

DATASHEET CD4093

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ง. รายละเอียดของ MSC-51



## 8031AH/8051AH SINGLE-COMPONENT 8-BIT MICROCOMPUTER

- 8031AH — Control-Oriented CPU with RAM and I/O
- 8051AH — An 8031AH with Factory Mask-Programmable ROM
- Fabricated with Intel's HMOS II Process
- 4K × 8 ROM (8051AH only)
- 128 × 8 RAM
- 32 I/O Lines (Four 8-Bit Ports)
- Two 16-Bit Timer/Counters
- Programmable Full-Duplex Serial Channel
- 128K Accessible External Memory
- Boolean Processor
- 4 μs Multiply and Divide
- 218 User Bit-Addressable Locations
- 100 mA Typical Supply Current

The 8031AH/8051AH is Intel's HMOS II version of the high performance 8-bit 8031/8051 microcomputer. While the 8031AH/8051AH features the same powerful architecture and instruction set as its HMOS I predecessor, it offers the additional benefit of lower power supply current.

The 8031AH/8051AH provides a cost-effective solution for those controller applications requiring up to 64K bytes of program and/or 64K bytes of data storage. Specifically, the 8031AH contains 128 bytes of read/write data memory; 32 I/O lines configured as four 8-bit parallel ports; two 16-bit timer/counters; a five-source, two-priority level, nested interrupt structure, a programmable serial I/O port; and an on-chip oscillator with clock circuitry. The 8051AH has all of these 8031AH features plus 4K bytes of nonvolatile read only program memory. Both microcomputers can use standard TTL compatible memories and most byte-oriented MCS-80 and MCS-85 peripherals for additional I/O and memory capabilities.

The 8031AH/8051AH microcomputer, characteristic of the entire MCS-51 family, is efficient in both control and computational type applications. This results from extensive BCD/binary arithmetic and bit-handling facilities. The 8031AH/8051AH also makes efficient use of its program memory space with an instruction set consisting of 44% one-byte, 41% two-byte, and 15% three-byte instructions. At 12MHz CPU operation, over half of the instructions execute in just 1.0μs, while the longest instructions, multiply and divide, require only 4μs.

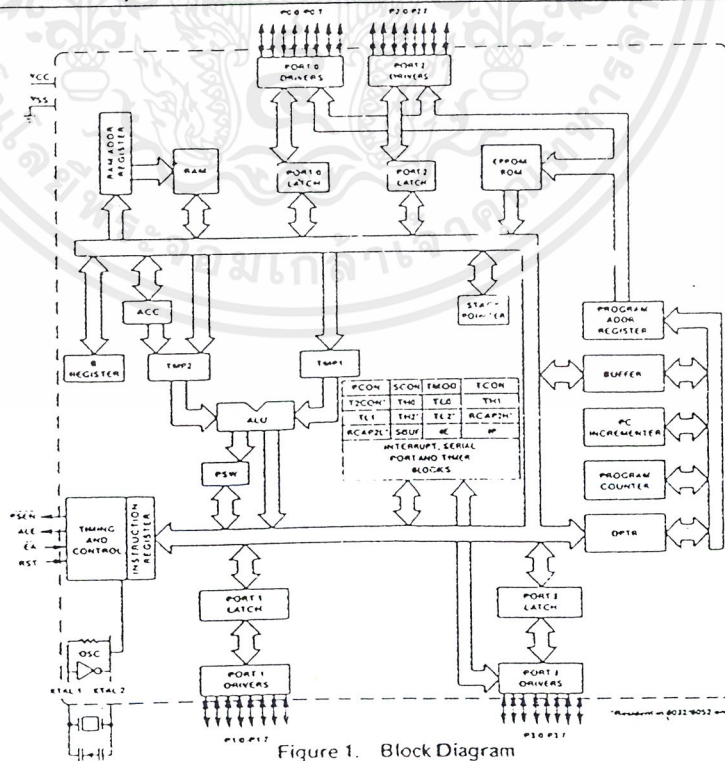


Figure 1. Block Diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8031AH/8051AH PIN DESCRIPTIONS

V<sub>SS</sub>

Circuit ground potential.

V<sub>CC</sub>

5V power supply input for normal operation and program verification.

Port 0

Port 0 is an 8-bit open drain bidirectional I/O port. It is also the multiplexed low-order address and data bus when using external memory. It is used for data output during program verification. Port 0 can sink/source eight LS TTL loads.

Port 1

Port 1 is an 8-bit quasi-bidirectional I/O port. It is also used for the low-order address byte during program verification. Port 1 can sink/source four LS TTL loads.

Port 2

Port 2 is an 8-bit quasi-bidirectional I/O port. It also emits the high-order address byte when accessing external memory. It is used for the high-order address and the control signals during program verification. Port 2 can sink/source four LS TTL loads.

Port 3

Port 3 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. It also serves the functions of various special features of the MCS-51 Family, as listed below.

Port Pin	Alternate Function
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	INT0 (external interrupt)
P3.3	INT1 (external interrupt)
P3.4	T0 (Timer/counter 0 external input)
P3.5	T1 (Timer/counter 1 external input)
P3.6	WR (external Data Memory write strobe)
P3.7	RD (external Data Memory read strobe)

The output latch corresponding to a secondary function must be programmed to a one (1) for that function to operate. Port 3 can sink/source four LS TTL loads.

RST/V<sub>PD</sub>

A high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device. A small external pulldown resistor ( $\approx 8.2k\Omega$ ) from RST/VPD to V<sub>SS</sub> permits power-on reset when a capacitor ( $\approx 10\mu f$ ) is also connected from this pin to V<sub>CC</sub>.

If RST/VPD is held within the V<sub>PD</sub> spec while V<sub>CC</sub> drops below its spec, RST/VPD will provide standby power to the RAM. When RST/VPD is low, the RAM's current is drawn from V<sub>CC</sub>.

ALE

Address Latch Enable output for latching the low byte of the address during accesses to external memory. ALE is activated at a constant rate of 1/6 the oscillator frequency except during an external data memory access at which time one ALE pulse is skipped. ALE can sink/source 8 LS TTL inputs.

PSEN

The Program Store Enable output is a control signal that enables the external Program Memory to the bus during external fetch operations. It is activated every six oscillator periods except during external data memory access. PSEN remains high during internal program execution.

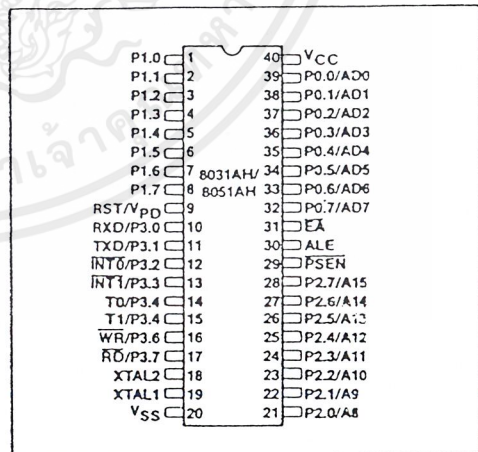


Figure 2. Pin Configuration

 **$\overline{EA}$** 

When held at a TTL high level, the 8051AH executes instructions from the internal ROM when the PC is less than 4096. When held at a TTL low level, the 8031AH/8051AH fetches all instructions from external Program Memory. Do not float  $\overline{EA}$  during normal operation.

**XTAL1**

Input to the inverting amplifier that forms part of the oscillator. This pin should be connected to ground when an external oscillator is used.

**XTAL2**

Output of the inverting amplifier that forms part of the oscillator, and input to the internal clock generator. XTAL2 receives the oscillator signal when an external oscillator is used.

**ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS\***

Ambient Temperature Under Bias	0°C to 70°C
Storage Temperature	-65°C to +150°C
Voltage on Any Pin With Respect to Ground ( $V_{SS}$ )	-0.5V to +7V
Power Dissipation	1 Watt

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

**DC CHARACTERISTICS ( $T_A = 0^\circ\text{C}$  to  $70^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = 4.5\text{V}$  to  $5.5\text{V}$ ,  $V_{SS} = 0\text{V}$ )**

Symbol	Parameter	Min	Max	Unit	Test Conditions
$V_{IL}$	Input Low Voltage	-0.5	0.8	V	
$V_{IH}$	Input High Voltage (Except RST/ $V_{PD}$ and XTAL2)	2.0	$V_{CC} + 0.5$	V	
$V_{IH1}$	Input High Voltage to RST/ $V_{PD}$ For Reset, XTAL2	2.5	$V_{CC} + 0.5$	V	XTAL1 to $V_{SS}$
$V_{PD}$	Power Down Voltage to RST/ $V_{PD}$	4.5	5.5	V	$V_{CC} = 0\text{V}$
$V_{OL}$	Output Low Voltage Ports 1, 2, 3 (Note 1)		0.45	V	$I_{OL} = 1.6\text{mA}$
$V_{OL1}$	Output Low Voltage Port 0, ALE, $\overline{PSEN}$ (Note 1)		0.45	V	$I_{OL} = 3.2\text{mA}$
$V_{OH}$	Output High Voltage Ports 1, 2, 3	2.4		V	$I_{OH} = -80\mu\text{A}$
$V_{OH1}$	Output High Voltage Port 0, ALE, $\overline{PSEN}$	2.4		V	$I_{OH} = -400\mu\text{A}$
$I_{IL}$	Logical 1 Input Current Ports 1, 2, 3		-800	$\mu\text{A}$	$V_{in} = 3.45\text{V}$
$I_{IL2}$	Logical 0 Input Current for XTAL 2		-2.5	mA	XTAL1 = $V_{SS}$ , $V_{in} = 0.45\text{V}$
$I_{LI}$	Input Leakage Current To Port 0, EA		$\pm 10$	$\mu\text{A}$	$0.45\text{V} < V_{in} < V_{CC}$
$I_{IH1}$	Input High Current to RST/ $V_{PD}$ For Reset		50 <sup>n</sup>	$\mu\text{A}$	$V_{in} < V_{CC} - 1.5\text{V}$
$I_{CC}$	Power Supply Current		125	mA	All outputs disconnected
$I_{PD}$	Power Down Current		10	mA	$V_{CC} = 0\text{V}$
$C_{IO}$	Capacitance of I/O Buffer		10	pF	$f_c = 1\text{MHz}$ , $T_A = 25^\circ\text{C}$

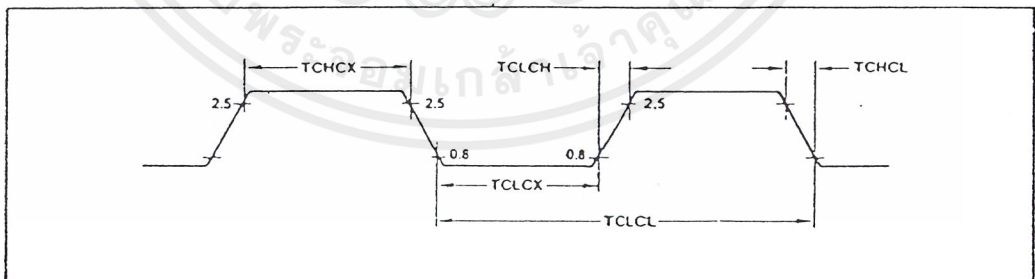
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Note 1: VOL is degraded when the 8031AH/8051AH rapidly discharges external capacitance. This AC noise is most pronounced during emission of address data. When using external memory, locate the latch or buffer as close to the 8031AH/8051AH as possible.

Datum	Emitting Ports	Degraded I/O Lines	VOL (peak) (max)
Address	P2, P0	P1, P3	0.8V
Write Data	P0	P1, P3, ALE	0.8V

EXTERNAL CLOCK DRIVE CHARACTERISTICS (XTAL2)

Symbol	Parameter	Variable Clock freq = 1.2 MHz to 12 MHz		Unit
		Min	Max	
TCLCL	Oscillator Period	83.3	833.3	ns
TCHCX	High Time	20		ns
TCLCX	Low Time	20		ns
TCLCH	Rise Time		20	ns
TCHCL	Fall Time		20	ns



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC CHARACTERISTICS ( $T_A = 0^\circ\text{C}$  to  $70^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = 5V \pm 10\%$ ,  $V_{SS} = 0V$ ,  $C_L$  for Port 0, ALE and  $\overline{\text{PSEN}}$  outputs = 100 pF;  $C_L$  for all other outputs = 80 pF)

**EXTERNAL PROGRAM MEMORY CHARACTERISTICS**

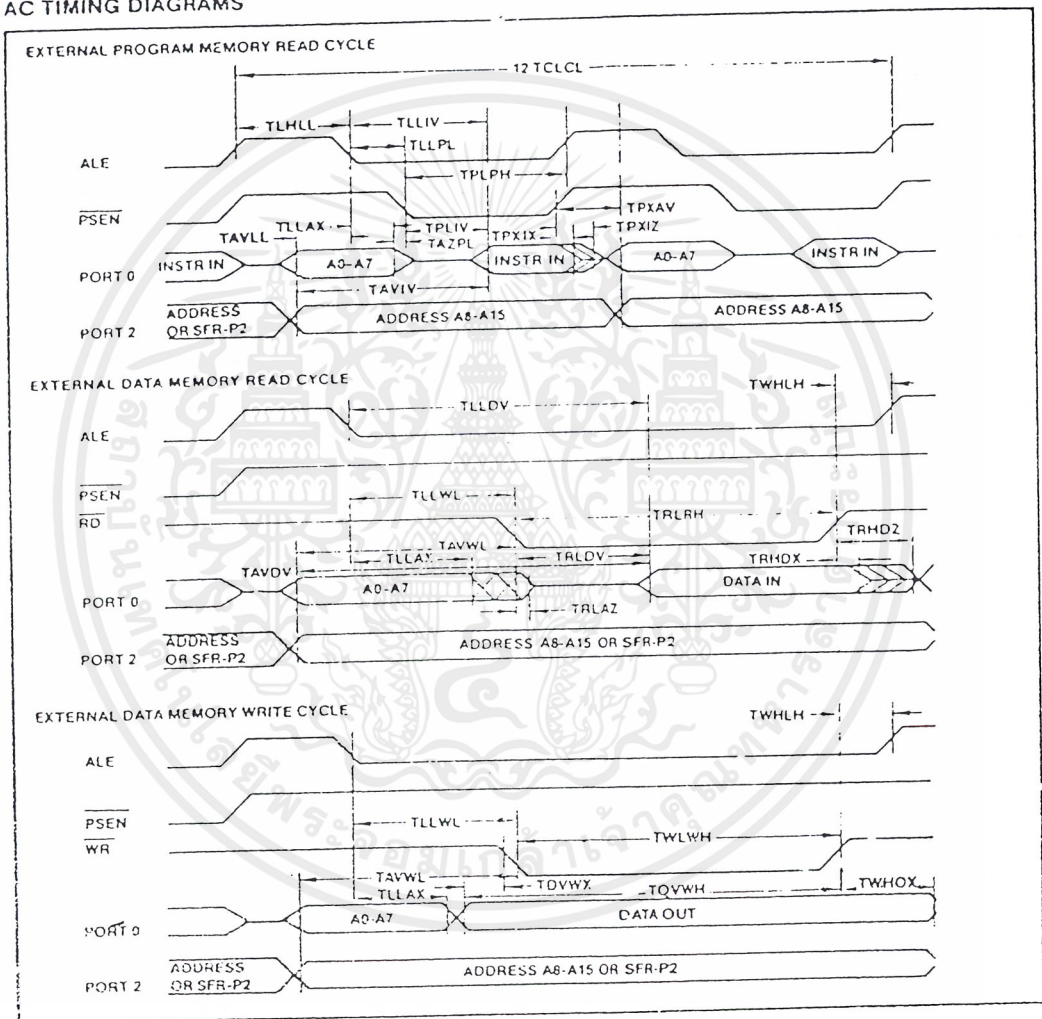
Symbol	Parameter	12 MHz Clock			Variable Clock 1/TCLCL = 1.2 MHz to 12 MHz		
		Min	Max	Unit	Min	Max	Unit
TLHLL	ALE Pulse Width	127		ns	2TCLCL-40		ns
TAVLL	Address Setup to ALE	43		ns	TCLCL-40		ns
TLLAX	Address Hold After ALE	48		ns	TCLCL-35		ns
TLLIV	ALE to Valid Instr In		233	ns		4TCLCL-100	ns
TLLPL	ALE To $\overline{\text{PSEN}}$	59		ns	TCLCL-25		ns
TPLPH	$\overline{\text{PSEN}}$ Pulse Width	215		ns	3TCLCL-35		ns
TPLIV	$\overline{\text{PSEN}}$ To Valid Instr In		125	ns		3TCLCL-125	ns
TPXIX	Input Instr Hold After $\overline{\text{PSEN}}$	0		ns	0		ns
TPXIZ	Input Instr Float After $\overline{\text{PSEN}}$		63	ns		TCLCL-20	ns
TPXAV	Address Valid After $\overline{\text{PSEN}}$	75		ns	TCLCL-8		ns
TAVIV	Address To Valid Instr In		302	ns		5TCLCL-115	ns
TAZPL	Address Float To $\overline{\text{PSEN}}$	0		ns	0		ns

**EXTERNAL DATA MEMORY CHARACTERISTICS**

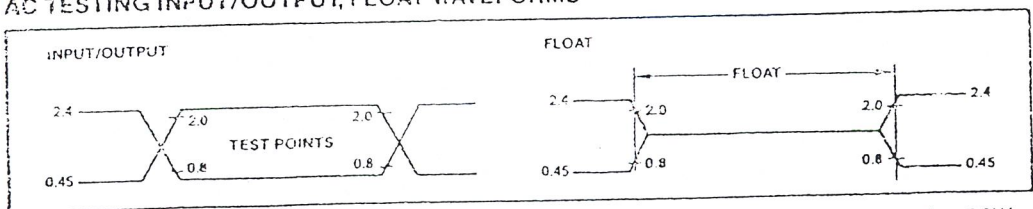
Symbol	Parameter	12 MHz Clock			Variable Clock 1/TCLCL = 1.2 MHz to 12 MHz		
		Min	Max	Unit	Min	Max	Unit
TRLRH	$\overline{\text{RD}}$ Pulse Width	400		ns	6TCLCL-100		ns
TWLWH	$\overline{\text{WR}}$ Pulse Width	400		ns	6TCLCL-100		ns
TLLAX	Address Hold After ALE	48		ns	TCLCL-35		
TRLDV	$\overline{\text{RD}}$ To Valid Data In		250	ns		5TCLCL-165	ns
TRHDX	Data Hold After $\overline{\text{RD}}$	0		ns	0		ns
TRHDZ	Data Float After $\overline{\text{RD}}$		97	ns		2TCLCL-70	ns
TLLDV	ALE To Valid Data In		517	ns		8TCLCL-150	ns
TAVDV	Address To Valid Data In		585	ns		9TCLCL-165	ns
TLLWL	ALE To $\overline{\text{WR}}$ or $\overline{\text{RD}}$	200	300	ns	3TCLCL-50	3TCLCL + 50	ns
TAVWL	Address To $\overline{\text{WR}}$ or $\overline{\text{RD}}$	203		ns	4TCLCL-130		ns
TWHLH	$\overline{\text{WR}}$ or $\overline{\text{RD}}$ High To ALE High	43	123	ns	TCLCL-40	TCLCL + 40	ns
TDVWX	Data Valid To $\overline{\text{WR}}$ Transition	23		ns	TCLCL-60		ns
TQVWH	Data Setup Before $\overline{\text{WR}}$	433		ns	7TCLCL-150		ns
TWHQX	Data Hold After $\overline{\text{WR}}$	33		ns	TCLCL-50		ns
TRLAZ	Address Float After $\overline{\text{RD}}$		0	ns		0	ns

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC TIMING DIAGRAMS



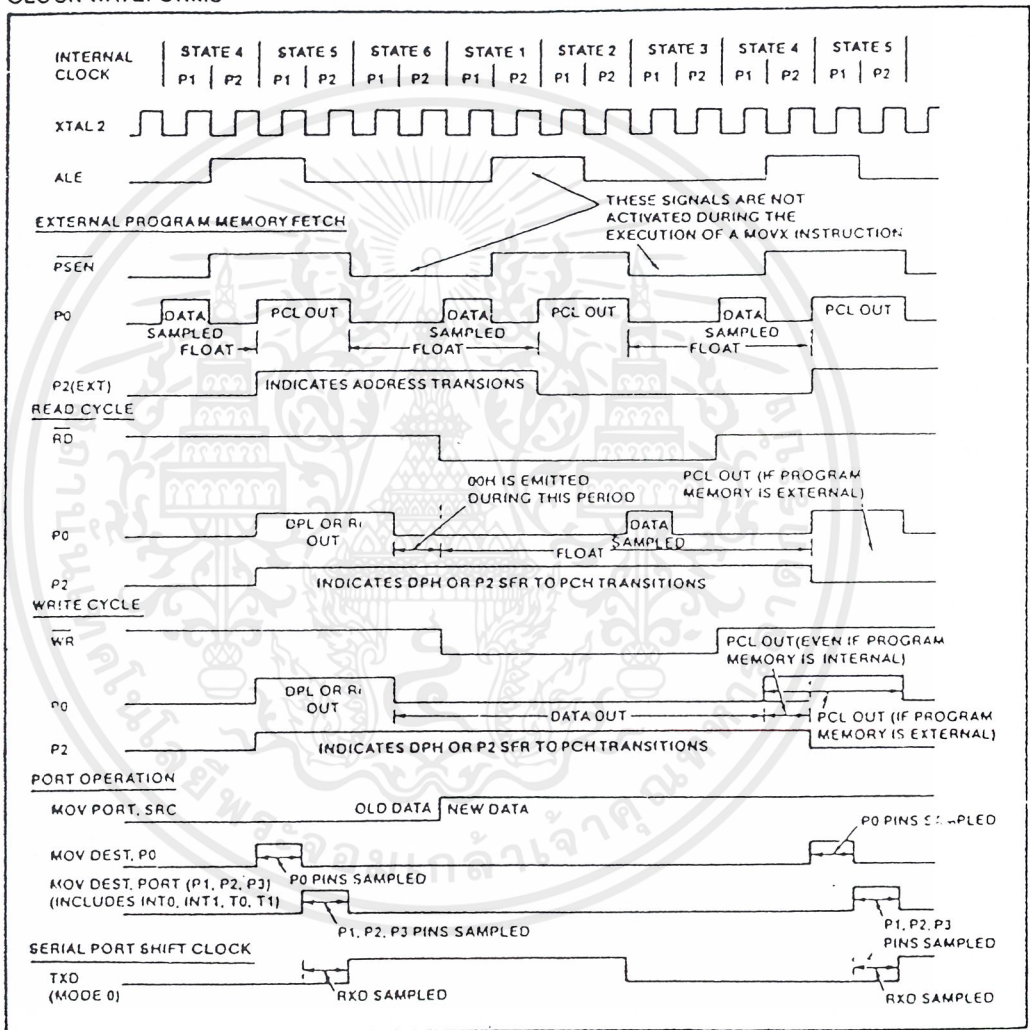
AC TESTING INPUT/OUTPUT, FLOAT WAVEFORMS



AC inputs during testing are driven at 2.4V for a logic "1" and 0.45V for a logic "0". Timing measurements are made at 2.0V for a logic "1" and 0.8V for a logic "0". For timing purposes, the float state is defined as the point at which a P0 pin sinks 2.4mA or sources 400  $\mu$ A at the voltage test levels.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CLOCK WAVEFORMS



This diagram indicates when signals are clocked internally. The time it takes the signals to propagate to the pins, however, ranges from 25 to 125 ns. This propagation delay is dependent on variables such as temperature and pin loading. Propagation also varies from output to output and component to component. Typically though, ( $T_A = 25^\circ\text{C}$ , fully loaded) RD and WR propagation delays are approximately 50 ns. The other signals are typically 85 ns. Propagation delays are incorporated in the AC specifications.

# LM193/LM293/LM393/LM2903

## Low Power Low Offset Voltage Dual Comparators

### General Description

The LM193 series consists of two independent precision voltage comparators with an offset voltage specification as low as 2.0 mV max for two comparators which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage. These comparators also have a unique characteristic in that the input common-mode voltage range includes ground, even though operated from a single power supply voltage.

Application areas include limit comparators, simple analog to digital converters; pulse, squarewave and time delay generators; wide range VCO; MOS clock timers; multivibrators and high voltage digital logic gates. The LM193 series was designed to directly interface with TTL and CMOS. When operated from both plus and minus power supplies, the LM193 series will directly interface with MOS logic where their low power drain is a distinct advantage over standard comparators.

### Advantages

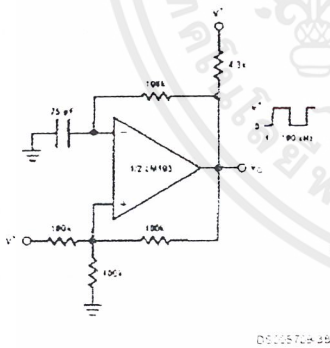
- High precision comparators

- Reduced  $V_{OS}$  drift over temperature
- Eliminates need for dual supplies
- Allows sensing near ground
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation

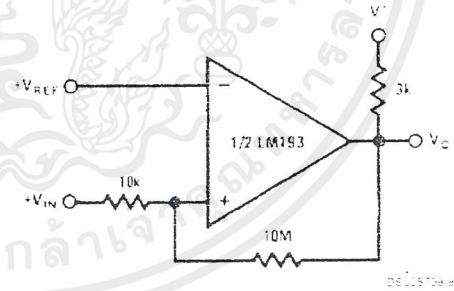
### Features

- Wide supply
  - Voltage range: 2.0V to 36V
  - single or dual supplies:  $\pm 1.0V$  to  $\pm 18V$
- Very low supply current drain (0.4 mA) — independent of supply voltage
- Low input biasing current: 25 nA
- Low input offset current:  $\pm 5$  nA
- Maximum offset voltage:  $\pm 3$  mV
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Low output saturation voltage: 250 mV at 4 mA
- Output voltage compatible with TTL, DTL, ECL, MOS and CMOS logic systems

Squarewave Oscillator

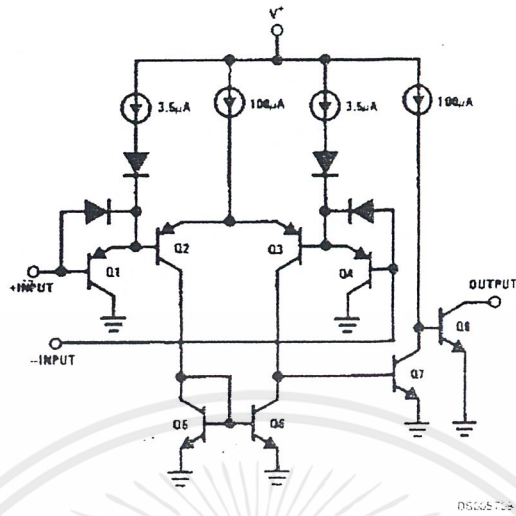


Non-Inverting Comparator with Hysteresis

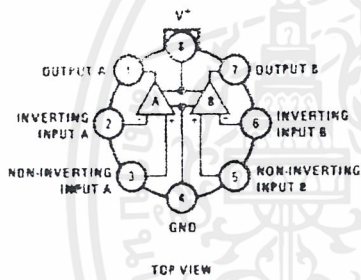


LM193/LM293/LM393/LM2903 Low Power Low Offset Voltage Dual Comparators

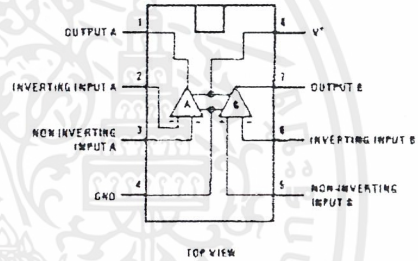
### Schematic and Connection Diagrams



Metal Can Package



Dual-In-Line Package



Order Number LM193H \*  
 LM193H/883 , LM193AH-QMLV \*\*  
 LM193AH, LM193AH/883,  
 LM293H or LM393H  
 See NS Package Number H08C

Order Number LM193J/883 \*  
 LM193AJ/883, LM193AJ-QMLV \*\*  
 LM393M, LM393MX, LM2903M,  
 LM2903MX, LM393N or LM2903N  
 See NS Package Number J08A,  
 M08A or N08E

Note: \* Also available per JM38510/11202  
 Note: \*\* See STD MIL DWG 5962-94526

**Absolute Maximum Ratings** (Note 10)

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

Supply Voltage, $V^+$	36V
Differential Input Voltage (Note 8)	36V
Input Voltage	-0.3V to +36V
Input Current ( $V_{IN} < -0.3V$ ) (Note 3)	50 mA
Power Dissipation (Note 1)	
Molded DIP	780 mW
Metal Can	660 mW
Small Outline Package	510 mW
Output Short-Circuit to Ground (Note 2)	Continuous
Operating Temperature Range	
LM393/LM393A	0°C to +70°C
LM293/LM293A	-25°C to +85°C

LM193/LM193A	-55°C to +125°C
LM2903	-40°C to +85°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)	+260°C
Soldering Information	
Dual-In-Line Package	
Soldering (10 seconds)	260°C
Small Outline Package	215°C
Vapor Phase (60 seconds)	
Infrared (15 seconds)	220°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.	
ESD rating	1300V
(1.5 k $\Omega$ in series with 100 pF)	

**Electrical Characteristics**

( $V^+ = 5V$ ,  $T_A = 25^\circ C$ , unless otherwise stated)

Parameter	Conditions	LM193A			LM293A, LM393A			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 9)		1.0	2.0		1.0	2.0	mV
Input Bias Current	$I_{IN}(+)$ or $I_{IN}(-)$ with Output In Linear Range, $V_{CM} = 0V$ (Note 5)		25	100		25	250	nA
Input Offset Current	$I_{IN}(+) - I_{IN}(-)$ , $V_{CM} = 0V$		3.0	25		5.0	50	nA
Input Common Mode Voltage Range	$V^+ = 30V$ (Note 6)	0		$V^+ - 1.5$	0		$V^+ - 1.5$	V
Supply Current	$R_L = \infty$	$V^+ = 5V$	0.4	1	0.4	1		mA
		$V^+ = 36V$	1	2.5	1	2.5		mA
Voltage Gain	$R_L \geq 15 k\Omega$ , $V^+ = 15V$ $V_O = 1V$ to 11V	50	200		50	200		V/mV
Large Signal Response Time	$V_{IN} = \text{TTL Logic Swing}$ , $V_{REF} = 1.4V$ $V_{RL} = 5V$ , $R_L = 5.1 k\Omega$		300			300		ns
Response Time	$V_{RL} = 5V$ , $R_L = 5.1 k\Omega$ (Note 7)		1.3			1.3		$\mu s$
Output Sink Current	$V_{IN}(-) = 1V$ , $V_{IN}(+) = 0$ , $V_O \approx 1.5V$	6.0	16		6.0	10		mA
Saturation Voltage	$V_{IN}(-) = 1V$ , $V_{IN}(+) = 0$ , $I_{SINK} \leq 4 \text{ mA}$		250	400		250	400	mV
Output Leakage Current	$V_{IN}(-) = 0$ , $V_{IN}(+) = 1V$ , $V_O = 5V$		0.1			0.1		nA

**Electrical Characteristics**

( $V^+ = 5V$ ,  $T_A = 25^\circ C$ , unless otherwise stated)

Parameter	Conditions	LM193			LM293, LM393			LM2903			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 9)		1.0	5.0		1.0	5.0		2.0	7.0	mV
Input Bias Current	$I_{IN}(+)$ or $I_{IN}(-)$ with Output In Linear Range, $V_{CM} = 0V$ (Note 5)		25	100		25	250		25	250	nA
Input Offset Current	$I_{IN}(+) - I_{IN}(-)$ , $V_{CM} = 0V$		3.0	25		5.0	50		5.0	50	nA
Input Common Mode Voltage Range	$V^+ = 30V$ (Note 6)	0		$V^+ - 1.5$	0		$V^+ - 1.5$	0		$V^+ - 1.5$	V
Supply Current	$R_L = \infty$	$V^+ = 5V$	0.4	1	0.4	1		0.4	1.0		mA
		$V^+ = 36V$	1	2.5	1	2.5		1	2.5		mA

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

Parameter	Conditions	LM193			LM293, LM393			LM2903			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Voltage Gain	$R_L \geq 15 \text{ k}\Omega, V^+ = 15V$ $V_O = 1V \text{ to } 11V$	50	200		50	200		25	100		V/mV
Large Signal Response Time	$V_{IN} = \text{TTL Logic Swing}, V_{REF} = 1.4V$ $V_{RL} = 5V, R_L = 5.1 \text{ k}\Omega$	300			300			300			ns
Response Time	$V_{RL} = 5V, R_L = 5.1 \text{ k}\Omega$ (Note 7)	1.3			1.3			1.5			$\mu s$
Output Sink Current	$V_{IN(-)} = 1V, V_{IN(+)} = 0, V_O \leq 1.5V$	6.0	16		6.0	16		6.0	16		mA
Saturation Voltage	$V_{IN(-)} = 1V, V_{IN(+)} = 0, I_{SINK} \leq 4 \text{ mA}$	250	400		250	400		250	400		mV
Output Leakage Current	$V_{IN(-)} = 0, V_{IN(+)} = 1V, V_O = 5V$	0.1			0.1			0.1			nA

**Electrical Characteristics** $(V^+ = 5V)$  (Note 4)

Parameter	Conditions	LM193A			Units
		Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 9)	4.0			mV
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}, V_{CM} = 0V$	100			nA
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$ with Output in Linear Range, $V_{CM} = 0V$ (Note 5)	300			nA
Input Common Mode Voltage Range	$V^+ = 30V$ (Note 6)	0		$V^+ - 2.0$	V
Saturation Voltage	$V_{IN(-)} = 1V, V_{IN(+)} = 0, I_{SINK} \leq 4 \text{ mA}$	700			mV
Output Leakage Current	$V_{IN(-)} = 0, V_{IN(+)} = 1V, V_O = 30V$	1.0			$\mu A$
Differential Input Voltage	Keep All $V_{IN}$ 's $\geq 0V$ (or $V^+$ , if Used), (Note 8)	36			V

**Electrical Characteristics** $(V^+ = 5V)$  (Note 4)

Parameter	Conditions	LM193			LM293, LM393			LM2903			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 9)	9			9			9 15			mV
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}, V_{CM} = 0V$	100			150			50 200			nA
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$ with Output in Linear Range, $V_{CM} = 0V$ (Note 5)	300			400			200 500			nA
Input Common Mode Voltage Range	$V^+ = 30V$ (Note 6)	0		$V^+ - 2.0$	0		$V^+ - 2.0$	0		$V^+ - 2.0$	V
Saturation Voltage	$V_{IN(-)} = 1V, V_{IN(+)} = 0, I_{SINK} \leq 4 \text{ mA}$	700			700			400 700			mV
Output Leakage Current	$V_{IN(-)} = 0, V_{IN(+)} = 1V, V_O = 30V$	1.0			1.0			1.0			$\mu A$
Differential Input Voltage	Keep All $V_{IN}$ 's $\geq 0V$ (or $V^+$ , if Used), (Note 8)	36			36			36			V

**Note 1:** For operating at high temperatures, the LM393/LM393A and LM2903 must be derated based on a  $125^\circ C$  maximum junction temperature and a thermal resistance of  $170^\circ C/W$  which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM193/LM193A/LM293/LM293A must be derated based on a  $150^\circ C$  maximum junction temperature. The low bias dissipation and the "ON-OFF" characteristic of the outputs keeps the chip dissipation very small ( $P_D \leq 100 \text{ mW}$ ), provided the output transistors are allowed to saturate.

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

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

**Note 4:** These specifications are limited to  $-55^\circ C \leq T_A \leq 125^\circ C$ , for the LM193/LM193A. With the LM293/LM293A all temperature specifications are limited to  $-25^\circ C \leq T_A \leq 85^\circ C$  and the LM393/LM393A temperature specifications are limited to  $0^\circ C \leq T_A \leq 70^\circ C$ . The LM2903 is limited to  $-40^\circ C \leq T_A \leq 85^\circ C$ .

## Electrical Characteristics (Continued)

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

**Note 6:** The input common-mode voltage or either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V. The upper end of the common-mode voltage range is  $V^+ - 1.5V$  at 25°C, but either or both inputs can go to 36V without damage, independent of the magnitude of  $V^+$ .

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

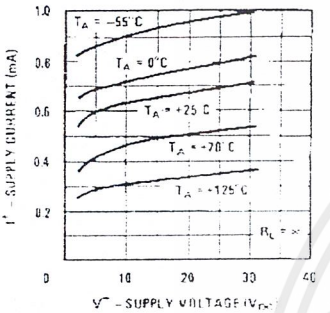
**Note 8:** Positive excursions of input voltage may exceed the power supply level. As long as the other voltage remains within the common-mode range, the comparator will provide a proper output state. The low input voltage state must not be less than -0.3V (or 0.3V below the magnitude of the negative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

**Note 9:** At output switch point,  $V_{O1} = 1.4V$ ,  $R_S = 0\Omega$  with  $V^+$  from 5V to 30V; and over the full input common-mode range (0V to  $V^+ - 1.5V$ ), at 25°C.

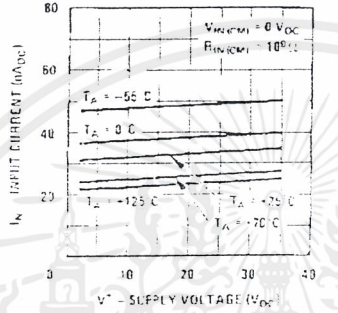
**Note 10:** Refer to RETS193AX for LM193AH military specifications and to RETS193X for LM193H military specifications.

## Typical Performance Characteristics LM193/LM293/LM393, LM193A

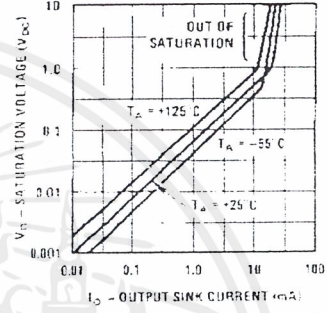
Supply Current



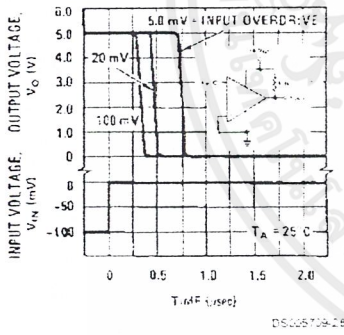
Input Current



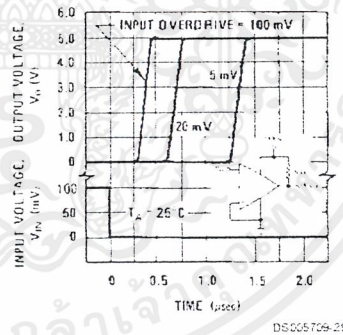
Output Saturation Voltage



Response Time for Various Input Overdrives — Negative Transition

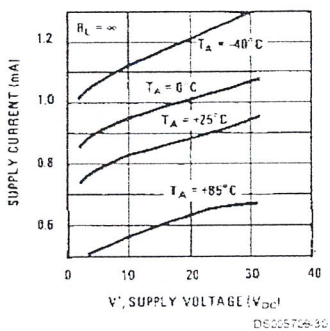


Response Time for Various Input Overdrives — Positive Transition

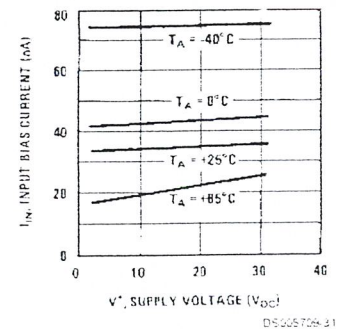


## Typical Performance Characteristics LM2903

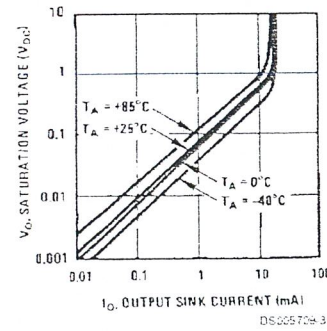
Supply Current



Input Current

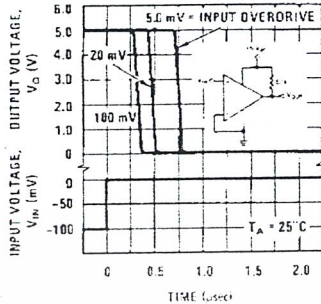


Output Saturation Voltage



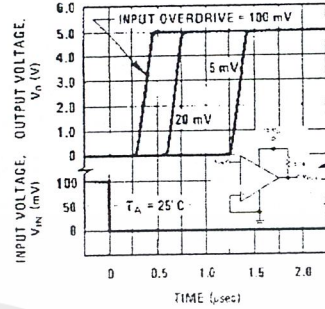
## Typical Performance Characteristics LM2903 (Continued)

### Response Time for Various Input Overdrives — Negative Transition



DS005709-33

### Response Time for Various Input Overdrives — Positive Transition



DS005709-34

## Application Hints

The LM193 series are high gain, wide bandwidth devices which, like most comparators, can easily oscillate if the output lead is inadvertently allowed to capacitively couple to the inputs via stray capacitance. This shows up only during the output voltage transition intervals as the comparator change states. Power supply bypassing is not required to solve this problem. Standard PC board layout is helpful as it reduces stray input-output coupling. Reducing the input resistors to  $< 10 \text{ k}\Omega$  reduces the feedback signal levels and finally, adding even a small amount (1.0 to 10 mV) of positive feedback (hysteresis) causes such a rapid transition that oscillations due to stray feedback are not possible. Simply socketing the IC and attaching resistors to the pins will cause input-output oscillations during the small transition intervals unless hysteresis is used. If the input signal is a pulse waveform, with relatively fast rise and fall times, hysteresis is not required.

All input pins of any unused comparators should be tied to the negative supply.

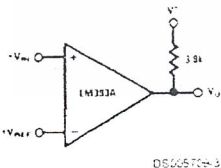
The bias network of the LM193 series establishes a drain current which is independent of the magnitude of the power supply voltage over the range of from  $2.0 V_{DC}$  to  $30 V_{DC}$ . It is usually unnecessary to use a bypass capacitor across the power supply line.

The differential input voltage may be larger than  $V^+$  without damaging the device (Note 8). Protection should be provided to prevent the input voltages from going negative more than  $-0.3 V_{DC}$  (at  $25^\circ\text{C}$ ). An input clamp diode can be used as shown in the applications section.

The output of the LM193 series is the uncommitted collector of a grounded-emitter NPN output transistor. Many collectors can be tied together to provide an output OR'ing function. An output pull-up resistor can be connected to any available power supply voltage within the permitted supply voltage range and there is no restriction on this voltage due to the magnitude of the voltage which is applied to the  $V^+$  terminal of the LM193 package. The output can also be used as a simple SPST switch to ground (when a pull-up resistor is not used). The amount of current which the output device can sink is limited by the drive available (which is independent of  $V^+$ ) and the  $\beta$  of this device. When the maximum current limit is reached (approximately 16 mA), the output transistor will come out of saturation and the output voltage will rise very rapidly. The output saturation voltage is limited by the approximately  $60\Omega r_{SAT}$  of the output transistor. The low offset voltage of the output transistor (1.0 mV) allows the output to clamp essentially to ground level for small load currents.

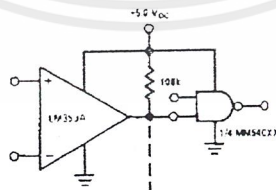
## Typical Applications ( $V^+ = 5.0 V_{DC}$ )

### Basic Comparator



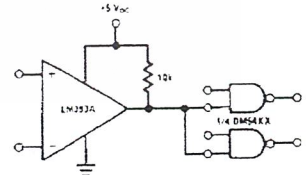
DS005709-35

### Driving CMOS



DS005709-36

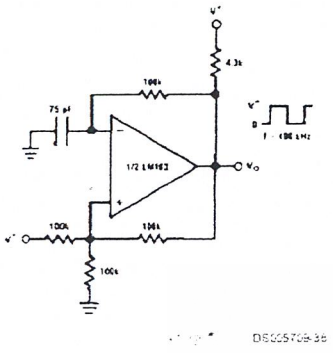
### Driving TTL



DS005709-37

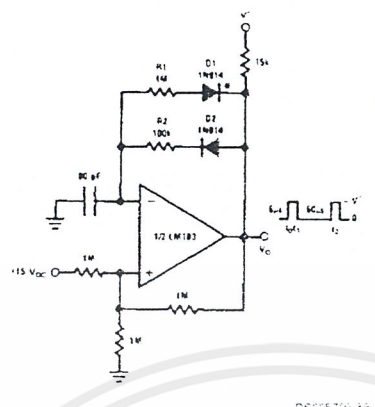
Typical Applications ( $V^+ = 5.0 V_{DC}$ ) (Continued)

Squarewave Oscillator



DS005709-35

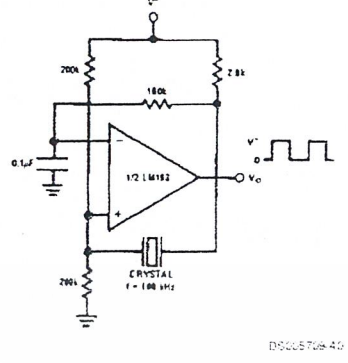
Pulse Generator



DS005709-39

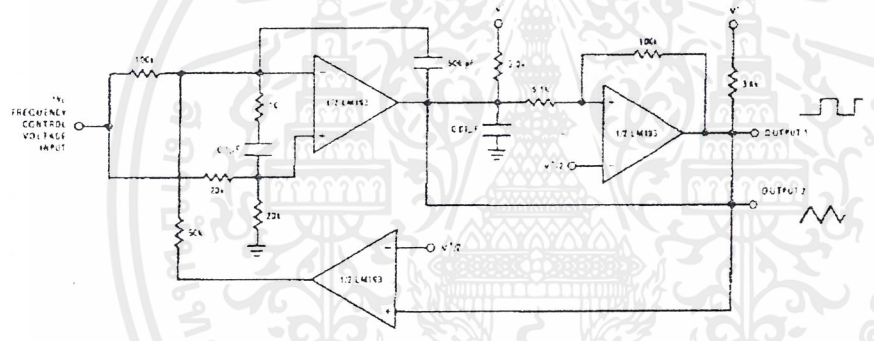
\* For large ratios of  $R1/R2$ ,  $D1$  can be omitted.

Crystal Controlled Oscillator



DS005709-40

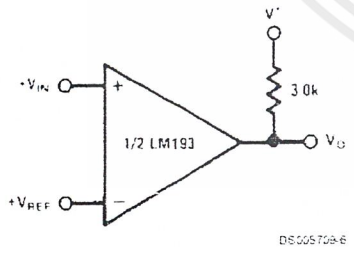
Two-Decade High Frequency VCO



DS005709-41

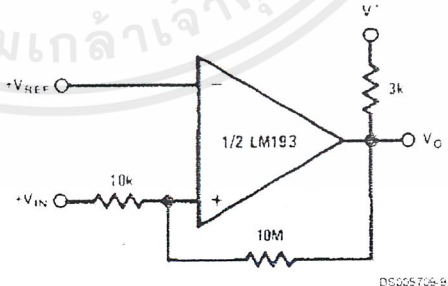
$V^+ = +30 V_{DC}$   
 $+250 mV_{DC} \leq V_{DC} \leq +50 V_{DC}$   
 $700 Hz \leq f_0 \leq 100 kHz$

Basic Comparator



DS005709-6

Non-Inverting Comparator with Hysteresis

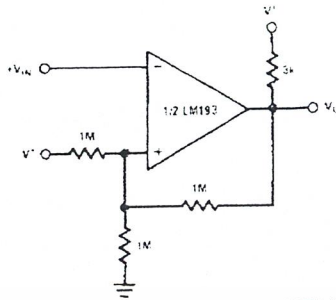


DS005709-8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

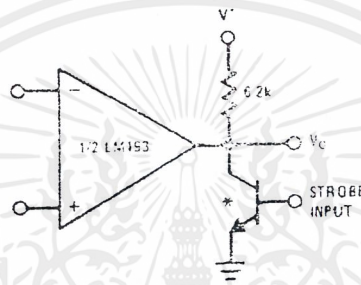
Typical Applications ( $V^+=5.0 V_{DC}$ ) (Continued)

Inverting Comparator with Hysteresis



DS005709-10

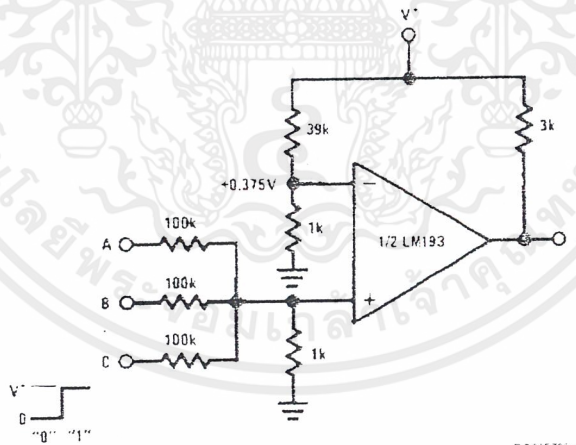
Output Strobing



\* OR LOGIC GATE WITHOUT PULL UP RESISTOR

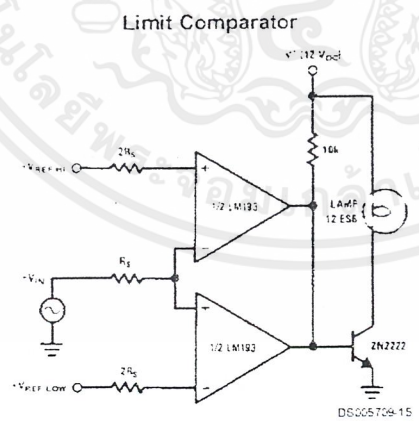
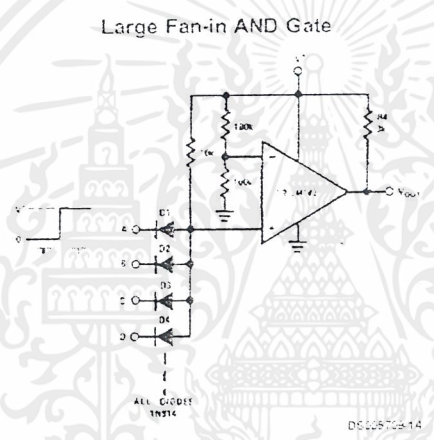
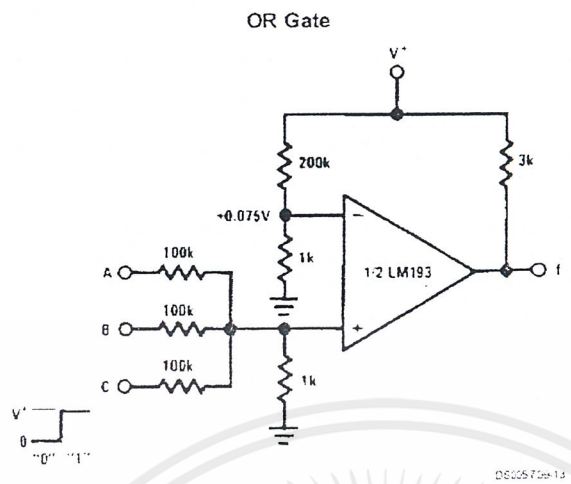
DS005709-11

AND Gate



DS005709-12

Typical Applications ( $V^+=5.0 V_{DC}$ ) (Continued)



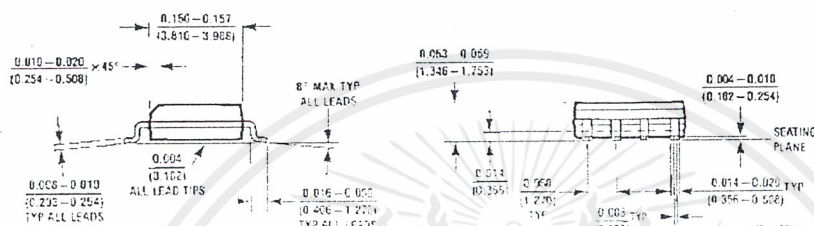
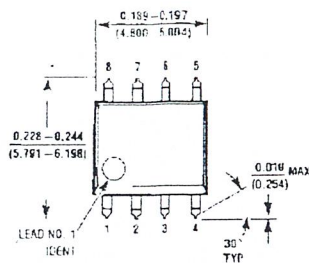
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



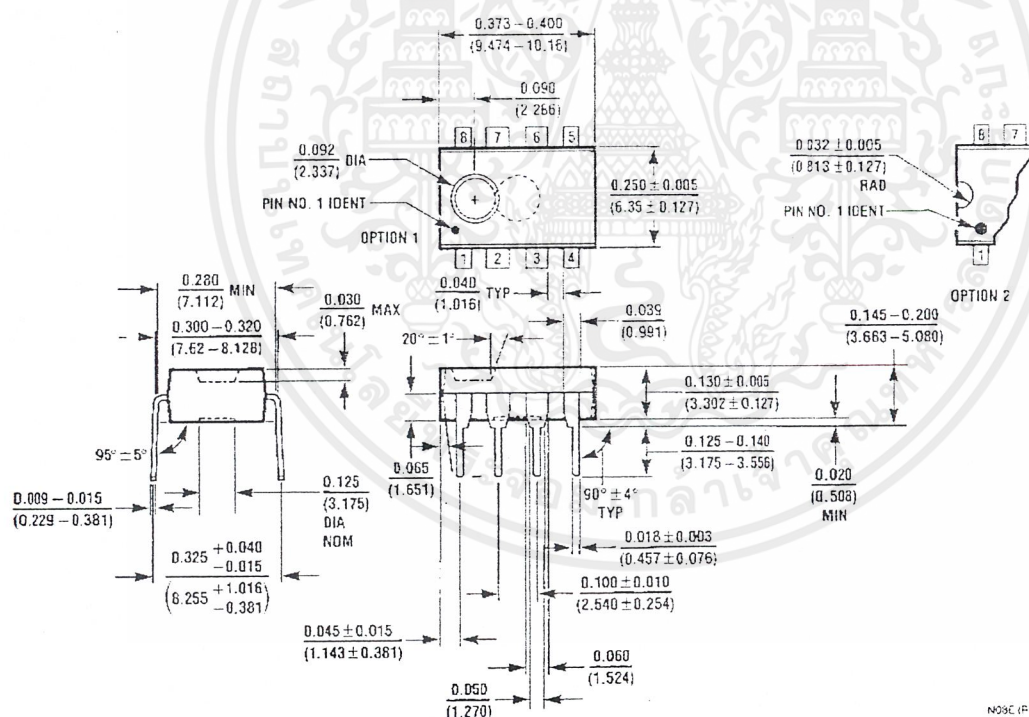




Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



Order Number LM393M, LM393MX, LM2903M or LM2903MX  
NS Package Number M08A



Molded Dual-In-Line Package (N)  
Order Numbers LM393N or LM2903N  
NS Package Number N08E

N08C (REV F)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Notes



## LIFE SUPPORT POLICY

NATIONAL'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT AND GENERAL COUNSEL OF NATIONAL SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component is any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.



**National Semiconductor Corporation**  
Americas  
Tel: 1-800-272-9959  
Fax: 1-800-737-7018  
Email: support@nsc.com  
www.national.com

**National Semiconductor Europe**  
Fax: +49 (0) 180-530 85 86  
Email: europe.support@nsc.com  
Deutsch Tel: +49 (0) 69 9508 6208  
English Tel: +44 (0) 870 24 0 2171  
Français Tel: +33 (0) 1 41 91 8790

**National Semiconductor Asia Pacific Customer Response Group**  
Tel: 65-2544466  
Fax: 65-2504466  
Email: ap.support@nsc.com

**National Semiconductor Japan Ltd.**  
Tel: 81-3-5639-7560  
Fax: 81-3-5639-7507

National does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and National reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## CD4049UBC • CD4050BC Hex Inverting Buffer • Hex Non-Inverting Buffer

### General Description

The CD4049UBC and CD4050BC hex buffers are monolithic complementary MOS (CMOS) integrated circuits constructed with N- and P-channel enhancement mode transistors. These devices feature logic level conversion using only one supply voltage ( $V_{DD}$ ). The input signal high level ( $V_{IH}$ ) can exceed the  $V_{DD}$  supply voltage when these devices are used for logic level conversions. These devices are intended for use as hex buffers, CMOS to DTL/TTL converters, or as CMOS current drivers, and at  $V_{DD} = 5.0V$ , they can drive directly two DTL/TTL loads over the full operating temperature range.

### Features

- Wide supply voltage range: 3.0V to 15V
- Direct drive to 2 TTL loads at 5.0V over full temperature range
- High source and sink current capability
- Special input protection permits input voltages greater than  $V_{DD}$

### Applications

- CMOS hex inverting buffer
- CMOS to DTL/TTL hex converter
- CMOS current "sink" or "source" driver
- CMOS HIGH-to-LOW logic level converter

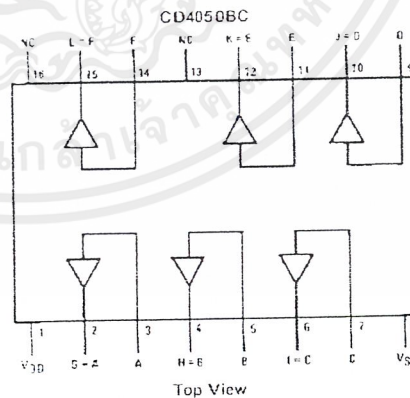
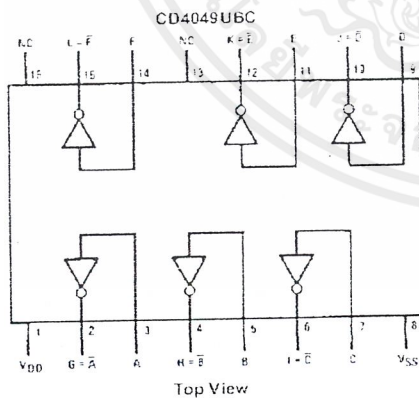
### Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
CD4049UBCM	M16A	16-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150" Narrow
CD4049UBCN	N16E	16-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide
CD4050BCM	M16A	16-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-012, 0.150" Narrow
CD4050BCN	N16E	16-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide

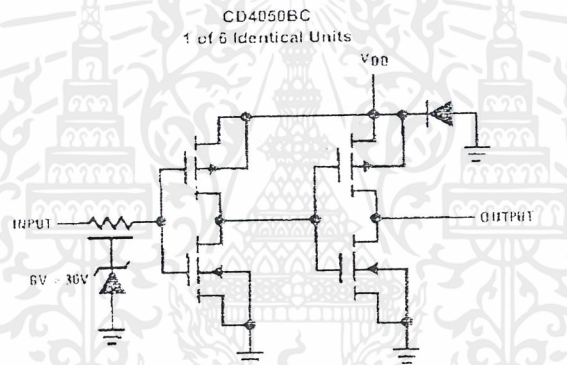
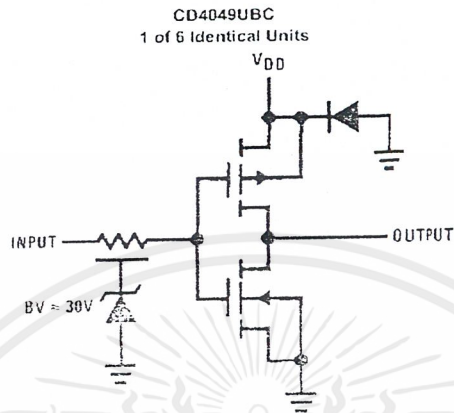
Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter 'X' to the ordering code.

### Connection Diagrams

#### Pin Assignments for DIP



### Schematic Diagrams



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Absolute Maximum Ratings (Note 1)			Recommended Operating Conditions (Note 2)						
Supply Voltage ( $V_{DD}$ )	-0.5V to +18V		Supply Voltage ( $V_{DD}$ )	3V to 15V					
Input Voltage ( $V_{IN}$ )	-0.5V to +18V		Input Voltage ( $V_{IN}$ )	0V to 15V					
Voltage at Any Output Pin ( $V_{OUT}$ )	-0.5V to $V_{DD} + 0.5V$		Voltage at Any Output Pin ( $V_{OUT}$ )	0 to $V_{DD}$					
Storage Temperature Range ( $T_S$ )	-65°C to +150°C		Operating Temperature Range ( $T_A$ )	-40°C to +85°C					
Power Dissipation ( $P_D$ )			CD4049UBC, CD4050BC	-40°C to +85°C					
Dual-In-Line	700 mW		Note 1: "Absolute Maximum Ratings" are those values beyond which the safety of the device cannot be guaranteed; they are not meant to imply that the devices should be operated at these limits. The table of "Recommended Operating Conditions" and "Electrical Characteristics" provides conditions for actual device operation.						
Small Outline	500 mW		Note 2: $V_{SS} = 0V$ unless otherwise specified.						
Lead Temperature ( $T_L$ )									
(Soldering, 10 seconds)	250°C								
DC Electrical Characteristics (Note 3)									
Symbol	Parameter	Conditions	-40 °C		+25 °C		+85 °C		Units
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min	
$I_{DD}$	Quiescent Device Current	$V_{DD} = 5V$		4	0.03	4.0		30	$\mu A$
		$V_{DD} = 10V$		6	0.05	9.0		60	$\mu A$
		$V_{DD} = 15V$		16	0.07	16.0		120	$\mu A$
$V_{OL}$	LOW Level Output Voltage	$V_{IH} = V_{DD}, V_O = 0V$							
		$I_{OL} < 1 \mu A$							
		$V_{DD} = 5V$		0.05	0	0.05		0.05	V
		$V_{DD} = 10V$		0.05	0	0.05		0.05	V
$V_{OH}$	HIGH Level Output Voltage	$V_{IH} = V_{DD}, V_O = 0V$							
		$I_{OH} < 1 \mu A$							
		$V_{DD} = 5V$		4.95	4.95	5		4.95	V
		$V_{DD} = 10V$		9.95	9.95	10		9.95	V
$V_{IL}$	LOW Level Input Voltage (CD4050BC Only)	$I_{OL} < 1 \mu A$							
		$V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V$		1.5	2.25	1.5		1.5	V
		$V_{DD} = 10V, V_O = 1V$		3.0	4.5	3.0		3.0	V
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$		4.0	6.75	4.0		4.0	V
$V_{IL}$	LOW Level Input Voltage (CD4049UBC Only)	$I_{OL} < 1 \mu A$							
		$V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V$		1.0	1.5	1.0		1.0	V
		$V_{DD} = 10V, V_O = 1V$		2.0	2.5	2.0		2.0	V
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$		3.0	3.5	3.0		3.0	V
$V_{IH}$	HIGH Level Input Voltage (CD4050BC Only)	$I_{OH} < 1 \mu A$							
		$V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V$		3.5	3.5	2.75		3.5	V
		$V_{DD} = 10V, V_O = 1V$		7.0	7.0	5.5		7.0	V
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$		11.0	11.0	8.25		11.0	V
$V_{IH}$	HIGH Level Input Voltage (CD4049UBC Only)	$I_{OH} < 1 \mu A$							
		$V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V$		4.0	4.0	3.5		4.0	V
		$V_{DD} = 10V, V_O = 1V$		8.0	8.0	7.5		8.0	V
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$		12.0	12.0	11.5		12.0	V
$I_{OL}$	LOW Level Output Current (Note 4)	$V_{IH} = V_{DD}, V_O = 0V$							
		$V_{DD} = 5V, V_O = 0.5V$		4.6	4.0	5		3.2	mA
		$V_{DD} = 10V, V_O = 0.5V$		9.9	8.5	12		6.8	mA
		$V_{DD} = 15V, V_O = 1.5V$		29	25	40		20	mA
$I_{OH}$	HIGH Level Output Current (Note 4)	$V_{IH} = V_{DD}, V_O = 0V$							
		$V_{DD} = 5V, V_O = 4.8V$		-1.0	-0.9	-1.6		-0.72	mA
		$V_{DD} = 10V, V_O = 9.5V$		-2.1	-1.9	-3.6		-1.5	mA
		$V_{DD} = 15V, V_O = 13.5V$		-7.1	-6.2	-12		-5	mA
$I_{IN}$	Input Current	$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 0V$		-0.3	-0.3	$10^{-5}$		-1.0	$\mu A$
		$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 15V$		0.3	0.3	$10^{-5}$		1.0	$\mu A$
Note 3: $V_{SS} = 0V$ unless otherwise specified.									

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**DC Electrical Characteristics (Continued)**

Note 4: These are peak output current capabilities. Continuous output current is rated at 12 mA maximum. The output current should not be allowed to exceed this value for extended periods of time.  $I_{OL}$  and  $I_{OH}$  are tested one output at a time.

**AC Electrical Characteristics (Note 5)**

CD4049UBC

$T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $C_L = 50\text{ pF}$ ,  $R_L = 200\text{ k}\Omega$ ,  $t_r = t_f = 20\text{ ns}$ , unless otherwise specified

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$t_{PHL}$	Propagation Delay Time HIGH-to-LOW Level	$V_{DD} = 5\text{V}$		30	65	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		20	40	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		15	30	ns
$t_{PLH}$	Propagation Delay Time LOW-to-HIGH Level	$V_{DD} = 5\text{V}$		45	85	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		25	45	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		20	35	ns
$t_{HL}$	Transition Time HIGH-to-LOW Level	$V_{DD} = 5\text{V}$		30	60	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		20	40	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		15	30	ns
$t_{LH}$	Transition Time LOW-to-HIGH Level	$V_{DD} = 5\text{V}$		60	120	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		30	55	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		25	45	ns
$C_{in}$	Input Capacitance	Any Input		15	22.5	pF

Note 5: AC Parameters are guaranteed by DC correlated testing.

**AC Electrical Characteristics (Note 6)**

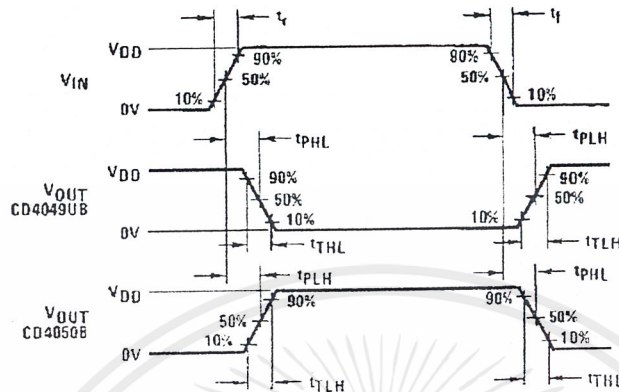
CD4050BC

$T_A = 25^\circ\text{C}$ ,  $C_L = 50\text{ pF}$ ,  $R_L = 200\text{ k}\Omega$ ,  $t_r = t_f = 20\text{ ns}$ , unless otherwise specified

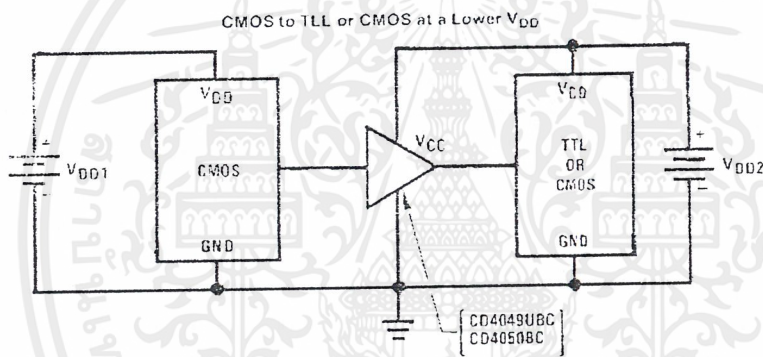
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$t_{PHL}$	Propagation Delay Time HIGH-to-LOW Level	$V_{DD} = 5\text{V}$		60	110	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		25	55	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		20	30	ns
$t_{PLH}$	Propagation Delay Time LOW-to-HIGH Level	$V_{DD} = 5\text{V}$		60	120	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		30	55	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		25	45	ns
$t_{HL}$	Transition Time HIGH-to-LOW Level	$V_{DD} = 5\text{V}$		30	60	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		20	40	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		15	30	ns
$t_{LH}$	Transition Time LOW-to-HIGH Level	$V_{DD} = 5\text{V}$		60	120	ns
		$V_{DD} = 10\text{V}$		30	55	ns
		$V_{DD} = 15\text{V}$		25	45	ns
$C_{in}$	Input Capacitance	Any Input		5	7.5	pF

Note 6: AC Parameters are guaranteed by DC correlated testing.

### Switching Time Waveforms



### Typical Applications

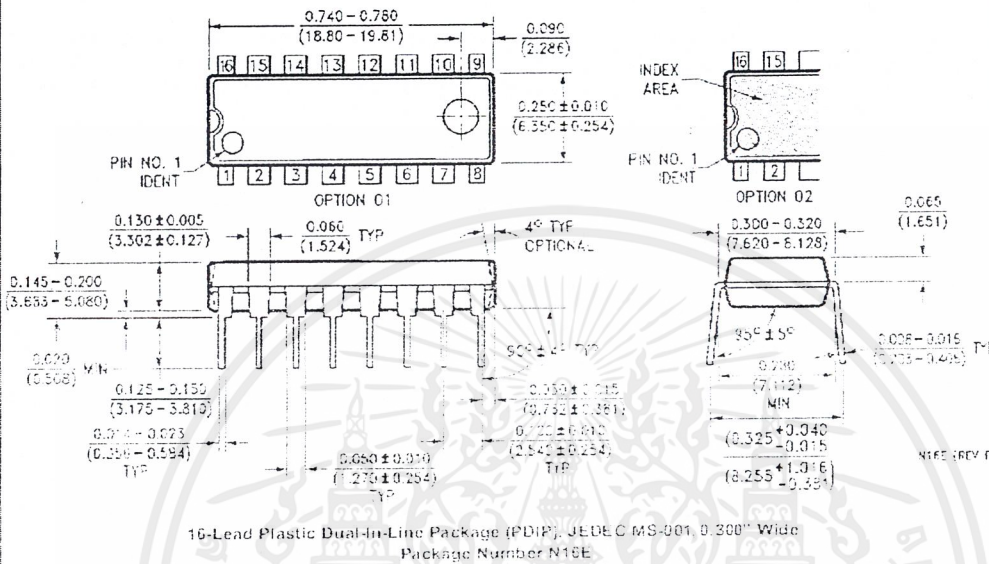


$V_{DD1} < V_{DD2}$   
 In the case of the CD4049UBC the output drive capability increases with increasing input voltage.  
 E.g. If  $V_{DD1} = 10V$  the CD4049UBC could drive 4 TTL loads.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component in any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

[www.fairchildsemi.com](http://www.fairchildsemi.com)

Fairchild does not assume any responsibility for use of any circuitry described, no circuit patent licenses are implied and Fairchild reserves the right at any time without notice to change said circuitry and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# CD4093BC

## Quad 2-Input NAND Schmitt Trigger

### General Description

The CD4093B consists of four Schmitt-trigger circuits. Each circuit functions as a 2-input NAND gate with Schmitt-trigger action on both inputs. The gate switches at different points for positive and negative-going signals. The difference between the positive ( $V_{T+}$ ) and the negative voltage ( $V_{T-}$ ) is defined as hysteresis voltage ( $V_H$ ).

All outputs have equal source and sink currents and conform to standard B-series output drive (see Static Electrical Characteristics).

- Equal source and sink currents
- No limit on input rise and fall time
- Standard B-series output drive
- Hysteresis voltage (any input)  $T_A = 25^\circ\text{C}$

Typical	$V_{DD} = 5.0\text{V}$	$V_H = 1.5\text{V}$
	$V_{DD} = 10\text{V}$	$V_H = 2.2\text{V}$
	$V_{DD} = 15\text{V}$	$V_H = 2.7\text{V}$
Guaranteed	$V_H = 0.1 V_{DD}$	

### Features

- Wide supply voltage range: 3.0V to 15V
- Schmitt-trigger on each input with no external components
- Noise immunity greater than 50%

### Applications

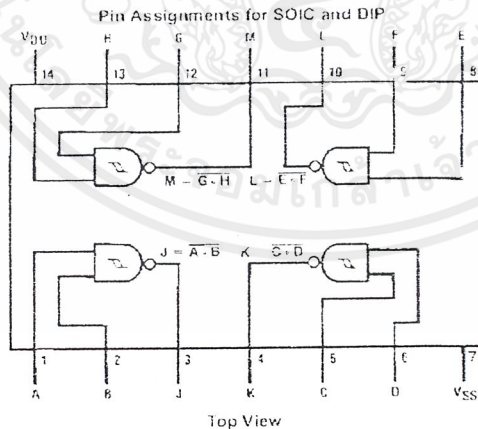
- Wave and pulse shapers
- High-noise-environment systems
- Monostable multivibrators
- Astable multivibrators
- NAND logic

### Ordering Code:

Order Number	Package Number	Package Description
CD4093BCM	M14A	14-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC); JEDEC MS-120, 0.150" Narrow Body
CD4093BCN	N14A	14-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP); JEDEC MS-001, 0.300" Wide

Devices also available in Tape and Reel. Specify by appending the suffix letter 'X' to the ordering code.

### Connection Diagram



**Absolute Maximum Ratings** (Note 1)

(Note 2)

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

**Recommended Operating Conditions** (Note 2)

DC Supply Voltage ( $V_{DD}$ )	3 to 15 $V_{DC}$
Input Voltage ( $V_{IN}$ )	0 to $V_{DD}$ $V_{DC}$
Operating Temperature Range ( $T_A$ )	-40°C to +85°C

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

**Note 2:**  $V_{SS} = 0V$  unless otherwise specified.

**DC Electrical Characteristics** (Note 2)

Symbol	Parameter	Conditions	-40°C		-25°C		+85°C		Units	
			Min	Max	Min	Typ	Max	Min		Max
$I_{DD}$	Quiescent Supply Current	$V_{DD} = 5V$	1.0				1.0		1.5	$\mu A$
		$V_{DD} = 10V$	2.0				2.0		3.0	$\mu A$
		$V_{DD} = 15V$	4.0				4.0		6.0	$\mu A$
$V_{OL}$	Low-Level Output Voltage	$V_{DD} = 5V, I_{OL} = 100 \mu A$	0.05		0		0.05		0.05	V
		$V_{DD} = 10V$	0.05		0		0.05		0.05	V
		$V_{DD} = 15V$	0.05		0		0.05		0.05	V
$V_{OH}$	High-Level Output Voltage	$V_{DD} = 5V, I_{OH} = 100 \mu A$	4.95		4.95		4.95		4.95	V
		$V_{DD} = 10V$	9.95		9.95		9.95		9.95	V
		$V_{DD} = 15V$	14.95		14.95		14.95		14.95	V
$V_{TC}$	Transfer Characteristic Voltage (Any Input)	$V_{DD} = 5V$	1.0	1.35	1.5	1.5	2.25	1.5	2.3	V
		$V_{DD} = 10V$	2.05	2.6	3.0	3.1	4.5	3.0	4.65	V
		$V_{DD} = 15V$	4.05	5.25	6.0	6.1	9.0	6.0	9.9	V
$V_{TL}$	Approximate Threshold Voltage (Any Input)	$V_{DD} = 5V$	2.45	3.0	3.25	3.3	5.0	3.55	3.6	V
		$V_{DD} = 10V$	4.9	6.0	6.5	6.6	9.0	6.35	6.6	V
		$V_{DD} = 15V$	7.35	9.0	9.75	9.9	13.5	9.5	10.5	V
$V_{HI}$	Hysteresis ( $V_{HI} - V_{TL}$ ) Any Input	$V_{DD} = 5V$	0.5	2.35	0.5	1.6	2.0	0.75	2.0	V
		$V_{DD} = 10V$	1.0	4.1	1.0	2.7	4.0	0.70	4.0	V
		$V_{DD} = 15V$	1.5	6.1	1.5	2.7	6.0	1.20	6.0	V
$I_{OL}$	Low-Level Output Current (Note 3)	$V_{IN} = V_{DD}$								
		$V_{DD} = 5V, V_{OL} = 0.4V$	0.52		0.44		0.38			mA
		$V_{DD} = 10V, V_{OL} = 0.6V$	1.3		1.1		0.9			mA
		$V_{DD} = 15V, V_{OL} = 1.0V$	3.6		3.0		2.4			mA
$I_{OH}$	High-Level Output Current (Note 3)	$V_{IN} = V_{DD}$								
		$V_{DD} = 5V, V_{OH} = 4.6V$	-0.52		-0.44		-0.38			mA
		$V_{DD} = 10V, V_{OH} = 9.6V$	-1.3		-1.1		-0.9			mA
		$V_{DD} = 15V, V_{OH} = 13.5V$	-3.6		-3.0		-2.4			mA
$I_{IK}$	Input Current	$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 0V$	-0.3		-10 <sup>-6</sup>		-0.3		-1.0	$\mu A$
		$V_{DD} = 15V, V_{IN} = 15V$	0.3		10 <sup>-6</sup>		0.3		1.0	$\mu A$

Note 3:  $I_{OL}$  and  $I_{OH}$  are tested one output at a time.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**AC Electrical Characteristics** (Note 4)T<sub>A</sub> = 25°C, C<sub>L</sub> = 50 pF, R<sub>L</sub> = 200k, Input t<sub>r</sub>, t<sub>f</sub> = 20 ns, unless otherwise specified

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
t <sub>PHL</sub> , t <sub>PLH</sub>	Propagation Delay Time	V <sub>DD</sub> = 5V V <sub>DD</sub> = 10V V <sub>DD</sub> = 15V		300 120 80	450 210 160	ns ns ns
t <sub>RHL</sub> , t <sub>RLH</sub>	Transition Time	V <sub>DD</sub> = 5V V <sub>DD</sub> = 10V V <sub>DD</sub> = 15V		90 50 40	145 75 60	ns ns ns
C <sub>IN</sub>	Input Capacitance	(Any Input)		5.0	7.5	pF
C <sub>PD</sub>	Power Dissipation Capacitance	(Per Gate)		24		pF

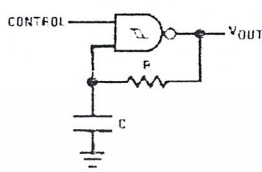
Note 4: AC Parameters are guaranteed by DC correlated testing



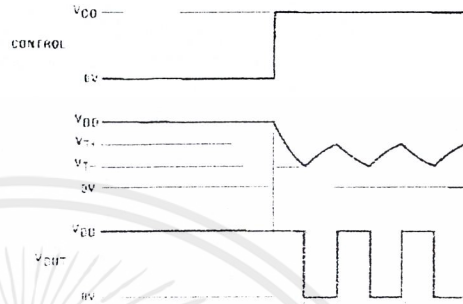
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications

Gated Oscillator



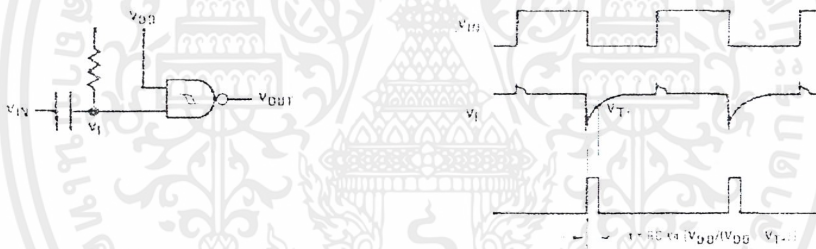
Assume  $t_1 = (2 \times V_{OL} + I_{OL} R)$   
 $t_2 = RC \ln (2V_{DD}/V_{OL})$   
 $t_3 = RC \ln (V_{DD} - V_{OL}/V_{DD} - V_{OL})$   
 $t_4 = RC \ln (2V_{OL})$



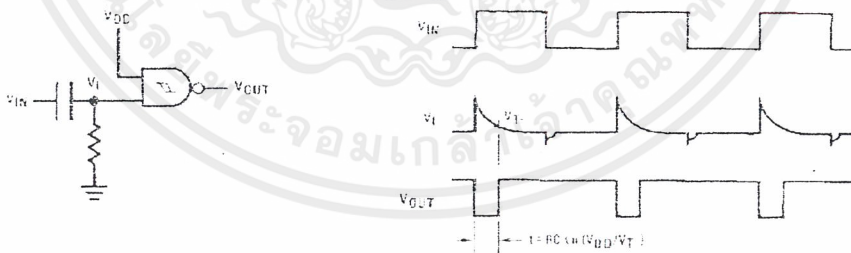
$$f = \frac{1}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4} = \frac{1}{RC \ln \left( \frac{2(V_{DD} - V_{OL})}{V_{DD} - V_{OL} - V_{OL}} \right) + 2(V_{OL} + I_{OL} R) + RC \ln (2V_{OL})}$$

Gated One-Shot

(a) Negative-Edge Triggered

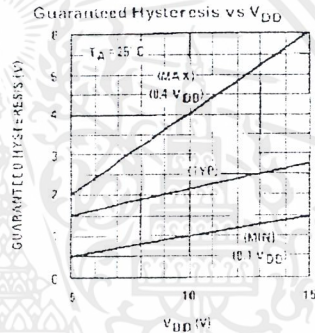
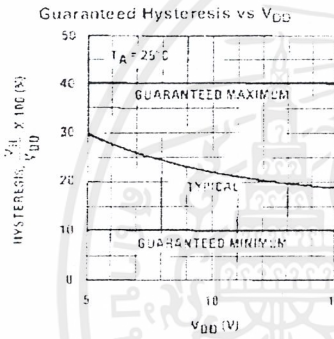
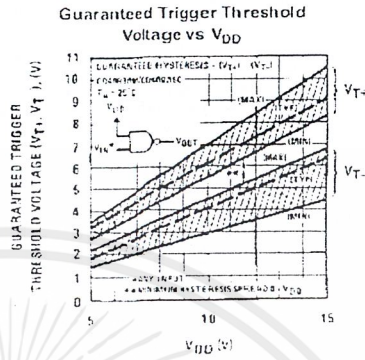
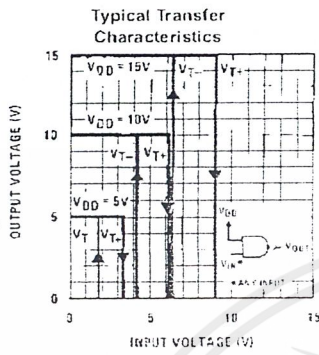


(b) Positive-Edge Triggered

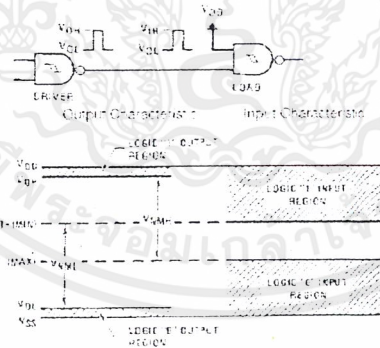


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Performance Characteristics



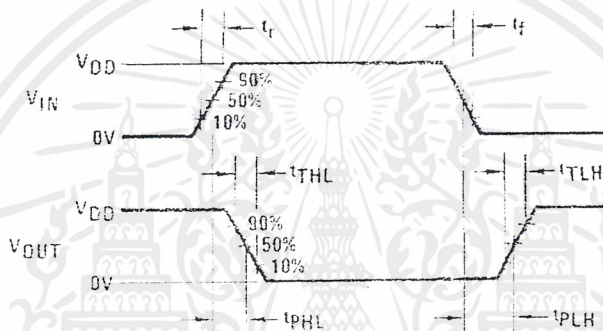
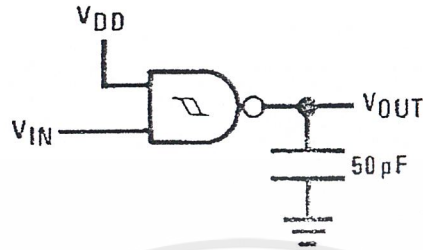
Input and Output Characteristics



$V_{OH} = V_{IH(MIN)} = V_{OL} = V_{H(MIN)} = V_{T(ON)}$   
 $V_{OH} = V_{OH} = V_{H(MIN)} = V_{DD} - V_{H(MAX)} = V_{DD} - V_{T(ON)}$

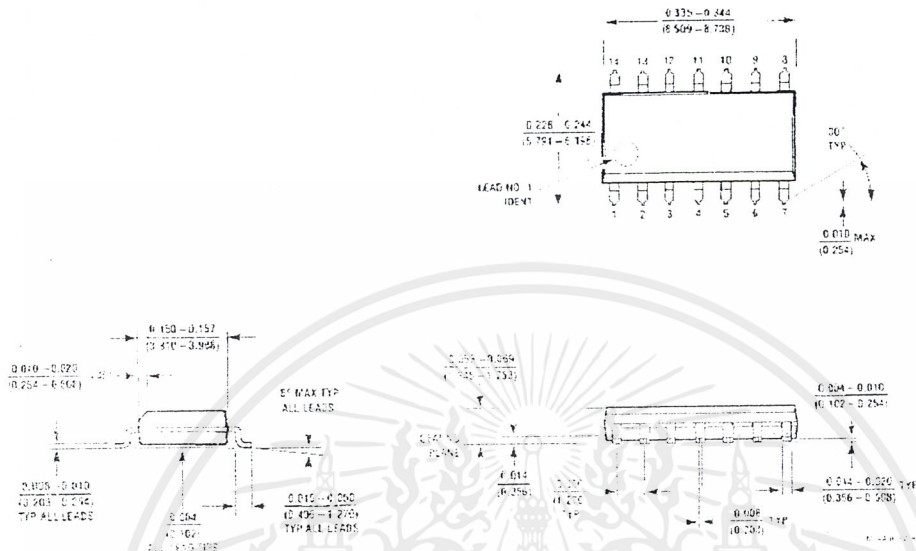
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AC Test Circuits and Switching Time Waveforms



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

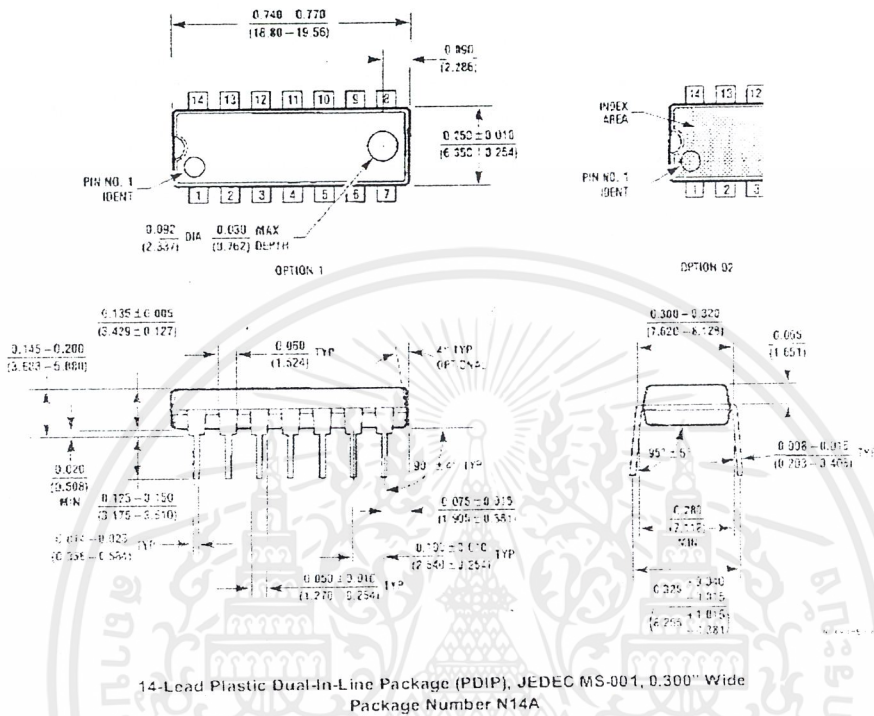
Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



16-Lead Small Outline Integrated Circuit (SOIC), JEDEC MS-120, 0.150" Narrow Body  
Package Number M14A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



LIFE SUPPORT POLICY

FAIRCHILD'S PRODUCTS ARE NOT AUTHORIZED FOR USE AS CRITICAL COMPONENTS IN LIFE SUPPORT DEVICES OR SYSTEMS WITHOUT THE EXPRESS WRITTEN APPROVAL OF THE PRESIDENT OF FAIRCHILD SEMICONDUCTOR CORPORATION. As used herein:

1. Life support devices or systems are devices or systems which, (a) are intended for surgical implant into the body, or (b) support or sustain life, and (c) whose failure to perform when properly used in accordance with instructions for use provided in the labeling, can be reasonably expected to result in a significant injury to the user.
2. A critical component in any component of a life support device or system whose failure to perform can be reasonably expected to cause the failure of the life support device or system, or to affect its safety or effectiveness.

www.fairchildsemi.com

Fairchild does not assume any responsibility for use of any circuit described; no circuit patent licenses are implied and Fairchild reserves the right at any time without notice to change circuit and specifications.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้