

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

อุปกรณ์นำร่องใช้เสียงอัลตราโซนิก  
ULTRASONIC GYROSCOPE



โดย  
นาย ชนาธิป เศษะประเสริฐ  
นาย สุ่มศ แซ่ตัน  
นาย เอกอัคร์ กำลังเอก

ปฏิญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2541

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 32625

ไม่วันที่..... ปี 18 พ.ศ. 2542

เอกสารฉบับนี้สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูงและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งในการนำไปใช้

## อุปกรณ์นำร่องใช้เสียงอัลตราโซนิก

### ULTRASONIC GYROSCOPE

โดย นาย หนาธิป เศษประเสริฐ 39013002

นาย สุเมศ แซ่ตัน 39013036

นาย เอกอัคร์ กำลึงเอก 39013073

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ สุรพล บุญจันทร์

#### บทคัดย่อ

โครงการนี้ เป็นการทดลองสร้างอุปกรณ์นำร่องโดยใช้เสียงอัลตราโซนิก โดยการส่งสัญญาณความถี่เสียงอัลตราโซนิกจากตัวส่งไปยังตัวรับผ่านเส้นทางที่กำหนดไว้ แล้ววัดเวลาที่เสียงใช้ในการเดินทางเพื่อคำนวณออกมาเป็นอัตราการหมุนของระบบ ซึ่งสามารถนำไปใช้สำหรับบอกทิศทางการเคลื่อนที่ได้

#### ABSTRACT

This project is a presentation of Ultrasonic Gyroscope. Ultrasonic sound sends from the transmitter to the receiver though the path and measure times for calculating The rate of rotation . Hence, it can present the direction.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2541

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง อุปกรณ์นำร่องใช้เสียงอุลตราโซนิก

ULTRASONIC GYROSCOPE

ผู้จัดทำ

1. นาย ชนาธิป เศษประเสริฐ 39013002
2. นาย สุเมศ แซ่ตัน 39013036
3. นาย เอกอัคร์ คำลั้งเอก 39013073

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ที่ปรึกษา

.....  
(อาจารย์ สุรพล บุญจันทร์)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
<b>บทที่ 1</b> บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของโครงการ	1
1.2 พัฒนาการของไวรัสโคป	2
<b>บทที่ 2</b> ทฤษฎีและหลักการทํางาน	5
2.1 หลักการทํางานของไวรัสโคปแสง	5
2.2 หลักการทํางานของไวรัสโคปเสียง	5
2.3 ลักษณะของคลื่นเสียง	6
2.4 คลื่นอุลตราโซนิค	9
2.5 ทรานสดิวเซอร์	12
<b>บทที่ 3</b> การออกแบบและการสร้าง	19
3.1 การออกแบบ	19
3.1.1 วงจรออสซิลเลเตอร์	19
3.1.2 วงจรภาคบัฟเฟอร์	22
3.1.3 วงจรหารความถี่	24
3.1.4 วงจรขยายสัญญาณ	24
3.1.5 ภาครับ	26
3.1.6 วงจรโมโนสเตเบิล	28
3.1.7 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	29
3.1.8 วงจรแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล	31
3.1.9 ภาคคำนวณและแสดงผล	34
3.1.10 ส่วนโปรแกรมรับข้อมูล	39
3.2 การสร้าง	40
<b>บทที่ 4</b> ลำดับขั้นการทดลอง	47
4.1 การทดลองที่ 1	47
4.1.1 วงจรออสซิลเลเตอร์	47
4.1.2 วงจรบัฟเฟอร์	47
4.1.3 วงจรหารความถี่	48
4.1.4 วงจรขยายสัญญาณ	49
4.2 การทดลองที่ 2	50
4.3 การทดลองที่ 3	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
4.4 การทดลองที่ 4	53
4.5 การทดลองที่ 5	55
บทที่ 5 สรุปและวิจารณ์	60
เอกสารอ้างอิง	
ภาคผนวก	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ใจโรสโคปเชิงกล	2
2.1 บล็อกไดอะแกรมของใจโรสโคปเสียง	5
2.2 แสดงผลึกควอทซ์และการตัดผลึก	13
3.1 วงจรกึ่งไอโซเลตโคดพิคต์ออสซิลเลเตอร์	19
3.1.1 วงจรสมมูลของออสซิลเลเตอร์แบบเชื่อมต่อกัน 3 จุดของทรานซิสเตอร์	19
3.2 วงจรบัฟเฟอร์	23
3.3 วงจรหารความถี่	24
3.4 วงจรขยายสัญญาณ	25
3.5 วงจรภาครับ	27
3.6 โมโนสเตเบิล	28
3.7 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	29
3.8 บล็อกไดอะแกรมของไอซี LTC1298	32
3.9 การสั่งงาน LTC1298 และการอ่านข้อมูล	33
3.10 โฟลวชาร์จไดอะแกรมของโปรแกรมหน้า	34
3.11 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานของโปรแกรมรับข้อมูล	39
3.12 แสดงแบบท่อที่ใช้ในการทดลอง	41
3.13 แสดงหน้าปัทม์ของออสซิลโลสโคป ใจโรสโคป	45
3.14 แสดงการวางอุปกรณ์และการเดินสายไฟ	45
3.15 แสดงท่อที่ใช้ในการทดลอง	46
3.16 แสดงการยึดตัวส่ง และตัวรับสัญญาณเสียง ออสซิลโลสโคป	46
4.1 สัญญาณจากภาคออสซิลเลเตอร์	47
4.2 เอาท์พุทของภาคบัฟเฟอร์	48
4.3 เอาท์พุทของภาคหารความถี่	49
4.4 เอาท์พุทของวงจขยายแรงดัน	50
4.5 รูปสัญญาณหลังจากต่อตัวส่ง	50
4.6 รูปสัญญาณที่ภาครับ	51
4.7 สัญญาณเอาท์พุทที่ได้จากวงจร โมโนสเตเบิล	52
4.8 สัญญาณของภาครับเทียบกับภาคส่ง	52
4.9 แสดงค่ารับเบิ้ลของภาคที่ 1	53

## สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
4.10 แสดงค่าริบเบิลของภาคที่ 2	54
4.11 แสดงค่าริบเบิลของภาคที่ 3	54
4.12 สัญญาเอาที่ทุทของภาคกรองความถี่ต่ำภาคที่ 4	55
4.13 แสดงระดับอ้างอิงเมื่อที่อยู่นิ่ง	56
4.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันเมื่อหมุนต่อตามเข็มนาฬิกา	56
4.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันเมื่อหมุนต่อทวนเข็มนาฬิกา	57
4.16 แสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันเมื่อหมุนต่อตามเข็มนาฬิกา	57
4.17 แสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันเมื่อหมุนต่อทวนเข็มนาฬิกา	58
4.18 แสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันเมื่อหมุนต่อตามเข็มนาฬิกา	58
4.19 แสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันเมื่อหมุนต่อตามเข็มนาฬิกา	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 อัตราเร็วของเสียงในตัวกลางต่าง	7
2.2 คุณสมบัติของเปียโซอิเล็กทริก	14
3.1 แสดงความสัมพันธ์ของบิทSGL/DIFF และบิทODD/SIGN	33



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาของโครงการ

ในอดีตมีอุปกรณ์เชิงกลที่สามารถนำมาใช้ตรวจจับการเปลี่ยนแปลงทิศทาง อันเนื่องมาจากการหมุนของวัตถุได้

แต่ด้วยข้อจำกัดบางประการเช่น ขนาดใหญ่ ราคาสูง และอายุการใช้งานสั้น การค้นคว้าและพัฒนาอุปกรณ์ดังกล่าวใหม่ โดยใช้หลักการทางแสงแทน ทำให้ปัญหาด้านข้อจำกัดต่างๆ ลดลงได้

หากเราจะเริ่มต้นเดินทางจากสถานที่หนึ่ง ไปยังอีกสถานที่หนึ่งโดยรถยนต์ ต้องเริ่มต้นจากการศึกษาถนนหนทางที่จะนำไปยังจุดหมาย และ ทำการกำหนดทิศทางที่จะไป จากนั้นเมื่อออกเดินทางจริง เราจะต้องคอยสังเกตสภาพแวดล้อมที่ผ่านไประหว่างทางหรือไม่ ซึ่งในการเดินทางบนทางราบเช่นในกรณีของการเดินทางโดยรถยนต์นี้ ทิศทางที่มุ่งไปจะถูกบังคับไว้อย่างอัตโนมัติด้วยถนนและป้ายสัญลักษณ์จราจรต่างๆ ถ้าเกิดเสียวิถีออกนอกเส้นทางในขณะที่กำลังเดินทาง ก็ยังคงพอแก้ไขได้ด้วยการเลี้ยวกลับมาทางเดิม นั่นก็หมายความว่าเรายังคงมีเส้นทางหลักไว้เป็นเส้นทางอ้างอิงเสมอ

แต่สำหรับในการเดินทาง ทางอากาศโดยเครื่องบิน ถึงแม้ทิศทางของการเดินทางจะถูกกำหนดได้ เช่น ถ้าจะบินจาก กรุงเทพฯ ไปหาดใหญ่ ก็คงทราบได้ทันทีว่าต้องทำการบินลงไปตามทิศใด แต่เนื่องจากเมื่อบินขึ้นไปอยู่บนท้องฟ้าแล้ว จะเสมือนอยู่ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างไปจากพื้นดินอย่างสิ้นเชิง ไม่มีป้ายหรือสัญลักษณ์ใดๆที่จะช่วยนำทาง ตลอดจนเป็นไปได้เลยที่จะสามารถบอกได้ว่าขณะนี้กำลังมุ่งหน้าไปถูกทิศทางหรือไม่ เราอาจจะมองเห็นปัญหาได้ชัดเจนยิ่งขึ้นถ้าลองจินตนาการว่าต้องทำการบินในเวลากลางคืนโดยที่สภาพแวดล้อมซึ่งสังเกตรอบตัวพบว่าไม่มีความแตกต่างกันเลยระหว่างพื้นดิน และท้องฟ้า ทำให้ไม่สามารถกำหนดจุดอ้างอิงในขณะที่เดินทางได้เลย

การใช้เข็มทิศน่าจะแก้ปัญหานี้ได้โดยการสังเกตการเบี่ยงเบนของเข็มออกจากตำแหน่งอ้างอิงหนึ่งๆ น่าจะพอบอกถึงการเดินทางในทิศทางที่ผิดไปจากเดิมได้ แต่ด้วยความก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์ในโลกปัจจุบันมนุษย์ได้ใช้ประโยชน์จากคลื่นแม่เหล็ก ไฟฟ้าทั้งในรูปของคลื่นวิทยุ คลื่นไมโครเวฟ และรูปอื่นๆอีกมากมาย ซึ่งมีผลอย่างมากต่อความน่าเชื่อถือของเข็มทิศ ดังนั้นเข็มทิศจึงอาจจะมิใช่อุปกรณ์ที่ดีที่สุดที่จะนำมาใช้ในงานทางด้านอุปกรณ์นำร่อง ด้วยเหตุนี้จึงได้มีการคิดค้นอุปกรณ์ใหม่ที่ได้รับการยอมรับกันกับการนำมาใช้งานด้านนี้ ซึ่งรู้จักกันในนามของไจโรสโคป (Gyroscope)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของอุปกรณ์ใจโรสโคปเดิมที่ประกอบด้วยล้อที่ถูกทำให้หมุนในโครงโลหะ ดังแสดงในรูปที่ 1.1 จากคุณสมบัติทางฟิสิกส์เกี่ยวกับการหมุนของวงล้อ เมื่อโครงโลหะถูกทำให้หมุน



รูป 1.1 ใจโรสโคปเชิงกล

แกนของล้อที่กำลังหมุนดังกล่าวจะชี้ไปในทิศทางสำหรับอ้างอิงและจะเปลี่ยนแปลงตามทิศทางการหมุน สามารถอธิบายได้ในเทอมของหลักฟิสิกส์ที่มีชื่อว่า โมเมนตัมเชิงมุม จริงๆแล้วในปัจจุบันมิได้ถูกจำกัดการใช้งานอยู่เพียงในเครื่องบินเท่านั้น ในยานอวกาศ รถยนต์ แม้แต่หุ่นยนต์ในโรงงานอุตสาหกรรม ก็มีการนำใจโรสโคปมาใช้กันแล้ว

## 1.2 พัฒนาการของใจโรสโคป

ตัวอย่างของใจโรสโคปอีกแบบหนึ่งที่สามารถพบเห็นได้โดยมีหลักการทำงานเชิงกลของการทำงานของอุปกรณ์ซึ่ง การสอบเทียบ (Calibration) และการบำรุงรักษาอย่างสม่ำเสมอจากผู้ใช้ และเนื่องจากใจโรสโคปแบบนี้เป็น อุปกรณ์ทางเชิงกล ความสึกหรออันเนื่องมาจากการสัมผัสกันระหว่างชิ้นส่วน ก็สามารถเกิดขึ้นได้ง่าย ผลที่ตามมาซึ่งหลีกเลี่ยงไม่ได้ก็คือ อายุการใช้งานของใจโรสโคปแบบเชิงกลจะสั้น ด้วยเหตุนี้ทำให้ความต้องการใจโรสโคปที่ไม่เป็นเชิงกลมาเกี่ยวข้องจึงมีเพิ่มขึ้น

เมื่อประมาณต้นศตวรรษที่ 19 ได้ทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ที่จะนำแสงมาใช้ในงานเอกสารทางด้านใจโรสโคป โดยมีพื้นฐานของการประยุกต์ใช้มาจากหลักการของปรากฏการณ์ Sanac ซึ่งการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สาธิตครั้งแรกโดยนักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศสชื่อ George Marc Marie Sagnac ในปี ค.ศ. 1913 ซึ่งกล่าวไว้ว่า ระยะเวลาที่แสงใช้ในการเดินทางเคลื่อนที่ครบรอบ จะขึ้นอยู่กับว่าระบบที่แสงเดินทางนั้นอยู่กับที่หรือมีการหมุน โดยเวลาที่แตกต่างกันนี้สามารถนำมาสัมพันธ์กับการหมุนได้ ซึ่งก็จะเป็นการรับรู้การหมุนเปลี่ยนทิศทาง โดยไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์ทางเชิงกลเลย

ถึงแม้จะมีทฤษฎีที่บ่งบอกถึงความเป็นไปได้ในการสร้างไจโรสโคปทางแสง แต่อุปกรณ์ที่จะนำมาสร้างไจโรสโคปทางแสงในเวลานั้นยังมีไม่เพียงพอ จนกระทั่งราว ปี ค.ศ. 1970 หลังจากที่ได้มีการประดิษฐ์แสงเลเซอร์(Laser)และพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านแสงขึ้นมา ไจโรสโคปทางแสงหรือที่รู้จักกันในนามของ เลเซอร์ไจโรสโคป (Ring Laser Gyroscope) ก็ได้ถูกสร้างขึ้นโดยมีข้อได้เปรียบหลายประการเหนือไจโรสโคปแบบเชิงกล เช่น ขนาดเล็กกว่า ปราศจากส่วนประกอบที่เคลื่อนที่จึงทำให้ลดการสึกหรอและเพิ่มอายุการใช้งาน รวมทั้งยังง่ายต่อการบำรุงรักษา

ส่วนประกอบพื้นฐานของไจโรสโคป มีอยู่ 5 ส่วนดังนี้ บล๊อครูปสามเหลี่ยมที่ทำมาจากแก้วชนิดหนึ่งซึ่งมีความแข็งมากและจะไม่ เกิดการขยายหรือหดตัวเมื่ออยู่ในสภาวะที่ร้อนหรือเย็นจัด โดยที่ภายในบล๊อคแก้วดังกล่าวมีการเจาะช่องสำหรับทางเดินของแสงโดยใช้ส่วนชนิดพิเศษ กระจกสำหรับสะท้อนแสงที่แต่ละมุมของบล๊อคแก้ว ขั้วแอโนดและแคโทด ก๊าซฮีเลียมนีออนซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางของการผลิตเลเซอร์(ถูกบรรจุอยู่ในบล๊อคแก้ว)และหัวตรวจวัดสัญญาณแสง

เมื่อจะนำไจโรสโคปนี้ไปใช้งานในเบื้องต้น จะต้องทำการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้ครบรอบขั้วแอโนดและแคโทดด้วยค่าที่พอเหมาะ เพื่อที่จะทำให้เกิดการผลิตแสงเลเซอร์ขึ้น และด้วยการออกแบบที่เหมาะสม ลำแสงเลเซอร์สองลำที่ปล่อยออกมาจากขั้วแอโนด (Anode) จะมีการเดินทางในทิศทางที่ ตรงข้ามกัน หลังจากนั้นลำแสงทั้งสองก็จะถูกทำให้เดินทางเป็นวงอยู่ในบล๊อคแก้ว ด้วยกระจกสะท้อนแสงที่ติดอยู่เมื่อเกิดการหมุนของวัตถุที่มีไจโรสโคปนี้ติดตั้งอยู่ (ในทิศทางรอบแกนของไจโรสโคป) จะมีผลทำให้ลำแสงที่เดินทางในทิศทางเดียวกับทิศทางของการหมุน จะใช้เวลาเดินทางมาถึงตำแหน่งอ้างอิงหนึ่ง (ในที่นี้ตำแหน่งอ้างอิงดังกล่าวคือ หัวตรวจวัดสัญญาณแสง) นานกว่าเดิม (ใช้เวลานานกว่าในขณะที่วัตถุหยุดนิ่ง) ในขณะที่ลำแสงที่เดินทางในทิศทางตรงข้ามกับทิศทางของการหมุนจะใช้เวลาเดินทางมาถึงตำแหน่งอ้างอิงเดียวกันสั้นกว่าเดิม (ใช้เวลาสั้นกว่าในขณะที่วัตถุอยู่นิ่ง) ความแตกต่างของเวลาที่ลำแสงทั้งสองเดินทางมาถึงหัวตรวจวัดสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงไปจากขณะวัตถุอยู่นิ่ง จะถูกบันทึกไว้และนำไปประมวลผลต่อไปเพื่อแสดงอัตราการหมุนของวัตถุนั้น (ตามหลักการของ Sagnac)

ความนิยมของการใช้ เลเซอร์ไจโรสโคปเป็นอุปกรณ์สำหรับนำทางเป็นไปอย่างแพร่หลาย เช่น ได้มีการติดตั้งเลเซอร์ไจโรสโคปทั้งในเครื่องบินโบอิง 757 และ 767 รวมทั้งเครื่องบิน

แอร์บัสบางรุ่น แต่ถึงกระนั้นก็ตามพัฒนาการของไจโรสโคปก็ได้หยุดเพียงเท่านี้ โดยที่หลังจากไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การผลิตเดเซอร์ไอโรสโคป มาได้ 12 ปี ก็ได้มีนักวิจัยบางกลุ่มมีความคิดประดิษฐ์ ไอโรสโคปทาง  
แสงชนิดใหม่ขึ้นมาโดยใช้ตัวกลางเป็นใยแสงแทนการใช้บล็อกแก้ว (a block of glass) เพื่อเป็นการ  
ลดต้นทุนและขนาดลงไปอีก โดยที่ยังคงอาศัยหลักการทางด้านแสงเช่นเดิม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการทํางาน

#### 2.1 หลักการทํางานของไจโรสโคปไยแสง

ไจโรสโคปไยแสงได้ถูกสาธิตครั้งแรกในปี ค.ศ. 1976 โดย Vari และ Shorthill อุปกรณ์โดยทั่วไปจะประกอบด้วยอุปกรณ์ทางแสง เช่น แหล่งกำเนิดแสง ผลึกแยก/รวมลำแสง หัวตรวจวัดสัญญาณแสง และที่สำคัญที่สุดก็คือไยแสงโดยความยาวของเส้นใยที่ไยก็จะประมาณ 500-1000 เมตร ขดเป็นวง เหตุผลที่ไยแสงขนาดยาวก็เพื่อเพิ่มความไวในการตรวจวัดการหมุนนั่นเอง

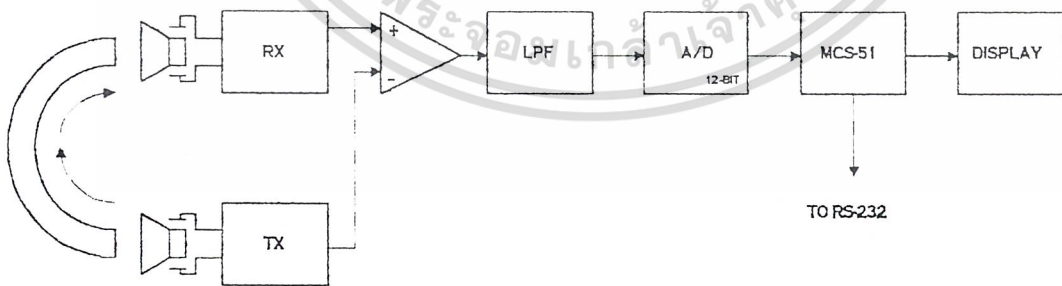
#### การทํางาน

แหล่งกำเนิดแสงจะกำเนิดแสงเลเซอร์โดยจัดให้ลำแสงผ่านผลึกแยกลำแสงออกเป็น 2 ลำ และเดินทางในทิศทางตรงข้ามผ่านขดไยแสง แล้วออกมาวมกันอีกครั้งที่ผลึกรวมลำแสงโดยที่ลำแสงที่รวมกันจะปรากฏบนฉากรับภาพ(หัวตรวจวัดสัญญาณแสง)ในกรณีที่แสงตกลงบนฉากรับภาพแล้วเกิดการแทรกสอดแบบหักล้างกันหมดทำให้ที่ฉากรับภาพไม่มีแสงปรากฏ

ในกรณีที่ทั้งระบบเกิดการหมุน จะเกิดความแตกต่างของทางเดินลำแสงทั้ง 2 ทำให้ผลรวมของแสงที่ผลึกรวมลำแสงมีค่าเปลี่ยนไป จึงเกิดจุดสว่างบนฉากรับภาพ ความสว่างที่เกิดขึ้นนี้จะขึ้นอยู่กับอัตราการหมุนของระบบ

#### 2.2 หลักการทํางานของไจโรสโคปเสียง

จากหลักการของไจโรสโคปไยแสง ถ้าเราเปลี่ยนตัวกลาง จากเส้นใยแสง เป็นท่อนำเสียง และจากแสงที่เดินทางในเส้นใยแสงมาเป็นเสียงอัลตราโซนิก(Ultrasonic) และจากหลักการเดียวกัน เราจะนำมาสร้างเป็นไจโรสโคปเสียงมีราคาถูกกว่าไจโรสโคปไยแสง และมีความสามารถในการวัดทิศทางได้ บล็อกไดอะแกรมของไจโรสโคปเสียง ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 บล็อกไดอะแกรมของไจโรสโคปเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานเริ่มจากภาคส่ง กำเนิดสัญญาณเสียงอุตสาหกรรม 40kHz ส่งผ่านท่อนำเสียงไปยังภาครับ เสียงที่เดินทางผ่านท่อนำเสียงนี้มีความเร็วในการเดินทางประมาณ 346 เมตร/วินาที ระยะเวลาที่เสียงใช้ในการเดินทางออกจากภาคส่งมาถึงภาครับใช้เวลาประมาณ 2.8 มิลลิวินาที จากนั้นสัญญาณเสียงที่ภาครับ รัับได้ จะนำมาเทียบเฟส(Phase)กับสัญญาณเสียงที่ภาคส่ง ความต่างเฟสที่ได้ที่ภาคเทียบเฟส จะถูกส่งผ่านเข้าภาค กรองความถี่ต่ำผ่าน โดยภาคกรองความถี่ต่ำผ่านนี้จะยอมให้เฉพาะระดับแรงดันไฟตรงผ่านไปได้เท่านั้น ระดับแรงดันไฟตรงที่ได้นี้จะมีค่าคงที่ค่าหนึ่งเมื่อความต่างเฟสมีค่าคงที่นั่นคือระบบอยู่นิ่ง และเมื่อระบบมีการเคลื่อนที่จะทำให้เวลาที่เสียงใช้ในการเดินทางในท่อเปลี่ยนแปลงไป ทำให้ผลต่างเฟสที่ได้จากภาคเทียบเฟสมีค่าเปลี่ยนไปจึงทำให้ระดับแรงดันไฟตรงที่ได้จากภาคกรองความถี่ต่ำผ่าน มีระดับเปลี่ยนไปด้วย ขนาดของแรงดันที่เปลี่ยนไปนี้ จะแปรผันตรงกับอัตราหมุมของระบบ ซึ่งแรงดันไฟตรงที่ได้นี้สามารถคำนวณออกมาเป็นอัตราหมุมได้

จากนั้นนำระดับแรงดันไฟตรงเข้าสู่ภาคแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (analog to digital converter) เพื่อแปลงระดับแรงดันเป็นค่าของข้อมูลและส่งเข้าภาคประมวลผลเพื่อแสดงผล

### 2.3 ลักษณะของคลื่นเสียง

เสียงเป็นคลื่นตามยาว (Longitudinal wave) สามารถเคลื่อนที่ผ่านไปมาในของแข็งของเหลว และก๊าซได้ อนุภาคของตัวกลางที่คลื่นเสียงเคลื่อนที่ผ่าน จะมีการเคลื่อนที่กลับไปกลับมาในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของคลื่น คลื่นเสียงอย่างง่ายที่จะกล่าวถึงนี้ เป็นคลื่นเสียงซิมเปิลฮาร์โมนิก (Simple Harmonic) ซึ่งอนุภาคที่เสียงเคลื่อนที่ผ่านจะมีการสั่นกลับไปกลับมาแบบซิมเปิลฮาร์โมนิก ทำให้เราสามารถหาค่าความยาวคลื่น ความถี่ และ แอมพลิจูด (Amplitude) ได้

เสียงเกิดจากการสั่นของต้นกำเนิดเสียง ทำให้อนุภาคของตัวกลางเกิดการสั่นสะเทือนจนกระทั่งมากระทบกับประสาทหู จึงเกิดการรู้สึกได้ขึ้นขึ้นได้ ถ้าไม่มีตัวกลาง เสียงจะเคลื่อนที่ไม่ได้ ด้วยเหตุนี้ เสียงจึงเดินทางผ่านสุญญากาศไม่ได้ แต่คลื่นเสียงสามารถเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็ง และของเหลวได้

การเกิดคลื่นเสียงในอากาศเกิดจากการสั่นของต้นกำเนิดเสียง ทำให้โมเลกุลในอากาศเกิดการเคลื่อนที่ในลักษณะที่เป็นช่วงอัด และช่วงขยาย และเมื่อคลื่นของช่วงอัด และช่วงขยายเคลื่อนที่เข้าสู่หูของคนเราก็จะทำให้เราได้ยินเสียงขึ้น

กำหนดให้เดิมโมเลกุลอากาศแต่ละโมเลกุลอยู่ห่างกัน 1 เซนติเมตร เมื่อเคาะตีฆ้องเสียง ทำให้เสียงเคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลอากาศ เป็นผลทำให้โมเลกุลอากาศเกิดการเรียงตัวใหม่ เป็นช่วงอัด และช่วงขยาย ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อส้อมเสียดันจะทำให้เกิดคลื่นซิมเปิลฮาร์โมนิกเคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลอากาศ ทำให้โมเลกุลอากาศเกิดการเคลื่อนที่เป็นช่วงอัดและช่วงขยายในการพิจารณาค่าแอมพลิจูด ความยาวคลื่น และความถี่ ให้พิจารณา จากคลื่นซิมเปิลฮาร์โมนิกแทนการสั่นของโมเลกุลอากาศ เรนเรียกว่า คลื่นการขจัด และจากการที่โมเลกุลอากาศเกิดการอัดตัวและขยายตัวนี้ ทำให้อากาศมีความดันเปลี่ยนแปลงไป โดยบริเวณที่อากาศอัดตัวเข้าหากันจะมีความดันอากาศสูง และบริเวณที่โมเลกุลอากาศขยายตัวแยกจากกัน จะมีความดันอากาศต่ำความดันอากาศที่แตกต่างจากความดันปกติ เรียกว่า ความดันแกจ (Pressure Gage) ซึ่งเป็นตัวแสดงความดันของเสียง ดังนั้นบริเวณที่เป็นช่วงอัด และช่วงขยายจึงมีความดันแกจสูง ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ให้เสียงดัง และเป็นตำแหน่งที่มีแอมพลิจูดของความดันมากที่สุด

ในการศึกษาเรื่องเสียง เราอาจใช้คลื่นความดัน หรือการขจัด อันใดอันหนึ่งมาพิจารณาก็ได้ ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่เรากำลังพิจารณาอยู่

ความดังของเสียงที่เกิดขึ้นอยู่กับความดันแกจ ถ้าความดันแกจสูง จะให้เสียงดัง ความดันแกจต่ำจะให้เสียงค่อย ดังนั้น ในการพิจารณาพลังงานของเสียง หรือความดังค่อยของเสียงให้พิจารณาจากคลื่นความดัน สำหรับการสะท้อนของคลื่น เราพิจารณาที่การสะท้อนนั้นเป็นปลายครึ่งแน่นหรือปลายอิสระ คิวเหตุผลนี้เงื่อนไขการสะท้อนจึง พิจารณาจากคลื่นการขจัด

#### อัตราเร็วของเสียง

เนื่องจากเสียงเป็นคลื่นตามยาวต้องอาศัยตัวกลางในการเคลื่อนที่ ดังนั้น อัตราเร็วของเสียงจึงไม่คงที่ ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลาง และคุณสมบัติของตัวกลาง ได้แก่ ความหนาแน่น สมบัติความยืดหยุ่นของตัวกลาง และอุณหภูมิของตัวกลางนั้นๆ อัตราเร็วของเสียงในตัวกลางต่างๆ คุ้ได้จากตารางต่อไปนี้

ตัวกลาง	อัตราเร็วของเสียง(เมตร/วินาที)	
	ที่ 0 °C	ที่ 20 °C
อากาศ	331.5	343.0
ไฮโดรเจน	1,270.0	1,331.0
น้ำ	1,450.0	1,474.0
เหล็ก	5,100.0	5,130.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ตารางที่ 2.1 อัตราเร็วของเสียงใน ตัวกลาง ต่างๆ ปรากฏในหน้าไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราเร็วของเสียงในอากาศ โดยทั่วไปขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในหน่วยของสจัทัมบูรณ์ ตามความสัมพันธ์ดังนี้

$$v \propto \sqrt{T}$$

โดย  $v$  = อัตราเร็วเสียง (เมตร/วินาที)

$T$  = อุณหภูมิ (เคลวิน)

การหาอัตราเร็วเสียงในอากาศ ณ อุณหภูมิต่าง ๆ

จากการวัดอัตราเร็วเสียงที่  $0^{\circ}\text{C}$  ได้เท่ากับ 331 เมตร/วินาที

ต้องการหาอัตราเร็วเสียงที่  $t^{\circ}\text{C}$

จาก

$$v \propto \sqrt{T}$$

หรือ

$$v = K\sqrt{T}$$

ถ้า  $t = 0^{\circ}\text{C}$  ,  $T = 273\text{ K}$  ได้  $v = 331\text{ m/s}$

แทนค่าลงในสมการจะได้

$$331 = K\sqrt{273} \dots \dots \dots (1)$$

ถ้า  $t = t + 273\text{ K}$  ให้  $v = v_t$

แทนค่าลงในสมการจะได้

$$v_t = K\sqrt{(t + 273)} \dots \dots \dots (2)$$

นำ (2) / (1) จะได้

$$v_t = 331\sqrt{(t + 273)/273}$$

$$v_t = 331\sqrt{(t/273) + 1} \dots \dots \dots (3)$$

จากการกระจายเทอม

$$\sqrt{(t/273) + 1}$$

จะได้

$$\sqrt{1 + (t/273)} = 1 + \frac{t}{546}$$

$$\sqrt{1 + (t/273)} = 1 + \frac{1}{2} \times \frac{t}{273} + \dots \dots \dots (4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญตเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แทนค่าในสมการที่ (3) จะได้

$$v_t = 331 + 0.6t$$

$$v_t = 331 \times \left(1 + \frac{t}{546}\right)$$

จากสมการข้างบนจะเห็นได้ว่า ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนไป  $1^\circ\text{C}$  อัตราเร็วเสียงจะเปลี่ยนไป 0.6 เมตรต่อวินาที

**ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่, ความยาวคลื่นและอัตราเร็ว**

เนื่องจากเสียงเป็นคลื่น ดังนั้นความถี่ของเสียงจึงขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดเสียง สำหรับอัตราเร็วของเสียงขึ้นอยู่กับชนิดของตัวกลาง และอุณหภูมิ ส่วนความยาวคลื่น ขึ้นอยู่กับความถี่และความเร็วตามสมการ

$$v = \lambda f$$

เมื่อ  $v =$  อัตราเร็วของเสียง,  $\lambda =$  ความยาวคลื่น,  $f =$  ความถี่

## 2.4 คลื่นอุลตราโซนิก

ความหมายของคลื่นอุลตราโซนิก

อุลตราโซนิก หมายถึงคลื่นที่มีความถี่สูงกว่าที่มนุษย์จะได้ยิน โดยทั่วไปแล้วหูของมนุษย์จะได้ยินในย่านความถี่ 20 เฮิร์ต ถึง 20 กิโลเฮิร์ต อุลตราโซนิกที่กล่าวถึงโดยทั่วไปจึงหมายถึงคลื่นที่มีความถี่สูงกว่า 20 กิโลเฮิร์ต ขึ้นไป

**ชนิดของคลื่นอุลตราโซนิก**

คลื่นอุลตราโซนิก ที่เดินทางผ่านตัวกลางต่างๆ มีหลายชนิดด้วยกันแต่ละชนิดจะแตกต่างกันตามการเคลื่อนที่ของอนุภาคในตัวกลางนั้น

**คลื่นตามยาว (Longitudinal Wave)** คือคลื่นชนิดหนึ่งซึ่งทุกๆจุดบนคลื่นมีการเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกันกับทิศทางการเคลื่อนที่ คลื่นความยาวนี้สามารถเดินทางผ่านของแข็ง ของเหลว และก๊าซ โดยมากถ้ากล่าวถึงความเร็วของคลื่นแล้วจะหมายถึงความเร็วของคลื่นตามยาว ในการพิจารณาคลื่นตามยาวที่เดินทางผ่านตัวกลางต่างๆ ใต้นั้น ตัวกลางจะต้องมีขนาดใหญ่พอเมื่อเทียบกับความยาวคลื่น

**คลื่นตามขวาง (Transverse Wave)** คือคลื่นที่ทุกๆจุดบนคลื่นมีการเคลื่อนที่ในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ คลื่นชนิดนี้จะเดินทางผ่านตัวกลางที่มีขนาดของตัวกลางใหญ่กว่าขนาดของความยาวคลื่นและสามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของแข็ง คลื่นชนิดนี้ไม่สามารถเดินทางผ่านตัวกลางที่เป็นของเหลวและก๊าซ

คลื่นตามขวางมีลักษณะเสมือนการเกิดขั้วลบและขั้วบวก ซึ่งเป็นเหตุผลว่าการเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคเป็นไปเพียงทิศทางเดียว เช่นในระนาบที่ตั้งฉากกับทิศทางของคลื่นที่เคลื่อนที่ไป ต้นกำเนิดของคลื่นตามขวางเป็นพื้นที่หน้าเรียบของระนาบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงของอนุภาคอันเนื่องจากการแกว่ง

ความหนาแน่นของตัวกลางจะไม่เปลี่ยนแปลงโดยการเคลื่อนที่ของคลื่นแบบตามขวาง ความเร็วของคลื่นชนิดนี้จะน้อยกว่าความเร็วของคลื่นชนิดตามยาว ในขณะที่เดินทางผ่านตัวกลางชนิดเดียวกัน ดังนั้นที่ความถี่เดียวกัน ความยาวคลื่นของคลื่นตามขวางจะน้อยกว่าคลื่นตามยาวเสมอ

คลื่นผิวหน้า (Surface Waves or Rayleigh) คือคลื่นชนิดหนึ่งซึ่งคล้ายกับคลื่นตามขวางจะต่างกันตรงที่ว่า การเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคไม่เป็นเพียงในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่เพียงอย่างเดียว แต่มีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกับทิศทางของการเคลื่อนที่ด้วย จึงทำให้คลื่นเคลื่อนที่ไปตามระนาบในแนวอน ค้วยเหตุนี้คลื่นจึงเดินทางผ่านไปเฉพาะบนผิวของตัวกลางเท่านั้น

#### การเกิดอูลตราโซนิก

อูลตราโซนิกเป็นคลื่นที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงพลังงานในรูปอื่น ให้มาเป็นพลังงานกล โดยการสั่นไปมาเหมือนเกิดจากการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกล ทำให้เกิดคลื่นย่านอูลตราโซนิกกระจายออกไปในอากาศดังนั้นจึงถือได้ว่าคลื่นที่เกิดขึ้นเป็นคลื่นกล (Mechanical Wave) อูลตราโซนิกสามารถสร้างได้ โดยตัวทรานสดิวเซอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานกล หลักการสร้างมีหลายวิธีดังนี้

แบบเพียโซอิเล็กทริก (Piezo-electric transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าและพลังงานกล โดยมีความถี่เรโซแนนท์คงที่อยู่ค่าหนึ่ง

แบบแมกนีโตสตริกทีฟ (Magnetrostrictive transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้าในขดลวดกับตำแหน่งความยาวของแกนเหล็กที่สวมขดลวดนั้นอยู่

แบบอิเล็กโตรสตริกทีฟ (Electrostrictive transducer) ซึ่งแปลงไปมาระหว่างพลังงานไฟฟ้ากับพลังงานกล

สำหรับแบบเพียโซอิเล็กทริกเป็นแบบที่นิยมใช้เพราะมีราคาถูก หาซื้อง่ายรายละเอียดของเพียโซอิเล็กทริกจะกล่าวถึงในภาคหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ความถี่และความยาวคลื่น (Frequency and Wavelength)

ความถี่ คือ จำนวนของการอสซิลเลตที่สมบูรณ์จากแหล่งกำเนิดคลื่นภายในหนึ่งวินาที คลื่นที่ถูกส่งจากแหล่งกำเนิดจะเดินทางด้วยความถี่ที่เดียวกัน เช่น อัตราการสั่นของสายไวโอลินที่มีความถี่ 440 เฮิร์ต มันก็就会有ความถี่เดียวกันกับคลื่นที่ถูกส่งและรับได้จากผู้ฟัง ความยาวคลื่น คือระยะทางที่คลื่นเดินทางระหว่างแต่ละการสั่นที่สมบูรณ์หรือการเดินทางครบรอบ (1 cycle) สามารถกล่าวได้ว่าความยาวคลื่นเป็นระยะทางระหว่างการอัดอย่างต่อเนื่อง (Successive Compressions) หรือการเบาบางของอากาศ (Rarefaction) การอัดคือการที่บริเวณนั้นมีความหนาแน่นของโมเลกุลและแรงดันมากกว่าบริเวณรอบๆ ส่วนการเบาบางเป็นบริเวณเฉพาะที่เกิดการลดความหนาแน่นของโมเลกุลและแรงดันสัมพันธ์กับแรงดันของบรรยากาศปกติ

### ความเร็วของคลื่นอุลตราโซนิค

คลื่นที่เดินทางในตัวกลางที่แตกต่างกันด้วยความเร็วที่แตกต่างกันและขึ้นอยู่กับอุณหภูมิเพียงเล็กน้อย ทั้งหมดนี้เป็นสาเหตุแรกสำหรับการโค้งตัวของคลื่นในบรรยากาศสำหรับทฤษฎีที่แสดงสำหรับความเร็วของคลื่นในก๊าซอุดมคติ (ideal gas) จะเป็นดังนี้

$$c = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}}$$

โดย  $p$  = แรงดันที่ล้อมรอบ

$\gamma$  = ความหนาแน่นของก๊าซ

$\rho$  = อัตราส่วนของความร้อนของก๊าซที่แรงดันคงที่ต่อความร้อนที่ปริมาตรคงที่

ปริมาณพลังงานของคลื่นอุลตราโซนิค

ปริมาณพลังงานของคลื่นอุลตราโซนิคจะถูกวัดในรูปความเข้มของคลื่นอุลตราโซนิคซึ่งจะมีหน่วยเป็นวัตต์ ต่อ ตารางเซนติเมตร ( $W/cm^2$ ) เป็นการไหลของพลังงานผ่านพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตรซึ่งตั้งฉากกับทิศทางการเดินทางของคลื่นใน 1 วินาที

### การลดทอนของคลื่นอุลตราโซนิค

เมื่อคลื่นเดินทางผ่านตัวกลาง ดำคลื่น (Beam) ของคลื่นอุลตราโซนิคจะสูญเสียความเข้มซึ่งเกิดจากการสูญเสียของลำคลื่นอุลตราโซนิค หรือเกิดจากการกระจายพลังงานของคลื่นออกจากลำคลื่น เนื่องจากความไม่ต่อเนื่องในตัวกลาง และอาจเกิดจากการดูดซับพลังงานส่วนหนึ่งของคลื่น โดยตัวกลางที่คลื่นเคลื่อนที่ผ่าน พลังงานที่ดูดซับนี้จะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานความร้อน การดูดซับพลังงานนี้ขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของวัสดุ ความยืดหยุ่นและความหนาแน่น รวมทั้งความถี่ของคลื่นที่ใช้ ยิ่งความถี่สูงพลังงานจะยิ่งถูกดูดซับมาก

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 ทรานสดิวเซอร์

### ปรากฏการณ์เพียโซอิเล็กทริก

เพียโซอิเล็กทริกเป็นปรากฏการณ์ธรรมชาติอย่างหนึ่งซึ่งทำให้พลังงานสามารถเปลี่ยนแปลงจากรูปหนึ่งไปเป็นอีกรูปหนึ่งได้ กล่าวคือ ถ้าป้อนแรงกลให้แก่ โขลิตคริสตอลไลน์ ไดอิเล็กทริก (Solid Crystalline Dielectric) ก็จะเกิดความเค้น (Stress) ภายในคริสตอล และทำให้คริสตอลแลตทิซ (Crystal Lattice) ผิดรูปไปเช่น พวก ควอทซ์ (Quartz) ผลก็คือประจุจะเปลี่ยนไป การผิดรูปร่างของแลตทิซเป็นผลให้คามสัมพันธ์ระหว่างการแทนที่ (Displacement) ของประจุบวกและลบในแลตทิซ เปลี่ยนไป การแทนที่ของประจุภายในจะเท่ากับประจุภายนอกของขั้วที่ตรงกันข้ามบนด้านตรงกันข้ามของคริสตอล เรียกว่า ผลของ เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectric Effect)

การวัดประจุทำได้โดยการต่ออิเล็กโทรด (electrode) เข้าที่ผิวด้านนอกแล้ววัดความต่างศักย์ระหว่างขั้วทั้งสอง ขนาด และ การมีขั้ว ของประจุบนผิวที่ถูกเหนี่ยวนำ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดและทิศทางของแรง ที่มากระทำ

$$Q = dF \quad \text{คูลอมป์}$$

D คือ ค่าคงที่ของเพียโซอิเล็กทริกของคริสตอล

F เป็นแรงที่ทำให้คริสตอลสั้นตัวไปมาเป็นระยะทาง  $\Delta t$  ประจุเหนี่ยวนำเขียนในเทอมของระยะทางคือ

$$Q = d a Y \Delta t / t$$

a คือ พื้นที่ของคริสตอล ( $m^2$ )

t คือ ความหนาแน่นของคริสตอล (m)

Y คือ ค่ายังส์โมดูลัส (Young's modulus) ( $N/m^2$ )

สามารถเขียนสมการใหม่ได้ว่า

Y - ความเค้น/ความเครียด

- stress / strain

-  $Ft / a \Delta t$

ประจุที่อิเล็กโทรด จะทำให้เกิดโวลต์เตจเพิ่มขึ้นโดยสมการ

$$E_o = Q / C$$

C เป็นค่าคาปาซิแตนซ์ระหว่างอิเล็กโทรด (ฟารัด)

และ

$$C = a / t$$

= ค่าสัมบูรณ์ของการซึมซาบ (absolute permittivity)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
คั้งนั้น เอาท์พุท โวลต์เตจ จะเป็น  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E_o = dtF / Ea = gtF / a = gtp$$

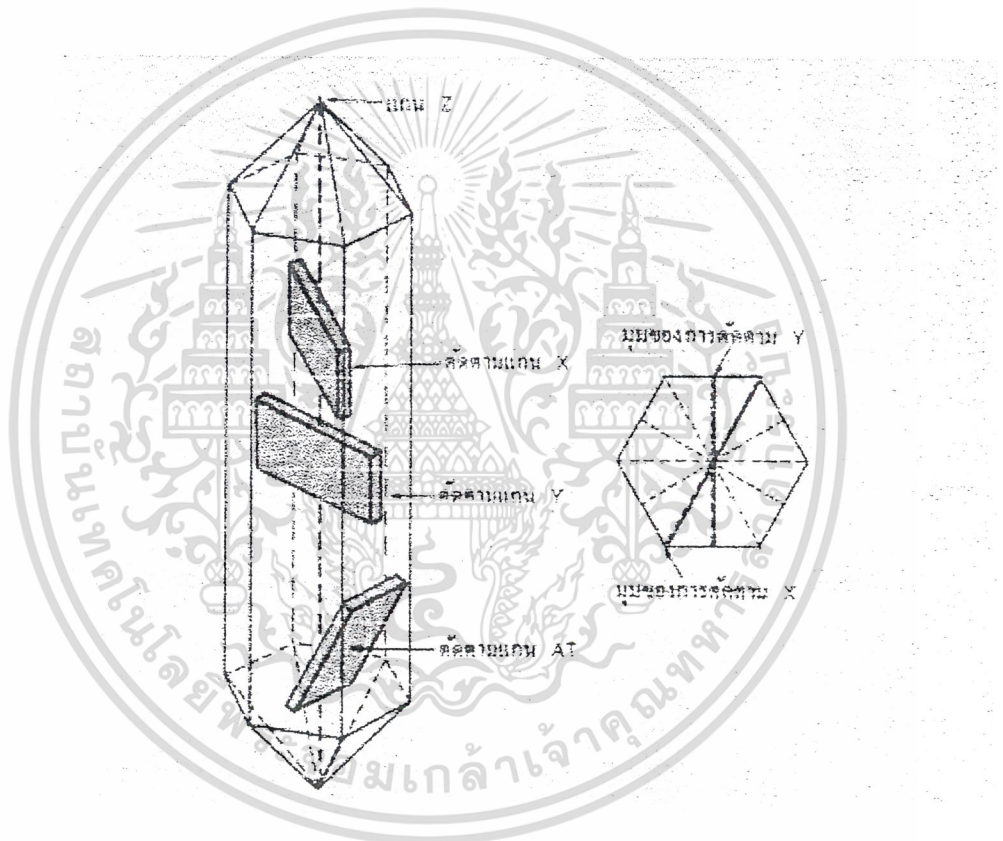
$g$  คือ ความไวของโวลต์เตจ (voltage sensitivity)

ในหน่วย (volt/m)/(newton/m<sup>2</sup>)

โดย  $g = d/\epsilon$

$P$  คือ แรงกดดันที่กระทำต่อคริสตอลเป็โซอิเล็กทริก

โดย  $P = F/a$



รูปที่ 2.2 แสดงผลึกควอทซ์และการตัด

ชิ้นส่วนเป็โซอิเล็กทริก (Piezoelectric element) จะมีการตัดแบบต่างๆเพื่อผลทางสัมประสิทธิ์ทางอุณหภูมิซึ่งการตัดก็ถือวิธีการตัดตามแกนต่างๆ

วัสดุเป็โซอิเล็กทริกที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง เช่น Quartz , Tourmaline Rochelle salt , Ammonium Dihydrogen Phosphate (ADP) , Lithium Sulphate , Barium Titanate และ Lead

Zirconate Titanate(PZI) โดยทั่วไปแล้วพวกควอทซ์และคริสตอลที่เป็นเป็โซอิเล็กทริกที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ เมื่อนักศึกษาเห็นว่าไม่เกี่ยวข้องกับการค้า  
สังเคราะห์ขึ้นมา เช่น แบเรียมไททานเนต เซรามิก จะต้องนำมาทำการอบคริสตอลภายใต้แรงดัน  
ไม่ต่ำกว่าหนึ่งถึงสอง กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และต้องให้อุณหภูมิของเอกสารที่กล่าวถึงทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และวางวัสดุที่ได้นี้ในสนามไฟฟ้าที่มีความแรงของ กระแสไฟตรงมาก หลังจากนั้นส่วนนี้ถูกนำไปในสนามไฟฟ้าแล้ว คริสตอลนี้จะมีขั้วตามแนวของทิศทางของสนามและประพฤติกรรมตามคุณสมบัติของเปียโซอิเล็กทริก สำหรับชิ้นส่วนวัสดุที่ทำจากวัสดุสังเคราะห์นี้ไม่มีข้อจำกัดทางขนาดโดยสร้างของคริสตอล และยังสามารถทำให้มีรูปร่างและขนาดต่างๆและทิศทางของขั้วก็จะถูกสร้างขึ้นระหว่างขั้นตอนการผลิต

ตาราง 2.2 คุณสมบัติของเปียโซอิเล็กทริก (Properties of Piezoelectric materials)

Physical Property	Units	Quartz (x - cut)	Lithium Sulfate	Barium Titanate
Density	$10^3 \text{ Kg/m}^3$	2.65	2.06	5.5
Velocity	$10^3 \text{ m/s}$	5.45	5.44	4.49
Acoustic				
Impedance	$10^6 \text{ Kg/m}^2 \text{ s}$	14.4	11.2	24.7
Young's				
Modulus	$10^{10} \text{ N/m}^2$	7.9	6.1	11.1
Dielectric	relative			
Constant	to vacuum	4.57	10.3	1250
Piezoelectric				
Constant	$10^{-12} \text{ m/v}$	2.25	16	145
Mechanical	-	$10^6$	-	450
Quality				
Factor curie				
Temperature	C	575	75	115

### ชนิดของเปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์

เปียโซอิเล็กทริกทรานสดิวเซอร์สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

แบบ Generation-Action transducer ใช้เป็นตัวรับโดยแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะหาได้จากแรงดัน  
เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
และควมดีที่มีมากระทำต่อวัสดุเปียโซอิเล็กทริก  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อผู้อื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบ Motor-Action transducer ใช้เป็นตัวส่งโดยการเปลี่ยนแปลงของรูปร่างที่ทำให้เกิดคลื่นอูดตราโซนิค จะขึ้นอยู่กับขนาดความสูงและความถี่ของแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนให้ในทั้งสองกรณี กรณีค่าแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับขนาดของวัสดุ

#### การทำงานของทรานสดิวเซอร์ตัวส่งและตัวรับ

เมื่อเซรามิกได้รับสัญญาณแรงดันมาครบรอบ จะทำให้ชั้นสารเซรามิกโค้งงอทำให้เกิดการอัดอากาศโดยรอบเกิดเป็นคลื่นขึ้นมา ดังนั้นถ้าป้อนสัญญาณเป็นห้วงๆ (Electrically Pulse) จากออสซิลเลเตอร์ก็จะทำให้ชั้นสารโค้งงอมากขึ้นหรือทิศทางใดตามขนาดและทิศทางการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณไฟฟ้าจากออสซิลเลเตอร์นั้นออกไปโดยทั่วไปกำลังเอาท์พุทที่ออกมาจะตกลงประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ของกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้แต่เอาท์พุทจะสูงที่ค่านี้ โดยประมาณก็ต่อเมื่อความถี่ของสัญญาณออสซิลเลเตอร์ที่ป้อนเข้าชั้นสารเซรามิกตรงกับความถี่เรโซแนนท์ที่เป็นความถี่ทางกลตามธรรมชาติของชั้นสารเซรามิกนั้นๆ ส่วนที่ความถี่อื่นๆกำลังเอาท์พุทจะลดลงกว่านี้

ส่วนการทำงานของทรานสดิวเซอร์ตัวรับ มีการทำงานตรงกันข้ามกับตัวส่งคือเมื่อมีคลื่นเสียงที่มีความถี่ตรงกับความถี่เรโซแนนท์ของชั้นสารเซรามิกเข้ามาจะทำให้ชั้นสารโค้งตัวไปมาและเกิดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าขึ้นซึ่งมีขนาดถี่ถี่ ขึ้นคร่อมขั้วทั้งสองของตัวมัน คุณสมบัติโดยทั่วไปของคลื่นอูดตราโซนิคทรานสดิวเซอร์แบบเปียโซอิเล็กทริกก็คือมีความต้านทานไฟตรงสูงมากอาจสูงถึง 100 เมกะโอห์ม เรียกว่าถ้าเอาอิมพีแดนซ์รวมมาตั้งสเกลวัดค่าความต้านทานสูงๆเข้าจะไม่กระดิกเลยแต่ในขณะที่มันทำงานความต้านทานไฟสถับจะลดลง

ข้อควรรู้ในการใช้งานตัวส่งและตัวรับพอที่จะสรุปเป็นแนวทางใช้งานดังนี้

1. ไม่ควรให้ตัวทรานสดิวเซอร์ได้รับการกระทบหรือตกจากที่สูงเพื่อป้องกันโครงสร้างภายในให้เสียหาย
2. ทรานสดิวเซอร์ที่มีขายกัน โดยทั่วไปจะทนแรงดันตกคร่อมตัวมันสูงสุดได้ไม่เกิน 20 Vrms ดังนั้นขนาดของสัญญาณที่จะป้อนให้กับตัวทรานสดิวเซอร์ก็ควรอยู่ภายในขีดจำกัดอันนี้
3. ความถี่เรโซแนนท์ (ความถี่ที่ตัวมันทำงานอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด) ของทรานสดิวเซอร์ 40 กิโลเฮิร์ต ที่มีขายกัน โดยทั่วไปจะผิดพลาดไปไม่เกิน +1 กิโลเฮิร์ต และมีแถบความถี่ประมาณ 4.5 กิโลเฮิร์ต (bandwidth) สำหรับตัวส่งและมีแถบความถี่ประมาณ 5.0 กิโลเฮิร์ต สำหรับตัวรับจะเห็นได้ว่าแถบความถี่ของตัวรับจะกว้างกว่าของตัวส่งเล็กน้อยเพื่อให้แน่ใจว่าตัวรับจะสามารถรับความถี่ทั้งหมดที่ออกมาจากตัวส่งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

4. อุณหภูมิใช้งานของตัวทรานสดิวเซอร์ควรอยู่ภายในช่วง -20 ถึง 60 องศาเซลเซียส

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ทั้งตัวส่งและตัวรับจะมีทิศทางคล้ายคลึงกันมากกล่าวคือ ที่ตำแหน่งเบนจากแนวแกนของตัวส่งไปประมาณ 30 องศา ความแรงของคลื่นเสียงที่ถูกส่งออกไปจะลดลงจากแนวแกนประมาณ 10 เดซิเบล ในทำนองเดียวกันถ้าคลื่นเสียงพุ่งเข้ามาในแนวที่เบี่ยงเบนไปจากแนวแกนของตัวรับไปประมาณ 30 องศา ความไวหรือขนาดแรงดันที่ออกมาที่ลดลงไปประมาณ 10 เดซิเบลด้วยเช่นกัน

การคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันที่มีการเปลี่ยนแปลงกับอัตราหมุนวิธีการแปลงความเร็วแบบกาลิเลโอ เนื่องจากเป็นความเร็วต่ำ

ให้ความเร็วในการหมุน =  $\bar{V}_\Omega$ .....m/sec

ให้ความเร็วของเสียง =  $\bar{V}_s$ .....m/sec

ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างท่อกับเสียงจะเป็นดังนี้  
เมื่อท่อหมุนในทิศทางเดียวกันกับทิศทางของเสียง

$$\bar{V}'_s = \bar{V}_s - \bar{V}_\Omega$$

เมื่อท่อหมุนในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของเสียง

$$\bar{V}'_s = \bar{V}_s + \bar{V}_\Omega$$

$$\Delta t = \frac{l}{\bar{V}_s} - \frac{l}{\bar{V}'_s}$$

$$= \frac{l}{\bar{V}_s} - \frac{l}{\bar{V}_s + \bar{V}_\Omega}$$

$$= l \left( \frac{\bar{V}_s + \bar{V}_\Omega - \bar{V}_s}{\bar{V}_s^2 + \bar{V}_s \bar{V}_\Omega} \right)$$

$$\bar{V}_\Omega l = \bar{V}_s^2 \Delta t + \bar{V}_s \bar{V}_\Omega \Delta t$$

$$\bar{V}_s^2 \Delta t = \bar{V}_\Omega (l - \bar{V}_s \Delta t)$$

$$\bar{V}_\Omega = \frac{\bar{V}_s^2 \Delta t}{l - \bar{V}_s \Delta t} \dots\dots\dots m/sec$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับภาค  $\frac{1}{T} \int_0^T V_{cc} dt$  เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_1 = V_{cc} \left( \frac{T_1}{T} \right)$$

$$\Delta V = \frac{V_{cc}}{T} (T_1 - T_2)$$

$$= \frac{V_{cc}}{T} \Delta t$$

$$\therefore \Delta t = \left( \frac{\Delta V}{V_{cc}} \right) T$$

$$V_1 = D_1 \left( \frac{5}{4095} \right)$$

$$\therefore \Delta V = \left( \frac{5}{4095} \right) \Delta D$$

เปลี่ยนความเร็วในการหมุนให้เป็น องศาต่อวินาที

$$\bar{V}_\Omega \Rightarrow m/sec \Rightarrow degree/sec$$

$$L = 360^\circ$$

$$\therefore 1 = \left( \frac{360}{L} \right)^\circ$$

$$\therefore \bar{V}_\Omega = \left[ \frac{\left( \frac{5}{4095} \right) \times \left( \frac{\Delta D}{V_{cc}} \right) \times T \bar{V}_s^2}{L - \frac{5 \Delta D T}{4095 V_{cc}} \bar{V}_s} \right] \times \left[ \frac{360}{L} \right] \dots \dots \dots degree/sec$$

∴ จะสามารถหาขนาดของมุมที่หมุนได้ จากการนำเวลาที่ใช้ในการแฉมปลีงคู่ณกับความเร็วในการทดลองใช้ความถี่ในการแฉมปลีง 164 เฮิร์ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\therefore \bar{\theta}_{\Omega} = \left[ \frac{\left( \frac{5}{4095} \right) \times \left( \frac{\Delta D}{V_{CC}} \right) \times T \bar{V}_s^2}{1 - \frac{5 \Delta D T}{4095 V_{CC}} \bar{V}_s} \right] \times \left[ \frac{360}{L} \right] \times T_s \dots \dots \dots \text{degree}$$

เมื่อ

- $L$  = ระยะทางจากตัวส่งถึงตัวรับ (เมตร)  
 $L$  = ขนาดเส้นรอบวงของเส้นทางเดินของเสียง (เมตร)  
 $T$  = คาบเวลาของความถี่ที่ใช้ส่ง (วินาที)  
 $T_s$  = คาบเวลาที่ใช้ในการสุ่มตัวอย่างสัญญาณ (วินาที)  
 $V_{CC}$  = แรงดันเอาต์พุตของภาคเทียบเฟส (โวลต์)  
 $V_s$  = ความเร็วเสียงในอากาศ (เมตร/วินาที)  
 $\Delta D$  = ผลต่างระหว่างระดับอินพุต กับระดับอ้างอิง  
 $\theta_{\Omega}$  = ขนาดของมุมที่เกิดจากการเคลื่อนที่

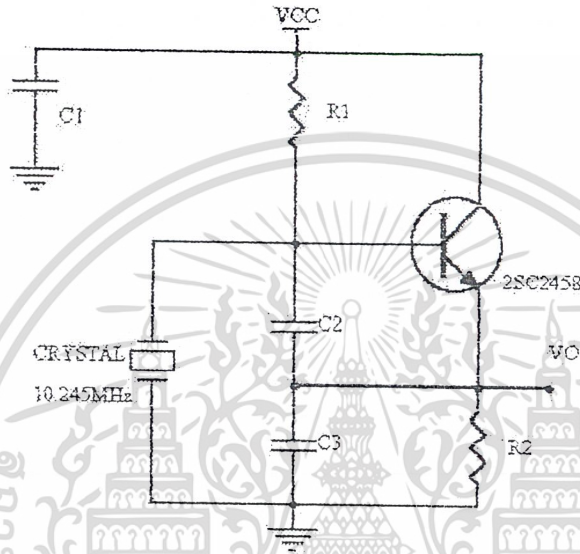
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้าง

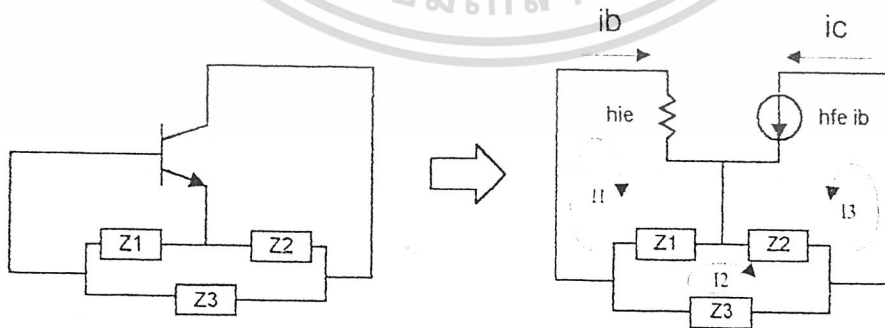
3.1 การออกแบบ

3.1.1 วงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator)



รูป 3.1 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบออสซิลเลเตอร์

เหตุที่เลือกวงจรออสซิลเลเตอร์แบบออสซิลเลเตอร์เพราะวงจรนี้ทำงานที่ความถี่มูลฐานของผลึกแร่  
 วงจรออสซิลเลเตอร์แบบเชื่อมต่อกันสามจุดของทรานซิสเตอร์



รูปที่ 3.1.1 วงจรสมมูลย์ของออสซิลเลเตอร์แบบเชื่อมต่อกันสามจุดของทรานซิสเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนการคำนวณ และการออกแบบ

LOOP<sub>1</sub>

$$h_{ie} + Z_1) i_1 - Z_1 i_2 = 0$$

LOOP<sub>2</sub>

$$-Z_1 i_1 + (Z_1 + Z_2 + Z_3) i_2 + Z_2 i_3 = 0$$

เพราะว่า  $i_1 = i_b$ ,  $i_3 = i_c = h_{fe} i_b$  ดังนั้นสมการข้างบนจะได้

$$(h_{ie} + Z_1) i_b - Z_1 i_2 = 0$$

$$(h_{ie} Z_2 - Z_1) i_b + (Z_1 + Z_2 + Z_3) i_2 = 0$$

ตามสมการข้างบนจะได้คำตอบก็คือเมื่อ  $i_b$  ไม่เท่ากับศูนย์ และ  $i_2$  ไม่เท่ากับศูนย์ ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์ดีเทอร์มิแนนท์จะต้องเป็นศูนย์ นั่นคือ

$$\Delta = (h_{ie} + Z_1)(Z_1 + Z_2 + Z_3) - Z_1(h_{fe} Z_2 - Z_1)$$

$$\Delta = h_{ie}(Z_1 + Z_2 + Z_3) + Z_1(Z_2(1 + h_{fe}) + Z_3)$$

$$= 0$$

ให้  $Z_1$  และ  $Z_2$  เป็นค่ารีแอกแตนซ์จริงๆ คือ  $jX_1$  และ  $jX_2$  ส่วน  $Z_3$  คือ ค่าของชั้นผลึกซึ่งมีวงจรสมมูลย์คือ

$$h_{ie}(jX_1 + jX_2 + R_e + jX_c) + jX_1(jX_2(1 + h_{fe}) + R_e + jX_c) = 0$$

$$h_{ie}(jX_1 + jX_2 + jX_c) + h_{ie}R_e - X_1(X_2(1 + h_{fe}) - jR_e + X_c) = 0$$

$$j(h_{ie}(X_1 + X_2 + X_c) + X_1R_e) + h_{ie}R_e - X_1(X_2(1 + h_{fe}) + X_c) = 0$$

เมื่อค่า  $h_{ie}R_e$  มีค่าน้อยมากๆ จึงตัดทิ้งไปได้ และจากจำนวนจินตภาพและจำนวนจริงจากสมการข้างบนจะได้ว่า

$$X_2(1 + h_{fe}) + X_c = 0$$

$$h_{ie}(X_1 + X_2 + X_c) - R_e X_1 = 0$$

จากสมการข้างบนจะได้ว่า

$$X_2 = -\frac{X_c}{1 + h_{fe}} \dots \dots \dots (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาคผนวกที่ 2 จะได้ค่าวงจรสมมูลย์ของซึ้นผลึกคือ

$$R_e = 22\Omega$$

$$X_1 = -\frac{h_{ie}(X_2 + X_e)}{(R_e + h_{ie})} \dots\dots\dots(2)$$

$$L_e = 2.1\mu H$$

เพราะฉะนั้น

$$X_e = 2\pi f L_e$$

$$X_e = 2\pi(10.47 \times 10^6)(2.1 \times 10^{-6})$$

$$X_e = 138.2\Omega$$

จากสมการที่(1)

$$X_2 = -\frac{X_e}{1 + h_{fe}}$$

$$= -\frac{138.2}{1 + 100}$$

จากสมการที่ (2)

$$X_2 = -1.368 \Omega$$

$$X_1 = -\frac{h_{ie}(X_2 + X_e)}{(R_e + h_{ie})}$$

$$= -\frac{(3.25)(100)(-1.368 + 138.2)}{(22 + (3.25)(100))}$$

$$X_1 = -128.15 \Omega$$

จากสมการหาค่าคาปาซิเตอร์ได้จาก

$$C = \frac{1}{2\pi f X_c}$$

แทนค่าต่างๆจะได้

$$C_1 = \frac{1}{2\pi(10.47 \times 10^6)(128.15)}$$

$$C_1 = 0.1nF$$

$$C_2 = \frac{1}{2\pi(10.47 \times 10^6)(1.368)}$$

$$C_2 = 10nF$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะวิธีใดๆ ทั้งสิ้น ลึกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
 การจัดทำโดย สวทช. จรจรอดสช. เสด็จ

กำหนดให้ค่าต่างๆดังนี้คือ

$$V_0 = 5 \quad V_{P-P}$$

$$\beta = 100$$

$$I_C \geq \frac{\frac{1}{2}V_0}{R_L} \approx \frac{\frac{1}{2} \times 5}{R_E}$$

ให้ค่า

$$R_E = 2.2 \text{ K}\Omega$$

ดังนั้น

$$I_C \geq 1.1 \text{ mA}$$

เลือกค่า

$$I_C = 2.3 \text{ mA}$$

$$V_E \geq \frac{1}{2}V_0$$

ในที่นี้ควรเลือกค่าเท่ากับ 5 โวลต์

$$R_B = \frac{V_{CC} - V_{BE} - V_E}{I_B}$$

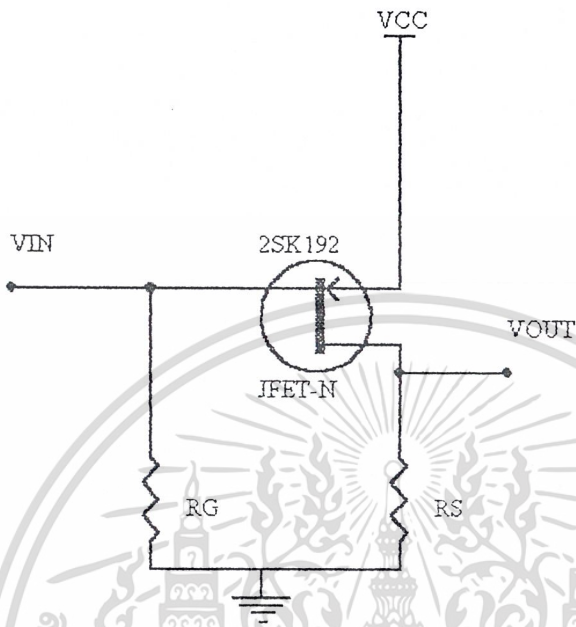
$$= \frac{9 - 0.7 - 5}{23 \times 10^{-6}}$$

$$\therefore R_B = 143.47 \text{ K}\Omega$$

### 3.1.2 วงจรภาคบัฟเฟอร์ (Buffer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรภาคบัฟเฟอร์ใช้สำหรับป้องกันผลของอินพุทอิมพีแดนซ์ของโหลด ไม่ให้มีผลต่อเสถียรภาพของวงจรออสซิลเลเตอร์



รูปที่ 3.2 วงจรบัฟเฟอร์

กำหนดให้

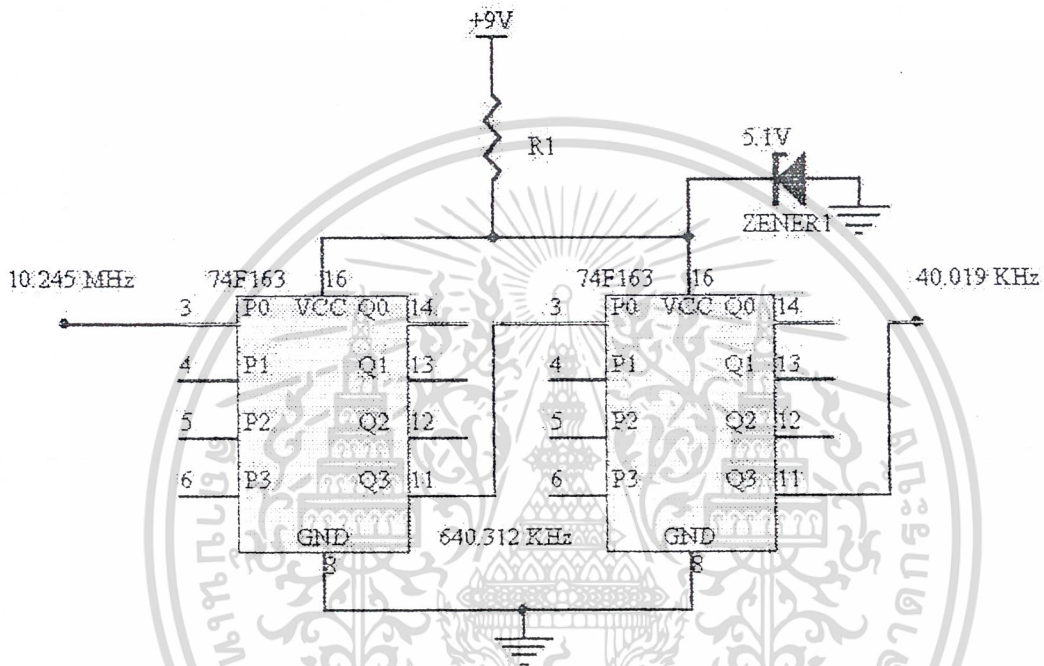
$$\begin{aligned}
 I_D &= 10 \text{ mA} \\
 V_S &= 5V \\
 R_S &= \frac{V_S}{I_D} \\
 R_S &= 500\Omega
 \end{aligned}$$

จากคุณสมบัติของวงจรบัฟเฟอร์ต้องการให้อินพุทอิมพีแดนซ์มีค่ามากๆ จึงใช้ค่าความต้านทานที่อินพุท ให้มีค่ามากๆ ประมาณ 1 เมกกะ โอม์ เพื่อให้วงจรนี้ไม่เป็นภาระกับวงจรออสซิลเลเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3 วงจรหารความถี่

ใช้ไอซี 74F163 ซึ่งเป็นไอซีแบบไบนารีเคาน์เตอร์ (Binary Counter) ต่อกัน 2 ตัว ทำให้หารความถี่ลงได้ 256 เท่า ทำให้เหลือความถี่เท่ากับ 40 กิโลเฮิร์ต

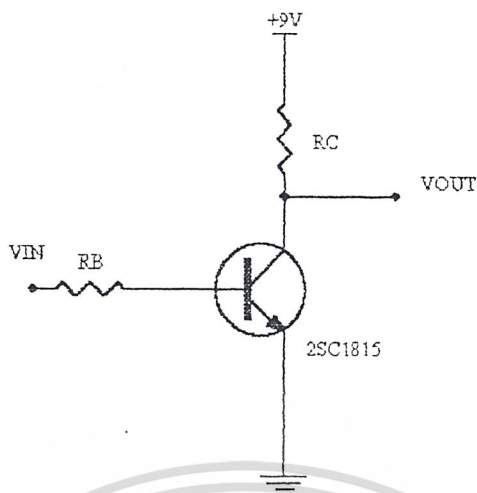


รูปที่ 3.3 วงจรหารความถี่

### 3.1.4 วงจรขยายสัญญาณ

วงจขยายสัญญาณ ใช้ทรานซิสเตอร์ต่อเป็นสวิตช์เพื่อที่จะทำการยกระดับแรงดันอินพุทของสัญญาณที่รับเข้ามาที่มีขนาด 5 โวลต์ ให้ได้สัญญาณเอาต์พุทที่มีขนาด 9 โวลต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 วงจรขยายสัญญาณ

การออกแบบวงจร

ใช้ทรานซิสเตอร์เบอร์ 2SC1815 และมีเกนขยายกระแสเท่ากับ 100 ต้องการกระแส คอลเลกเตอร์เท่ากับ 10 มิลลิแอมป์

$$V_{CE(Sat)} = 0.25 \text{ V}$$

โนดอินพุท

$$v_{in} = I_B R_B + v_{BE}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta}$$

จาก

$$R_B = \frac{5 - 0.7}{\frac{10 \times 10^{-3}}{100}}$$

$$5 = \left( \frac{10 \times 10^{-3}}{100} \right) R_B + 0.7$$

$$R_B = 43 \text{ K}\Omega$$

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE(Sat)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE(Sat)}}{I_C}$$

$$R_C = \frac{9 - 0.25}{10 \times 10^{-3}}$$

$$R_C = 875 \quad \Omega$$

### 3.1.5 ภาครับ

จากการทดลองที่ระยะห่างประมาณ 1 เมตร สัญญาณอินพุตที่ตัวรับ รัับได้จะมีขนาดประมาณ 62 มิลลิโวลต์ ซึ่งจะต้องขยายสัญญาณอินพุตนี้ให้มีขนาดสูงกว่า 6 โวลต์ ซึ่งเป็นระดับทริกของ ไอซี 555 เราจึงเลือกเกน ( $A_v$ ) ที่ 200

$$A_v = 200$$

$$\beta = 100$$

$$A_v = \frac{R_C}{26 \text{ mV} / I_E}$$

$$I_E = \frac{A_v (26 \text{ mV})}{R_C}$$

$$R_C = 4.7 \text{ K}\Omega$$

$$I_E = \frac{200 (26 \text{ mV})}{4.7 \text{ K}\Omega}$$

$$I_E = 1.1 \text{ mA}$$

$$I_E = (\beta + 1) I_B$$

$$\beta = 100$$

$$I_B = \frac{I_E}{(\beta + 1)}$$

$$I_B = \frac{1.1 \text{ mA}}{(100 + 1)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลง 10.8 และต้องนำอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

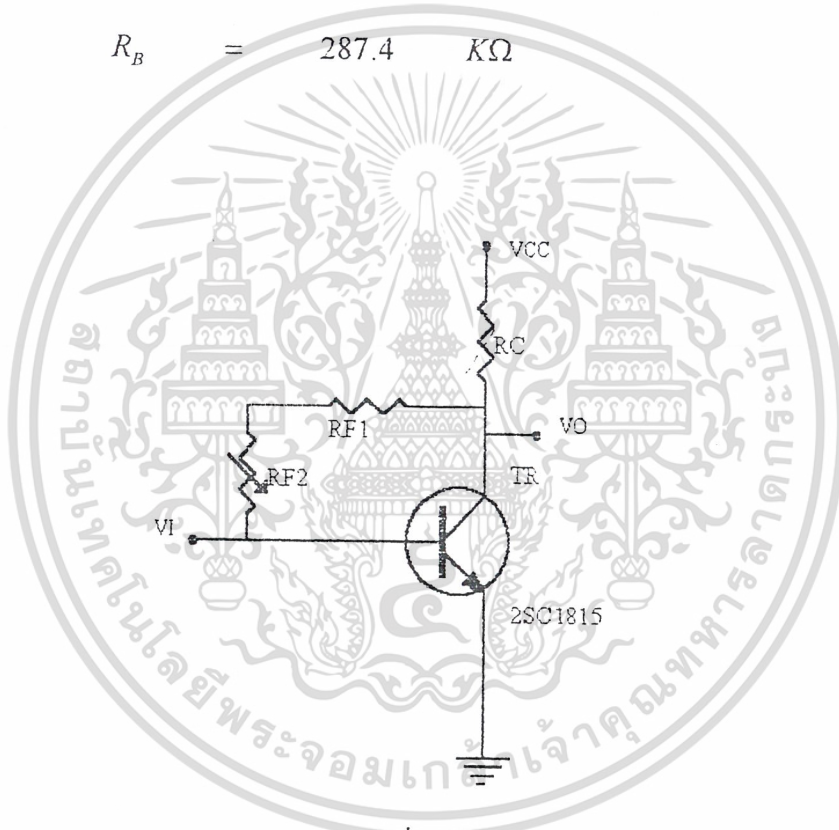
จาก

$$v_{cc} = IR_C + I_B R_B + v_{BE} \quad , \quad I = I_E$$

$$R_B = \frac{v_{cc} - v_{BE} - IR_C}{I_B}$$

$$R_B = \frac{9 - 0.7 - (1.1 \times 10^{-3})(4.7 \times 10^3)}{10.8 \times 10^{-6}}$$

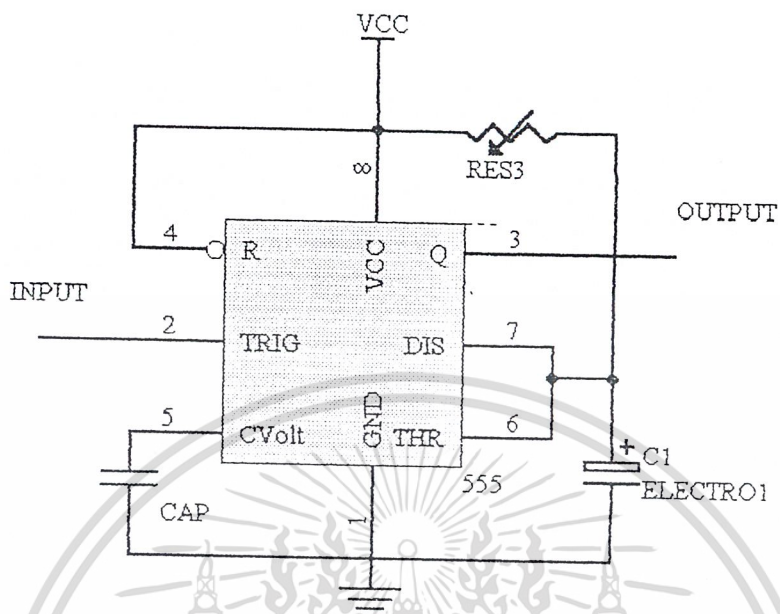
$$R_B = 287.4 \text{ K}\Omega$$



รูปที่ 3.5 วงจรภาครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.6 วงจร โมโนสเตเบิล (Monostable)



รูปที่ 3.6 วงจร โมโนสเตเบิล

จากสัญญาณอินพุตที่รับเข้ามาหากนำไปเข้าภาค ซมิททริกเกอร์ (Smittrigger) ที่นั่นอาจไม่ได้รูปสัญญาณ 50 เปอร์เซ็นต์ คิวลิตีไซเคิล (Duty Cycle) เนื่องจากสัญญาณที่มาถึงตัวรับมีการสูญเสียทำให้สัญญาณมีรูปร่างไม่เหมือนกับสัญญาณที่ส่งออกไปดังนั้นจึงนำเอาสัญญาณภาครับที่รับได้ไปทริกวงจร โมโนสเตเบิล เพื่อให้ได้รูปสัญญาณ 50 เปอร์เซ็นต์ คิวลิตีไซเคิล

$$\frac{t_p}{C} = \frac{1.1 R_c}{1 nF}$$

$$\frac{2.5 \times 10^{-5}}{2} = 1.1R(1nF)$$

$$R = \frac{2.5 \times 10^{-5}}{(1.1)(1nF)(2)}$$

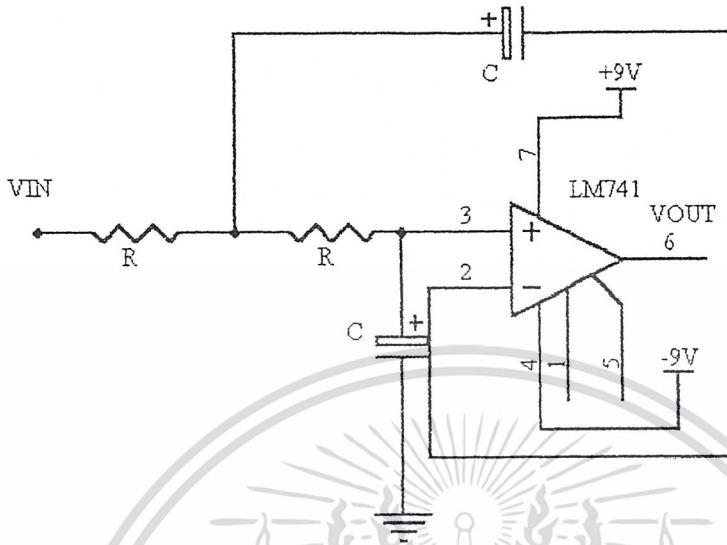
จาก

$$R = \frac{22.7K\Omega}{2}$$

$$= 11.36 K\Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.7 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน



รูปที่ 3.7 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

การคำนวณ  
จาก node 1

$$I_1 = I_2$$

เมื่อ

$$v_1 = v_0$$

$$v_2 = R(SC + \frac{1}{R})v_1$$

$$\frac{v_2 - v_1}{R} = SCv_1$$

$$\frac{v_2 - v_1}{R} = \frac{v_1}{1/SC}$$

เพราะฉะนั้น

$$v_2 = (RCS+1)v_1 \dots\dots\dots (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จาก node 2

$$I_1 = I_3 + I_4$$

$$\frac{v_2 - v_1}{R} = \frac{v_{in} - v_2}{R} + \frac{v_0 - v_2}{1/SC}$$

$$\frac{v_2 - v_1}{R} = \frac{v_{in} - v_2}{R} + SCv_0 - SCv_2$$

$$v_2 \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{R} + SC \right) = \frac{v_1}{R} + \frac{v_{in}}{R} + SCv_0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\left( \frac{2RCS}{R} + RS^2C^2 + \frac{2}{R} + SC - \frac{1}{R} \right) v_1 = v_{in} + SCv_0$$

แทน (1) ใน (2)

$$(RSC + 1) \left( \frac{2}{R} + SC \right) v_1 - \frac{v_1}{R} = v_{in} + SCv_0$$

เมื่อ

$$\left( 2SC + RS^2C^2 + \frac{1}{R} \right) v_0 = v_{in}$$

$$\left( (R^2C^2)S^2 + (2RC)S + 1 \right) v_0 = v_{in}$$

$$\frac{v_0}{v_{in}} = \frac{1}{(RC)^2 S^2 + (2RC)S + 1}$$

จากสมการมาตรฐาน

$$\frac{v_0}{v_{in}} = \frac{1}{\left( \frac{S}{\omega} \right)^2 + 2\xi \left( \frac{S}{\omega} \right) + 1}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพราะฉะนั้นจะได้

$$\omega = \frac{1}{RC}$$

เมื่อ  $\xi = 1$

$$\omega = 2\pi f_c$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$C = 10\mu\text{F}$$

$$f_c = 50\text{Hz}$$

$$R = 300\Omega$$

### 3.1.8 มงจรแปลงสัญญาณ อนุบาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล

#### การทำงานของไอซี LTC1298

ภายในของไอซี LTC1298 ซึ่งเป็น ไอซีที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนุบาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 12 บิต จำนวน 2 แชนเนล(Channel) คิวคิงของไอซีเป็นแบบ DIP ขนาด 8 ขา ซึ่งแต่ละขามีหน้าที่การทำงานดังนี้

ขา 1 (CS/SHDN) เป็นขาสัญญาณเลือกชิป (Chip Select) อินพุตใช้ควบคุมการทำงานของไอซีทำงานที่ ลอจิก “0” เมื่อขานี้ได้รับลอจิก “0” จะเป็นการเลือกการทำงาน (Enable) และเมื่อขานี้ได้รับลอจิก “1” จะทำให้ไอซีหยุดทำงานและอยู่ในโหมด ชัทดาวน์ (Shut Down)

ขา 2 (CH0) เป็นขาสัญญาณอนุบาลอกอินพุต ของแชนเนล 0

ขา 3 (CH1) เป็นขาสัญญาณอนุบาลอกอินพุต ของแชนเนล 1

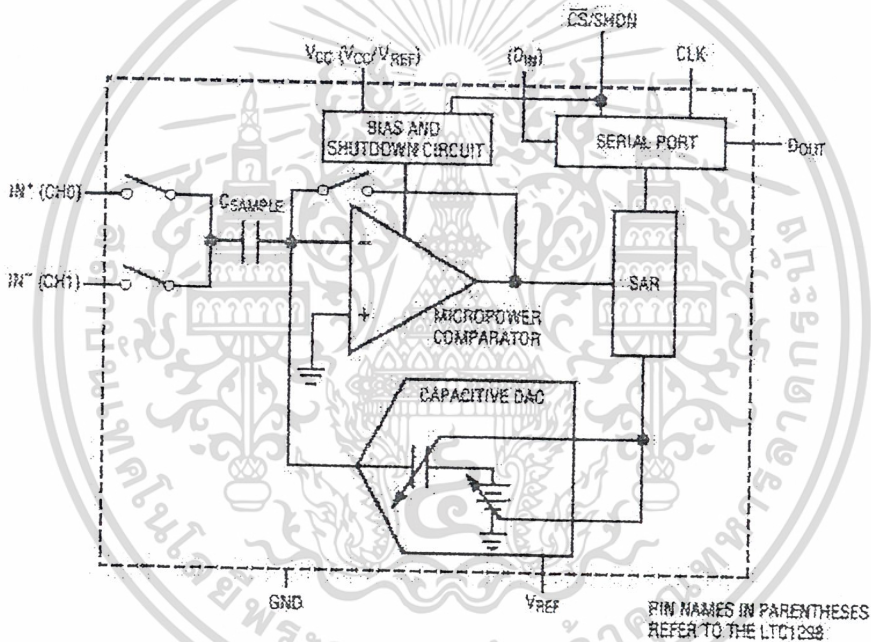
ขา 4 (GND) เป็นขากราวด์(Ground) ของไอซี ซึ่งควรต่อโดยตรงกับกราวด์เฟรอน (Ground Plane) เพื่อ ลดสัญญาณรบกวน

ขา 5 ( $D_{IN}$ )เป็นขาสัญญาณรับข้อมูลดิจิทัลอินพุตแบบอนุกรมเพื่อใช้กำหนดเอกแทนเน็ตและรูปแบบ(format) ของข้อมูลที่ต้องการอ่านค่ากลับออกมาทางขาสัญญาณ  $D_{OUT}$  โดยขอยอดด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขา 6 ( $D_{OUT}$ ) เป็นขาสัญญาณส่งข้อมูลดิจิทัลเอาต์พุต แบบอนุกรมซึ่งค่าของข้อมูล  
ที่อ่านได้จากขานี้คือ ผลลัพธ์จากการเปลี่ยนสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลของไอซี

ขา 7 (CLK) เป็นขาสัญญาณนาฬิกาอินพุต ใช้เป็นสัญญาณอ้างอิงสำหรับอ่านหรือ  
เขียนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับไอซี LTC 1298 โดยจะทำการอ่านและเขียนข้อมูลกับไอซี  
ในช่วงขอบขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกาเสมอ

ขา 8 ( $V_{CC}/V_{REF}$ ) เป็นขารับแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงให้กับไอซี ซึ่งขานี้จะใช้เป็นขาแรงดัน  
อ้างอิงในการแปลงค่าจากสัญญาณอะนาลอกเป็นข้อมูลดิจิทัลด้วย ดังนั้นที่ขานี้จึงควรทำการป้องกัน  
กันและกำจัดสัญญาณรบกวนให้กับไอซีด้วยเพราะถ้าขานี้ได้รับสัญญาณรบกวนมากหรือแรงดันไฟ  
เลี้ยงไม่คงที่ จะทำให้ค่าของข้อมูลเอาต์พุต เกิดการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย



รูปที่ 3.8 บล็อก ไดอะแกรมของไอซี LTC 1298

จากการทำงานของไอซี LTC 1298 จะเห็นได้ว่าการจัดวงจรเพื่อเชื่อมต่อกับไอซีต้องใช้  
สัญญาณทั้งหมด 4 เส้นเป็นสัญญาณ เอาต์พุต จากอุปกรณ์ภายนอกส่ง ไปให้ไอซีเพื่อควบคุมและตั้ง  
งาน 3 สัญญาณและเป็นสัญญาณเอาต์พุต ส่งออกจากไอซีเพื่อใช้สำหรับอ่านค่าอีก 1 สัญญาณ

สำหรับการเขียนข้อมูลให้กับ LTC1298 นั้น ไอซีจะต้องการสัญญาณข้อมูลอินพุต จำนวน  
4 บิต เพื่อกำหนดการทำงานก่อน โดยก่อนที่จะเริ่มเขียนข้อมูลต้องกำหนดให้ขาสัญญาณ CS ถูก  
เปิดโดยป้อนลอจิก “0” ก่อนแล้วจึงเขียนข้อมูลให้กับ ไอซี LTC1298 ในช่วงขอบขาขึ้นของ  
สัญญาณนาฬิกาโดยข้อมูลที่จะเขียนให้กับ ไอซีมีดังนี้คือ

เมื่วารณใดๆ หงสน ยกหงห้ามมิให้ตดแบ่ตงเนยห และตองอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

START	SGL/DIFF	ODD/SIGN	MSBF
-------	----------	----------	------

บิต เริ่มต้น เป็นข้อมูลกำหนดการเริ่มต้น โดยต้องส่งเป็นบิตแรกหลังจากสัญญาณ SC เป็นลอจิก "0" แล้ว ซึ่งค่าของบิต เริ่มต้น นี้ต้องมีค่าเป็นลอจิก "1" เสมอ

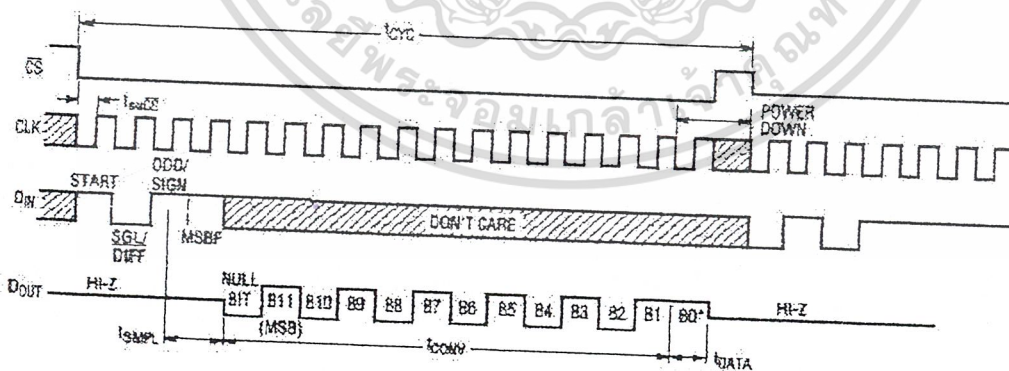
บิต SGL/DIFF และบิต ODD/SIGN เป็นข้อมูลสำหรับกำหนดและเลือกแขนเนลของ สัญญาณที่ต้องการให้ทำการแปลงและกำหนดรูปแบบของสัญญาณอะนาลอกอินพุต ดังแสดง ความสัมพันธ์ของทั้ง 2 บิตนี้ในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงความสัมพันธ์ของบิต SGL/DIFF และบิต ODD/SIGN

SGL/DIFF	ODD/SIGN	CH0	CH1	GND
1	0	+	-	-
1	1	+	+	-
0	0	+	-	-
0	1	-	+	-

บิต MSBF เป็นการกำหนดลำดับข้อมูล เอพท์พุต ที่อ่านจากไอซี LTC1298

MSB-First Data (MSBF = 1)



"AFTER COMPLETING THE DATA TRANSFER, IF FURTHER CLOCKS ARE APPLIED WITH CS LOW, THE ADC WILL OUTPUT ZEROS INDEFINITELY.  
 \*DATA: DURING THIS TIME, THE BIAS CIRCUIT AND THE COMPARATOR POWER DOWN AND THE REFERENCE INPUT BECOMES A HIGH IMPEDANCE NODE, LEAVING THE CLK RUNNING TO CLOCK OUT LSB-FIRST DATA OR ZEROS.

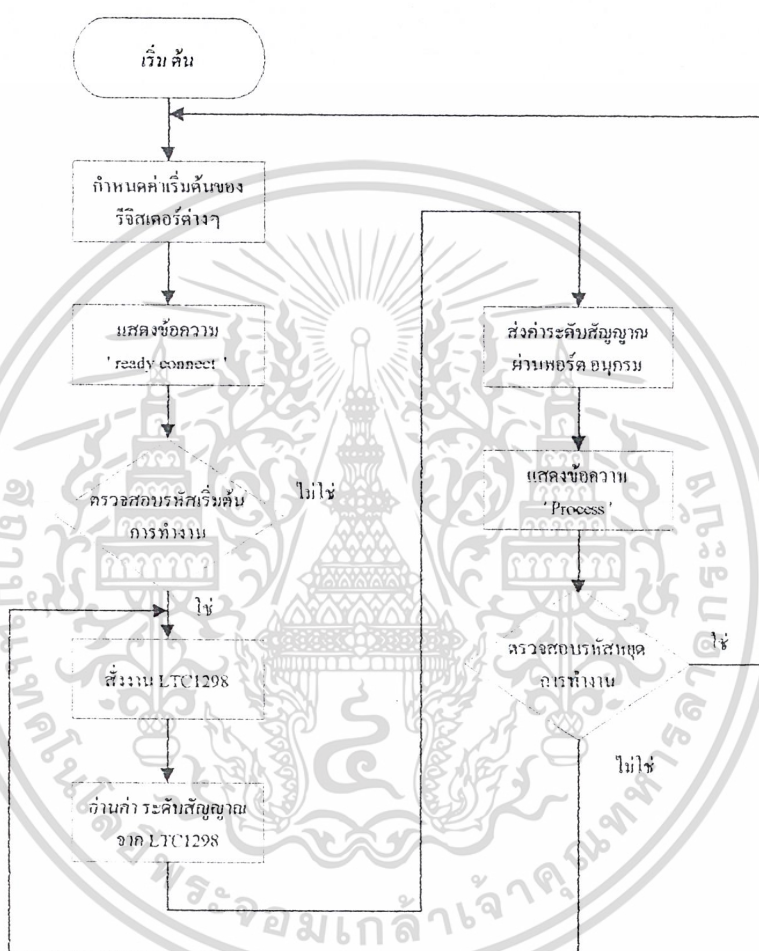
รูปที่ 3.9 Timing Diagram ของการตั้งงาน LTC1298 และการอ่านข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาด้านนี้ เมื่ออนุญาตให้ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.9 ภาควิชาคำนวณและแสดงผล

ใช้ ไมโครคอนโทรลเลอร์(Microcontroller) เบอร์ 8031 เป็นส่วนควบคุมการทำงานทั้งหมด โดยอ่านค่าที่ได้จากภาคแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลเข้ามาคำนวณและแสดงผลออกบน 7 เซกเมนต์(Segment) ขนาด 6 หลัก

โฟลวชาร์ท(Flow Chart)การทำงานของ โปรแกรมแสดงอยู่ในรูป 3.10



รูป3.10 โฟลวชาร์ทโคอะแกรมของ โปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ส่วน โปรแกรมภาคแสดงผล

```

;*****
;** PROGRAM MICROCONTROLLER ULTRASONIC GYROSCOPE **
;*****

    CLOCK EQU P1.6 ;
    CLIPSE EQU P3.2 ;
    DATAIN EQU P1.7 ;

    ORG 00H
    JMP GO

    ORG 23H ;Interrupt Serial Port
    MOV B,A
    MOV A,SBUF
    CLR RI
    MOV R3,A
    MOV A,B
    RETI

GO:  MOV SCON,#50H ;int reg
     MOV TMOD,#20H
     MOV TH1,#0FDH
     MOV IE,#10H
     MOV IP,#10H
     MOV A,#00H
     MOV 30H,#00H
     MOV 31H,#00H
     MOV 40H,#031H
     MOV 41H,#032H
     MOV 42H,#033H
     MOV 43H,#034H
     MOV 44H,#035H
     MOV 45H,#036H
     MOV R3,#00H
     MOV P1,#0FFH
     CALL TABLE
     CLR CLOCK
     SETB DATAIN
     SETB CLIPSE
     SETB TR1
     CALL START
     SETB EA
     CALL TABLE1

MAIN: CALL ADC ;Main Program
      CLR EA
      CALL TX
      SETB EA
      CALL SHOW
      INC R7
      CJNE R7,#50H,LMAIN
      MOV R7,#00H
      CALL MOVT
LMAIN: CJNE R3,#53H,MAIN
      CLR EA
      MOV R3,#00H
      MOV R7,#00H
      JMP GO

ไม่ว่ากรดีได้ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
SHOW: CLR P3.7 ;Show Display

```

```

MOV A,40H
ADD A,#020H
MOV R0,A
MOV A,@R0
MOV P1,A
SETB P3.4
CLR P3.5
SETB P3.6
CALL DELAY1
MOV A,41H
ADD A,#020H
MOV R0,A
MOV A,@R0
MOV P1,A
CLR P3.4
CLR P3.5
SETB P3.6
CALL DELAY1
MOV A,42H
ADD A,#020H
MOV R0,A
MOV A,@R0
MOV P1,A
SETB P3.4
SETB P3.5
CLR P3.6
CALL DELAY1
MOV A,43H
ADD A,#020H
MOV R0,A
MOV A,@R0
MOV P1,A
CLR P3.4
SETB P3.5
CLR P3.6
CALL DELAY1
MOV A,44H
ADD A,#020H
MOV R0,A
MOV A,@R0
MOV P1,A
SETB P3.4
CLR P3.5
CLR P3.6
CALL DELAY1
MOV A,45H
ADD A,#020H
MOV R0,A
MOV A,@R0
MOV P1,A
CLR P3.4
CLR P3.5
CLR P3.6
CALL DELAY1
SETB P3.7
RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น หากมีให้ตัดแปลงเนื้อ; WRITE LTC1298  
 CALL PCLK

```

SETB DATAIN
CALL PCLK
CLR DATAIN
CALL PCLK
SETB DATAIN
CALL PCLK
READ: MOV R0, #05H
LOOP1: CALL PCLK
      MOV C, DATAIN
      RLC A
      DJNZ R0, LOOP1
      MOV 30H, A
      MOV R0, #08H
      CLR A
LOOP2: CALL PCLK
      MOV C, DATAIN
      RLC A
      DJNZ R0, LOOP2
      MOV 31H, A
      SETB CLIPSE
      RET
PCLK: CLR CLOCK
      SETB CLOCK
      RET

START: SETB EA
      CALL SHOW
      MOV A, R3
      INC R7
      CJNE R7, #064H, LSTART
      MOV R7, #00H
      CALL MOVT
LSTART: CJNE A, #41H, START
      RET

MOVT: MOV A, 50H
      MOV 50H, 51H
      MOV 51H, 52H
      MOV 52H, 53H
      MOV 53H, 54H
      MOV 54H, 55H
      MOV 55H, 56H
      MOV 56H, 57H
      MOV 57H, 58H
      MOV 58H, 59H
      MOV 59H, 5AH
      MOV 5AH, 5BH
      MOV 5BH, 5CH
      MOV 5CH, 5DH
      MOV 5DH, 5EH
      MOV 5EH, 5FH
      MOV 5FH, A
      RET

```

```

SYN: JNB RI, SYN
      MOV A, SBUF

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ก็ตาม อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

TX:      MOV SBUF,30H          ;Transfer Data to PC
WAIT1:   JNB TI,WAIT1
         CLR TI
         CALL DELAY1
         MOV SBUF,31H
WAIT2:   JNB TI,WAIT2
         CLR TI
         RET
         MOV SBUF,30H
WAIT3:   JNB TI,WAIT3
         CLR TI
         ;CALL DELAY
         MOV SBUF,31H
WAIT4:   JNB TI,WAIT4
         CLR TI
         ;CALL DELAY
         RET

DELAY:   MOV TLO,#0FCH
         MOV TH0,#0EFH
         SETB TR0
DELAYL:  JNB TFO,DELAYL
         CLR TFO
         RET

DELAY1:  MOV TLO,#0FFH
         MOV TH0,#0EFH
         SETB TR0
DELAYL1: JNB TFO,DELAYL1
         CLR TFO
         RET

TABLE:   MOV 50H,#00H          ;Message 'Ready Connect'
         MOV 51H,#0EH
         MOV 52H,#09EH
         MOV 53H,#0EEH
         MOV 54H,#07AH
         MOV 55H,#077H
         MOV 56H,#00H
         MOV 57H,#00H
         MOV 58H,#9DH
         MOV 59H,#0FCH
         MOV 5AH,#0EDH
         MOV 5BH,#0EDH
         MOV 5CH,#9EH
         MOV 5DH,#9DH
         MOV 5EH,#0E0H
         MOV 5FH,#00H
         RET

TABLE1:  MOV 50H,#000H        ;Message 'Process'
         MOV 51H,#0CEH
         MOV 52H,#00EH
         MOV 53H,#0FCH
         MOV 54H,#09DH
         MOV 55H,#09EH
         MOV 56H,#0B6H
         MOV 57H,#0B6H
         MOV 58H,#000H
         MOV 59H,51H

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ที่ผู้จัดทำเอกสารนี้ขอสงวนสิทธิ์ในการดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

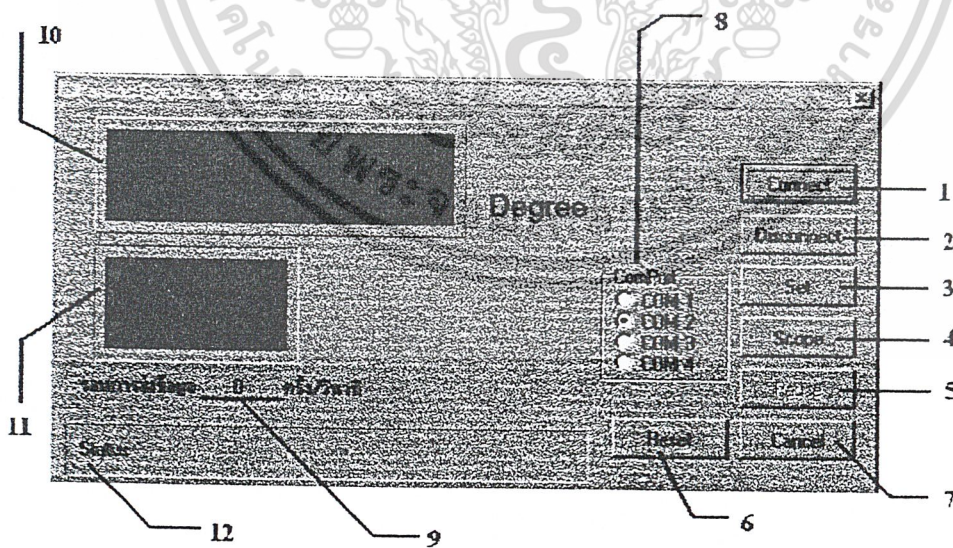
MOV 5AH, 52H
MOV 5BH, 53H
MOV 5CH, 54H
MOV 5DH, 55H
MOV 5EH, 56H
MOV 5FH, 57H
RET
    
```

```

TABLE2:MOV 50H, #0FCH           ;Table Of Number
MOV 51H, #060H
MOV 52H, #0DAH
MOV 53H, #0F2H
MOV 54H, #066H
MOV 55H, #0B6H
MOV 56H, #0BEH
MOV 57H, #0E0H
MOV 58H, #0FEH
MOV 59H, #0F6H
MOV 4DH, #002H
MOV 5BH, #03EH
MOV 5CH, #09CH
MOV 5DH, #07AH
MOV 5EH, #09EH
MOV 5FH, #08EH
RET
END
    
```

3.1.10 ส่วนโปรแกรมรับข้อมูล

ใช้โปรแกรมภาษาเคลไฟล์(Delphi)ซึ่งสามารถติดต่อรับข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านพอร์ตอนุกรมแล้วแสดงผลออกทางหน้าจอไมโครคอมพิวเตอร์โดยมีส่วนติดต่อกับผู้ใช้ดังนี้



รูปที่3.11 ส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานของโปรแกรมรับข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้าที่ของฟังก์ชันใช้งานต่างๆมีดังต่อไปนี้

1. Connect ใช้สำหรับของพอร์ทอนุกรมสำหรับ โปรแกรมใช้งานและทำการส่งรหัสเริ่มต้นการส่งข้อมูลให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์
  2. Disconnec ใช้สำหรับยกเลิกการติดต่อผ่านพอร์ทอนุกรม
  3. Set ใช้สำหรับเก็บค่าปัจจุบันเป็นค่าอ้างอิง
  4. Scope/Close Scop ใช้สำหรับปิดเปิดหน้าจอการแสดงผลข้อมูลในรูปแบบกราฟ
  5. Pause / Play ใช้สำหรับหยุดแสดงผล / แสดงผล แบบกราฟและแบบตัวเลข
  6. Reset ใช้สำหรับรีเซ็ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางไมโครคอมพิวเตอร์
  7. Cancel ใช้สำหรับยกเลิกการทำงานของโปรแกรม
  8. Com-Port ใช้สำหรับเลือกพอร์ทการติดต่อ
  9. ส่วนแสดงความถี่ในการรับข้อมูล
  10. ส่วนแสดงขนาดของมุมที่เคลื่อนที่
  11. ส่วนแสดงระดับของสัญญาณอินพุท
  12. ส่วนแสดงสถานะการเชื่อมต่อพอร์ทอนุกรม
- ส่วนของโปรแกรมซอร์สโค้ด(Source Code)แสดงไว้ในภาคผนวก

### 3.2 การสร้าง

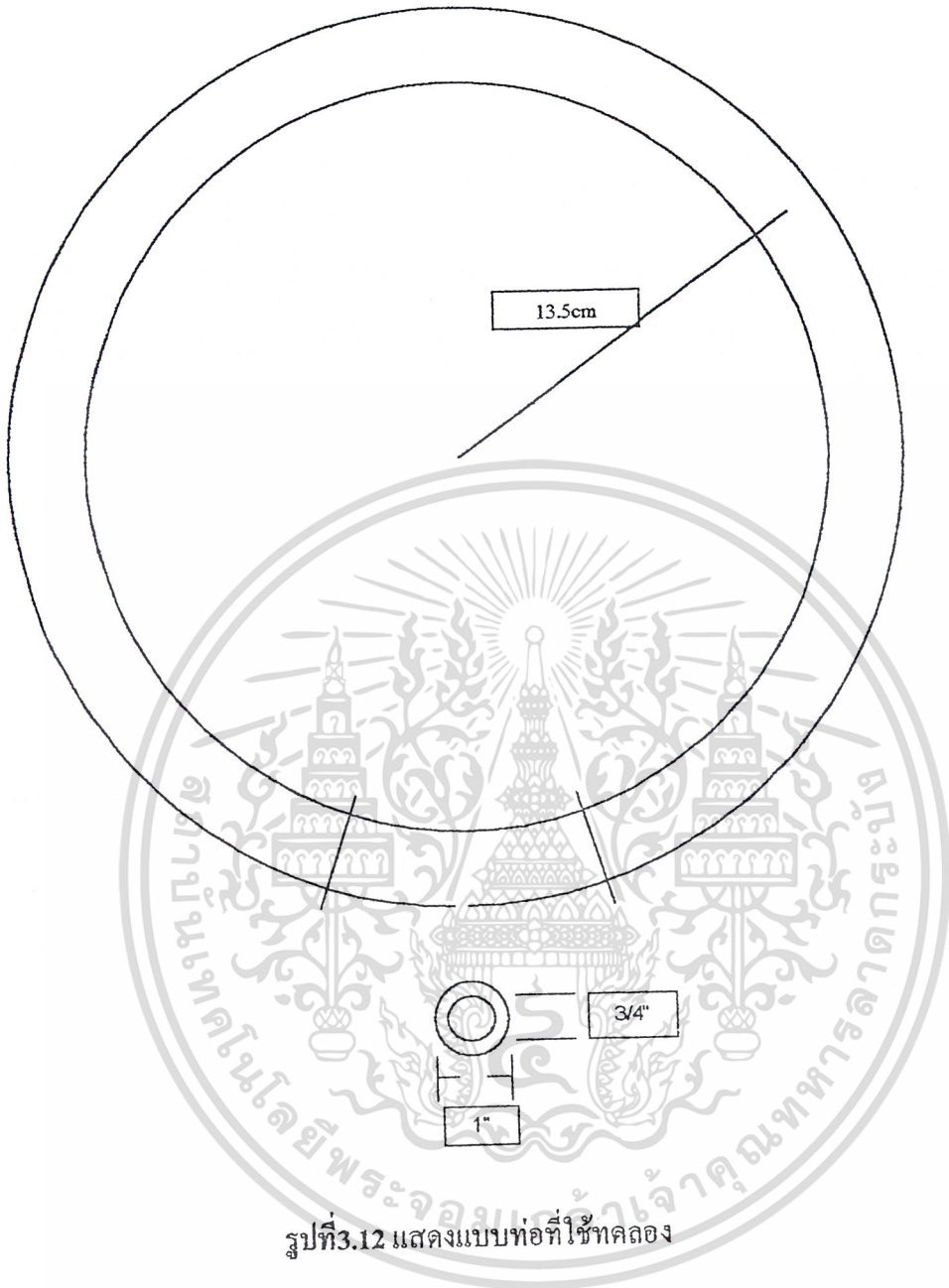
ลายวงจรพิมพ์ของภาครับ , ภาคออสซิลเลเตอร์ , ภาคกรองความถี่ต่ำผ่าน , ภาคไมโครคอนโทรลเลอร์ และ ภาค แสดงผล อยู่ในภาคผนวก

วงจรทั้งหมดแสดงอยู่ในหน้าที่ 42 , 43 และ 44

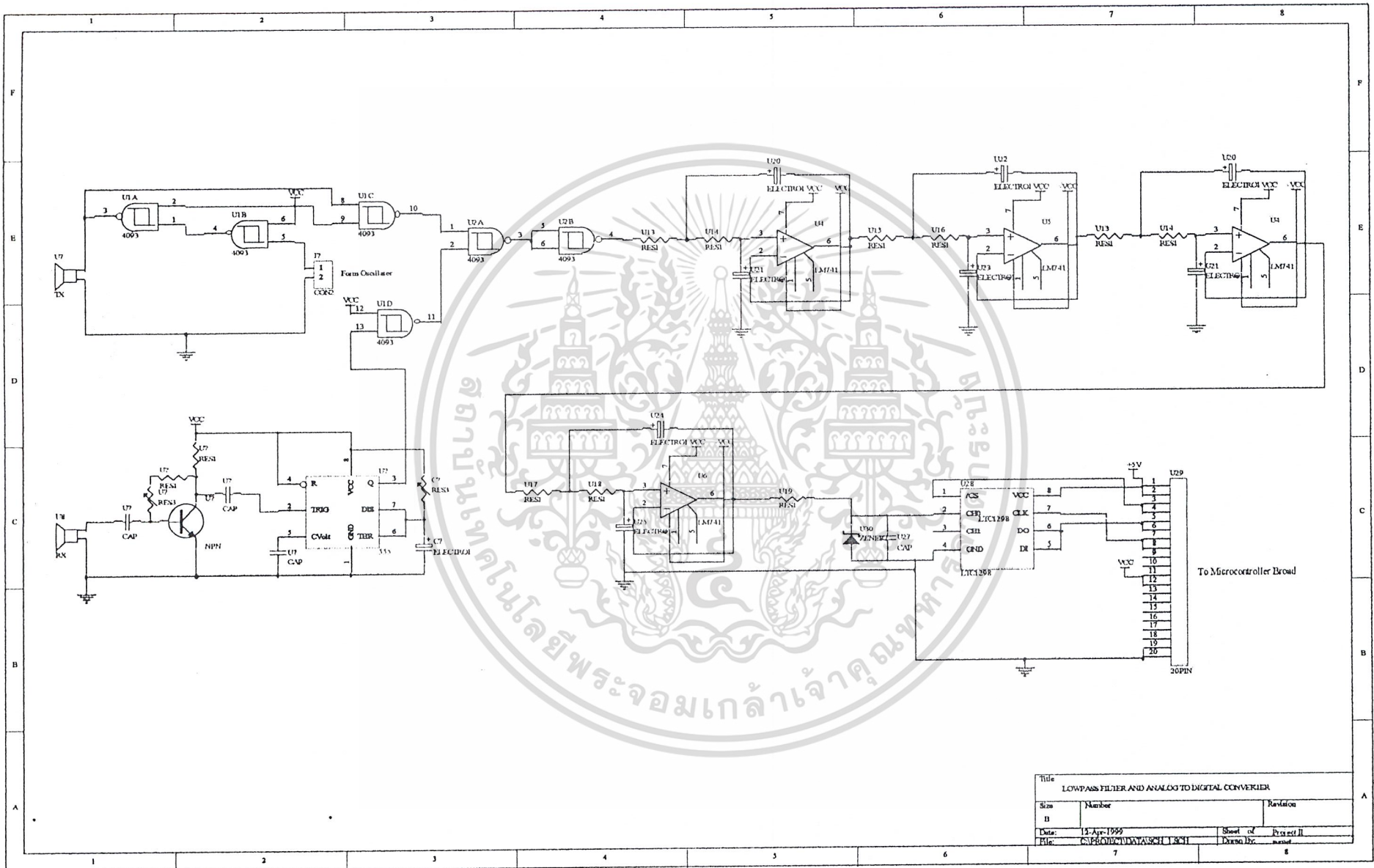
แบบของท่อที่ใช้ทดสอบแสดงอยู่ในรูปที่ 3.12

ชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์แล้วแสดงอยู่ในรูปที่ 3.13 , 3.14, 3.15 และ 3.16

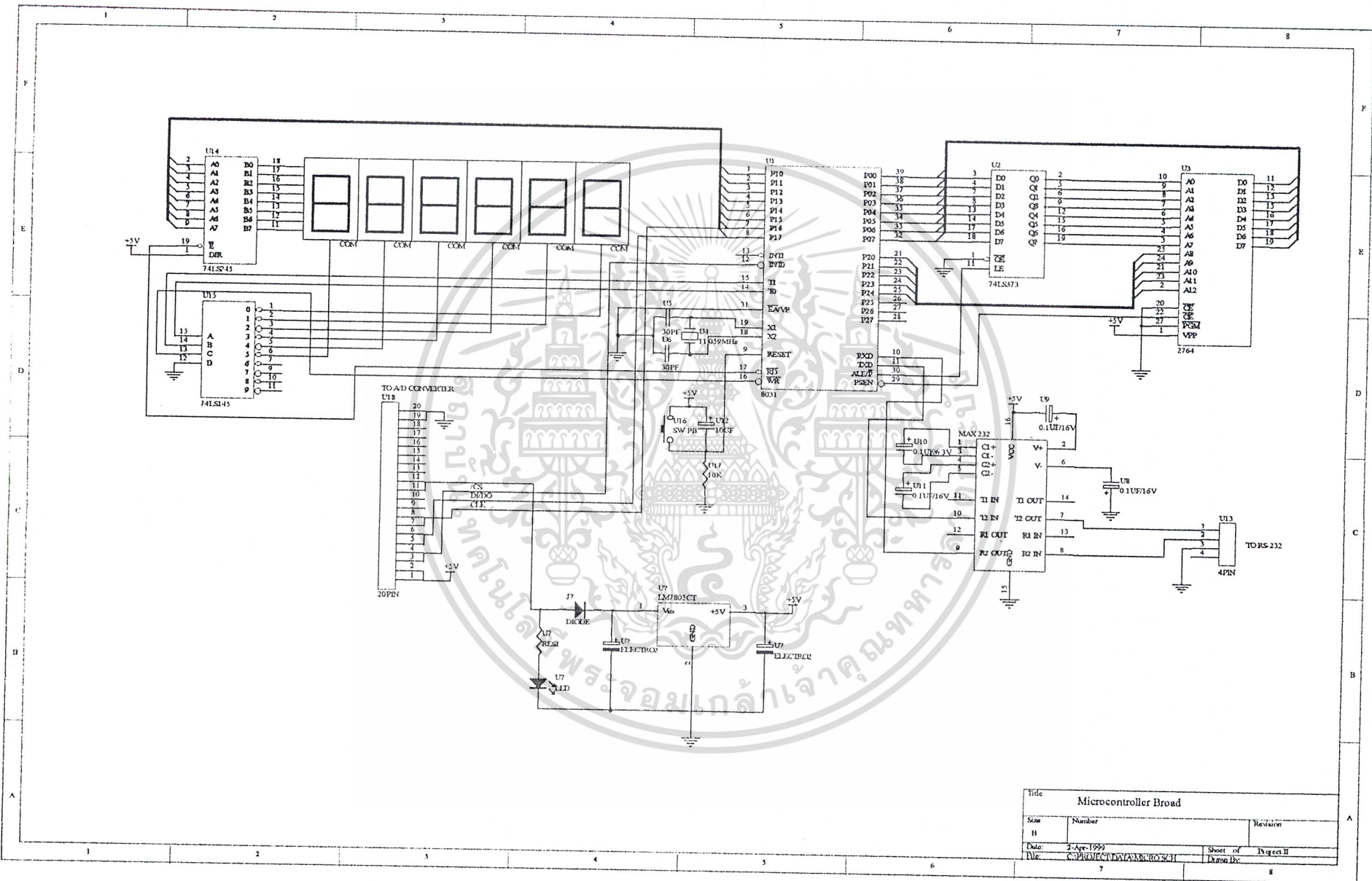
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



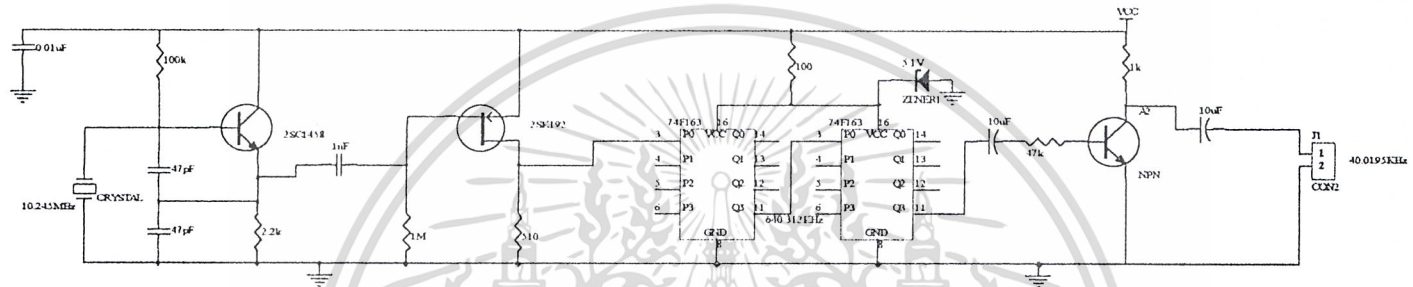
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



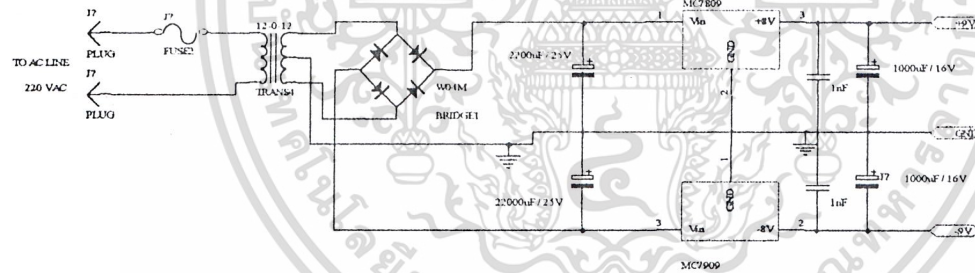
Title		
LOWPASS FILTER AND ANALOG TO DIGITAL CONVERTER		
Size	Number	Revision
D		
Date:	13-Apr-1999	Sheet of Project II
File:	C:\PROJEC\UWATASCH\T1SCH	Drawn by: asaad



Title			Microcontroller Broad		
Size	Number			Revision	
B					
Date:	2-Apr-1999	Sheet of		Project II	
Name:	C.PROJECT/DAMRUSOH	Name of			

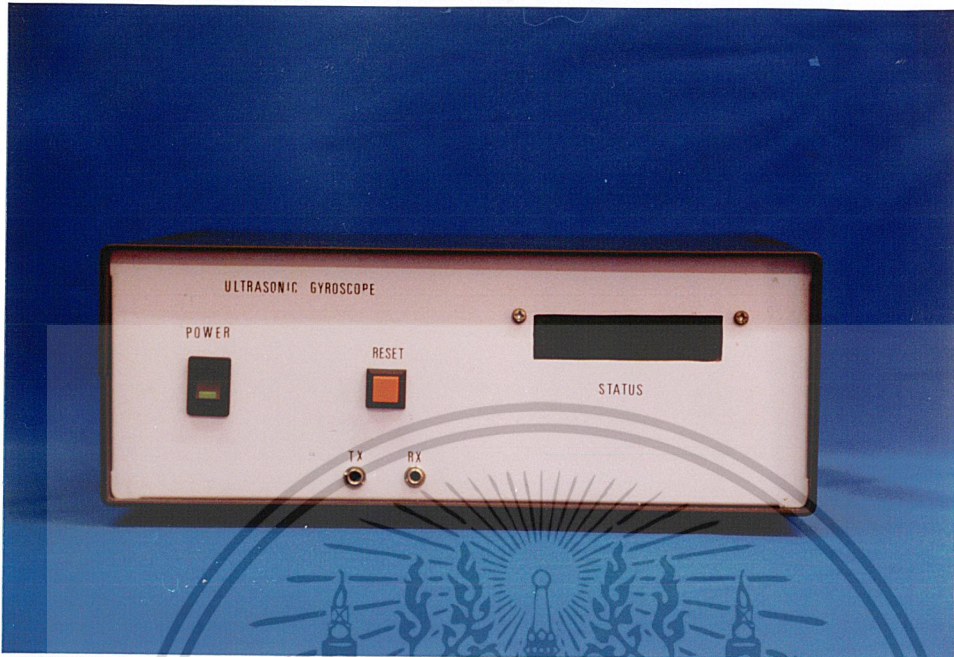


Oscillator 40KHz

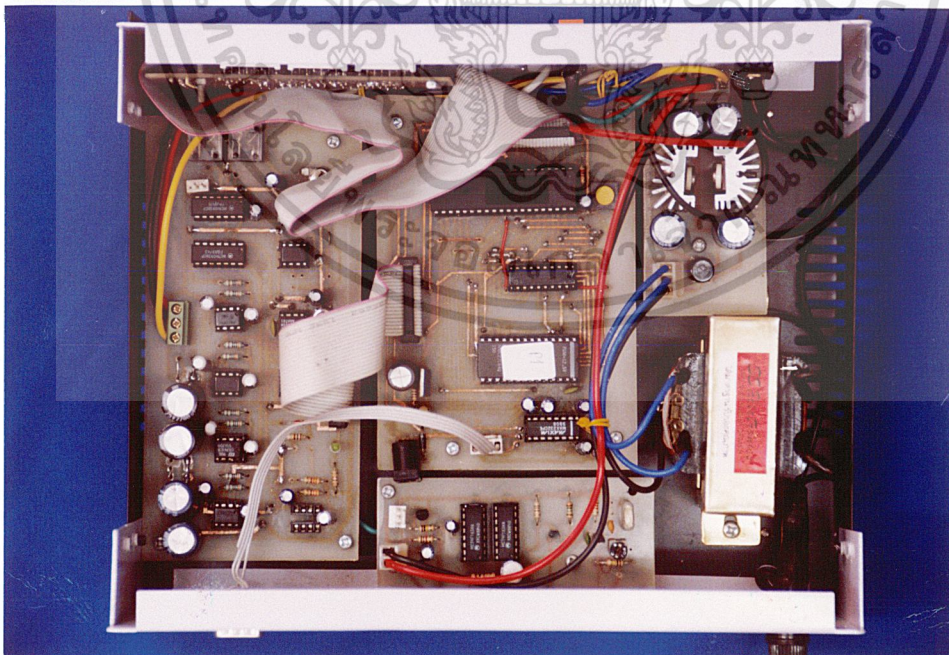


Power Supply

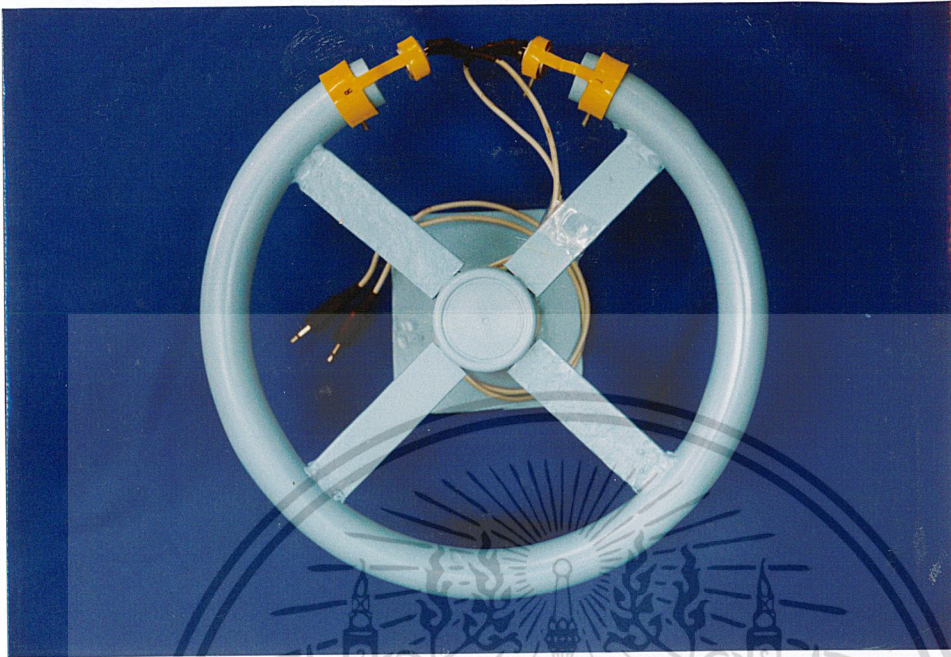
Title			
Oscillator & Power Supply			
Scale	Number	Revision	
B			
Date:	2-Apr-1999	Sheet of	Project II
File:	3379C_1343C11	Drawn by:	



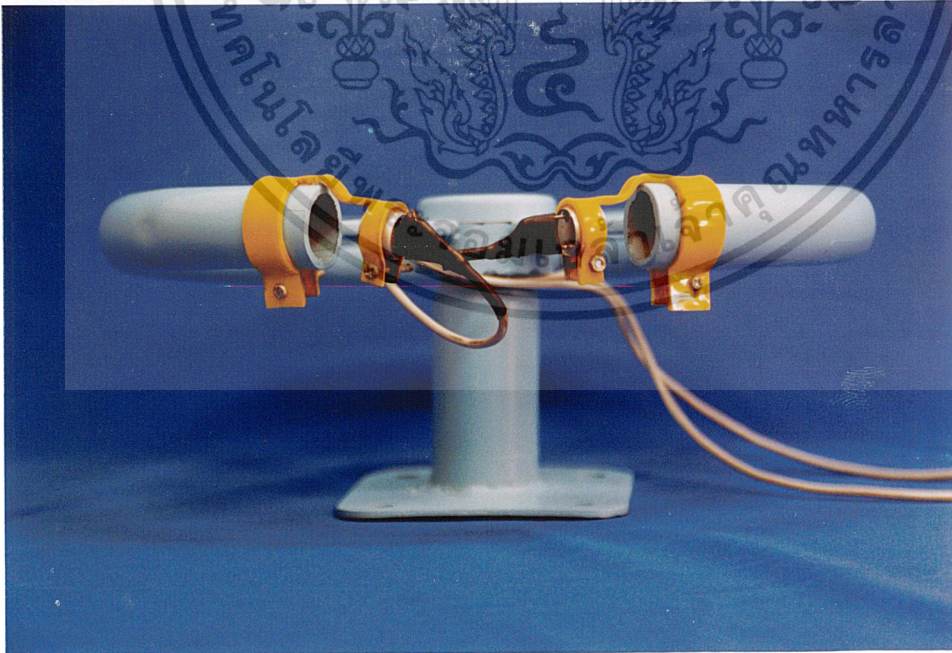
รูปที่ 3.13 แสดงหน้าปัทม์ของอูลตราโซนิกไจโรสโคป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาย่อยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 3.14 แสดงการวางอุปกรณ์และการเดินสายไฟ  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.15 แสดงท่อที่ใช้ในการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 รูปที่ 3.16 แสดงการขีด คิวส่ง และตัวรับสัญญาณเสียงอุตสาหกรรมโซนิก  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น ข้าพเจ้า ไม่รับผิดชอบใดๆ ต่อเนื้อหาและข้อมูลของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

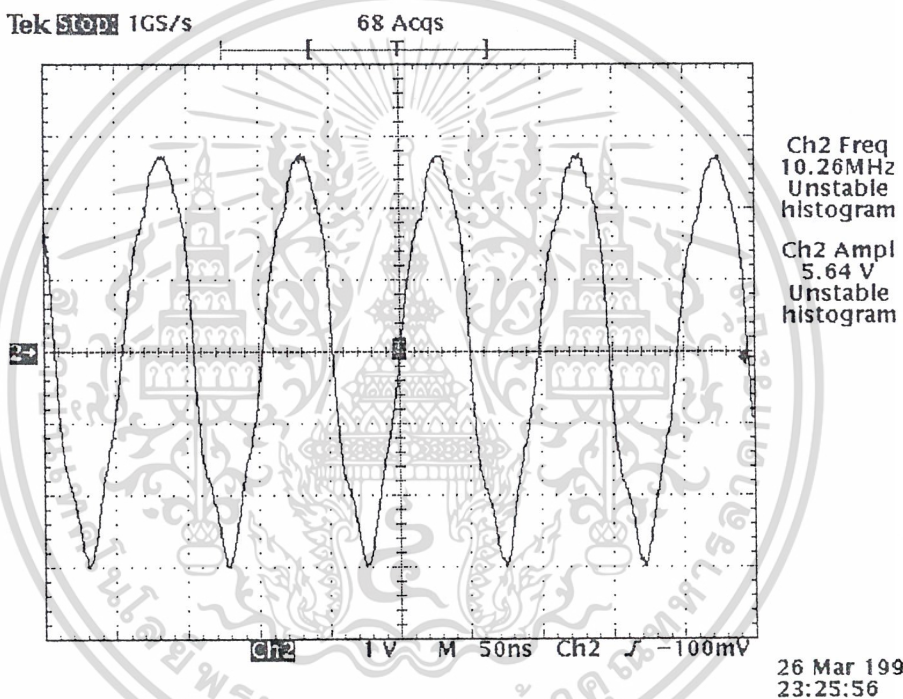
## บทที่ 4

### ลำดับขั้นการทดลอง

#### 4.1 การทดลองที่ 1 : วงจรสร้างสัญญาณ 40 กิโลเฮิร์ต

##### 4.1.1 วงจร ออสซิลเลเตอร์ (Oscillator)

1. ต่อยังตามรูปที่ 3.1
2. วัดสัญญาณเอาต์พุตด้วยออสซิลโลสโคป (OsilloScope)
3. ทำการบันทึกรูปสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคป

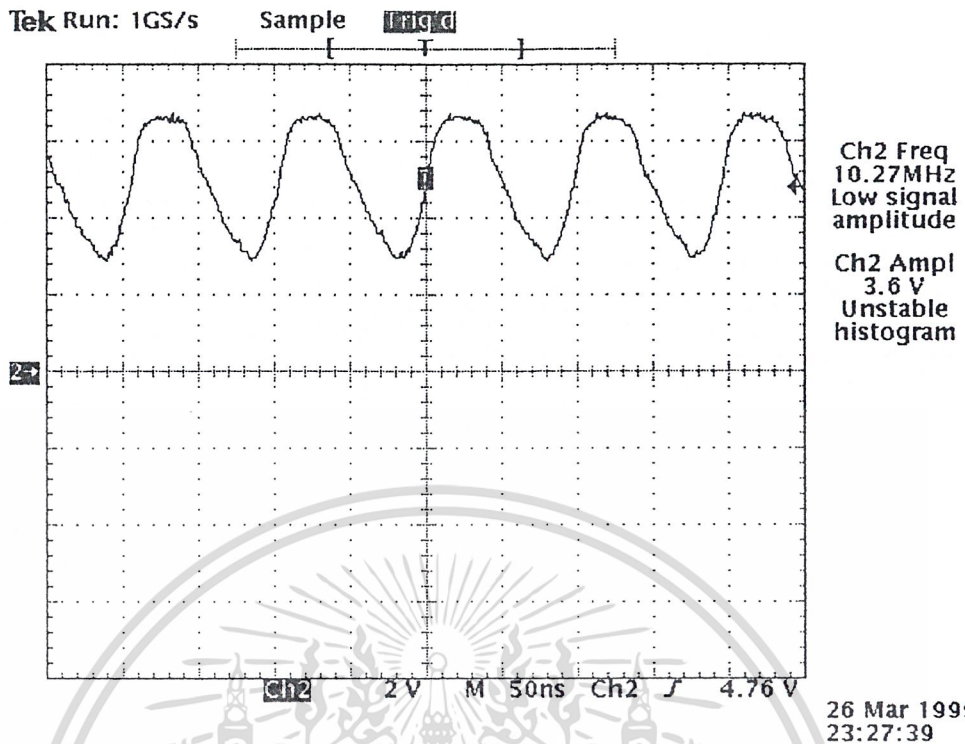


รูปที่ 4.1 สัญญาณจากภาค ออสซิลเลเตอร์

##### 4.1.2 วงจรบัฟเฟอร์ (Buffer)

1. ต่อยังตามรูปที่ 3.2
2. ป้อนสัญญาณเอาต์พุตจากภาคออสซิลเลเตอร์เข้าที่อินพุตของวงจรบัฟเฟอร์
3. นำ ออสซิลโลสโคปมาวัดสัญญาณที่ เอาต์พุต
4. บันทึกรูปสัญญาณจากออสซิลโลสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

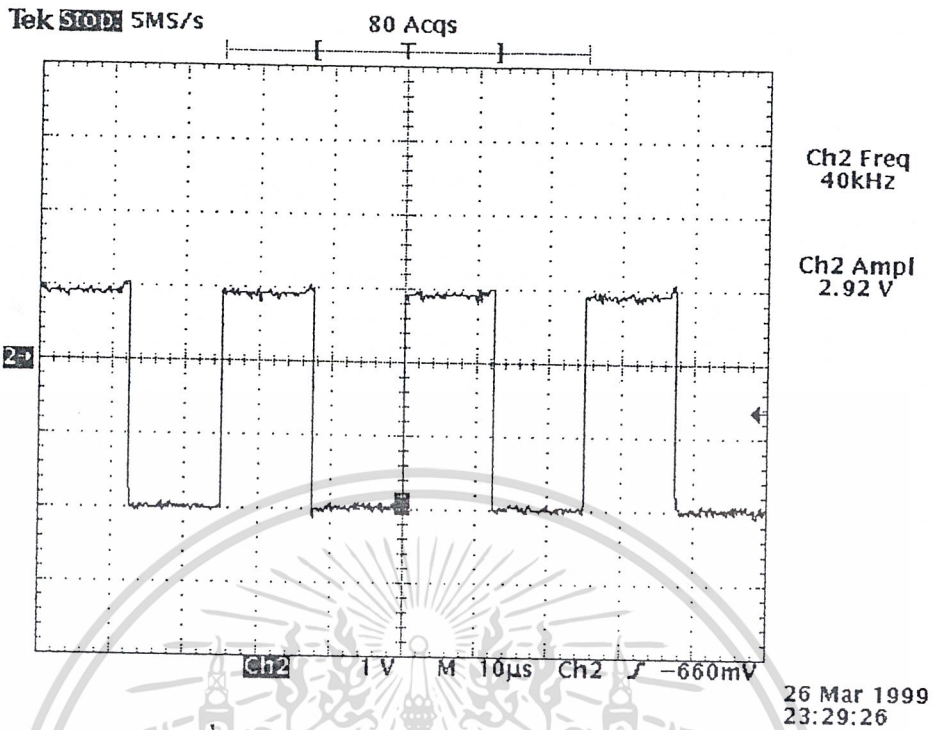


#### รูปที่ 4.2 เอาท์พุทของภาคบัฟเฟอร์

##### 4.1.3 วงจรหารความถี่

1. คำนวณวงจรรูปที่ 3.3
2. นำสัญญาณเอาท์พุทจากภาคบัฟเฟอร์ป้อนเข้าที่ขา 3 ของไอซี 74F163 ตัวแรก
3. วัดสัญญาณเอาท์พุทที่ขา 11 ของไอซี 74F163 ตัวที่ 2
4. บันทึกรูปสัญญาณที่ได้จากออสซิลโลสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

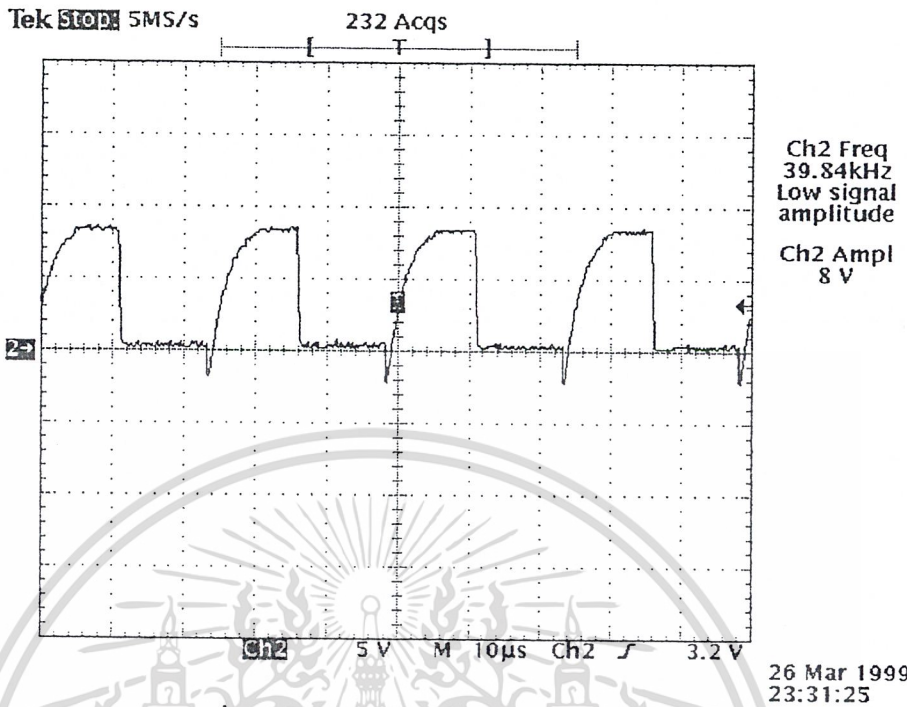


รูปที่ 4.3 เอาท์พุทของวงจรหารความถี่

#### 4.1.4 วงจรขยายแรงดัน

1. ต้องวงจรตามรูปที่ 3.4
2. นำสัญญาณเอาท์พุทของวงจรหารความถี่ป้อนเข้าที่อินพุทของวงจรขยายแรงดัน
3. วัดสัญญาณเอาท์พุทโดยออสซิลโลสโคป
4. บันทึกรูปสัญญาณที่ได้จากออสซิลโลสโคป

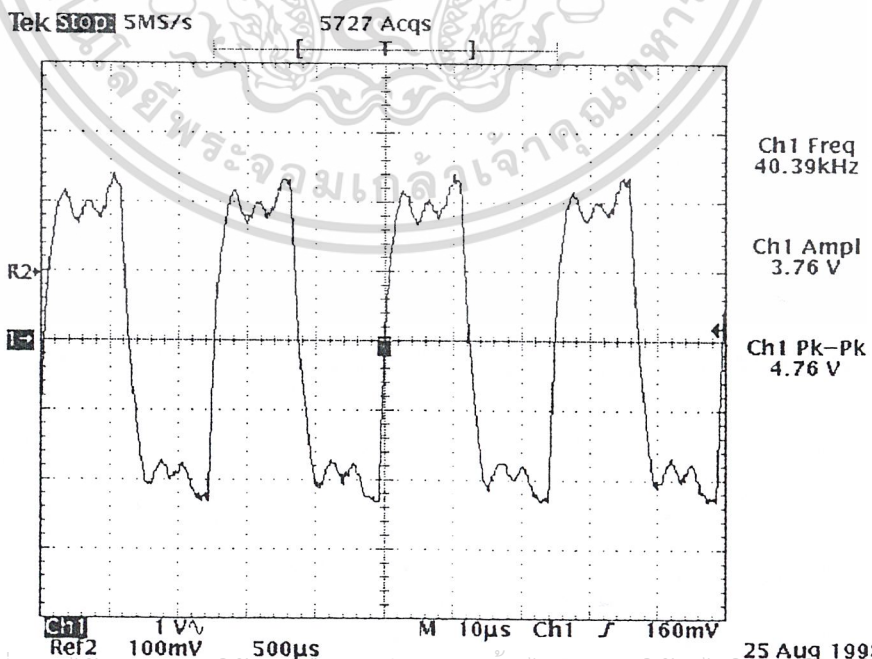
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 เอาท์พุทของวงจรขยายแรงดัน

## 4.2 การทดลองที่ 2 : การทดสอบเครื่องรับและเครื่องส่ง

1. นำสัญญาณที่ได้จาก ภาคกำเนิดความถี่ 40 กิโลเฮิร์ตป้อนเข้าที่อินพุทของตัวส่งอุตสาหกรรม
2. นำ ออสซิลโลสโคปมาวัดสัญญาณที่เอาต์พุต แล้วบันทึกรูป

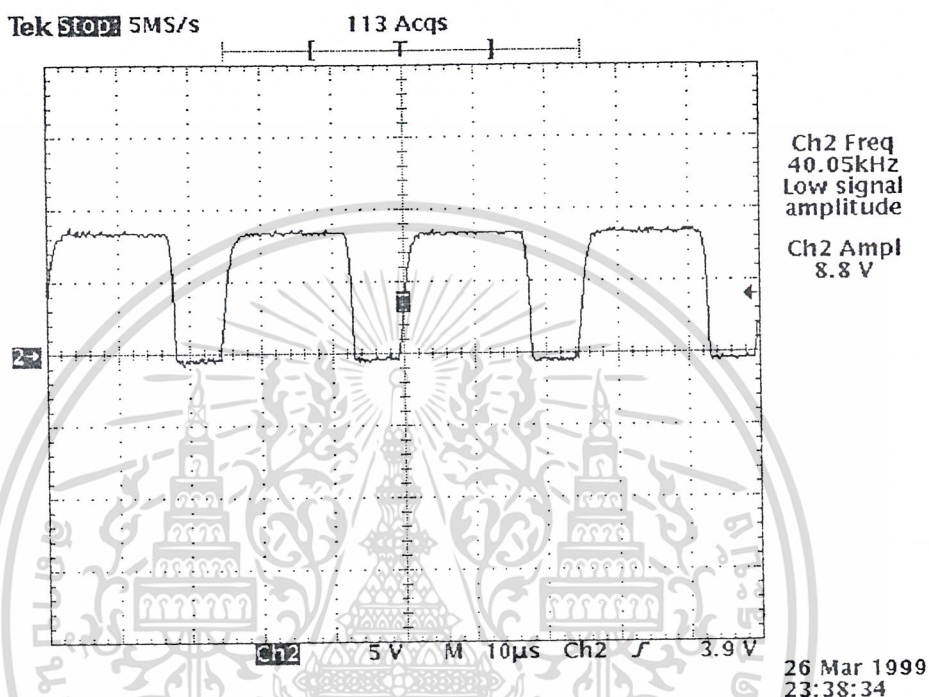


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 รูปสัญญาณหลังจากต่อตัวส่ง

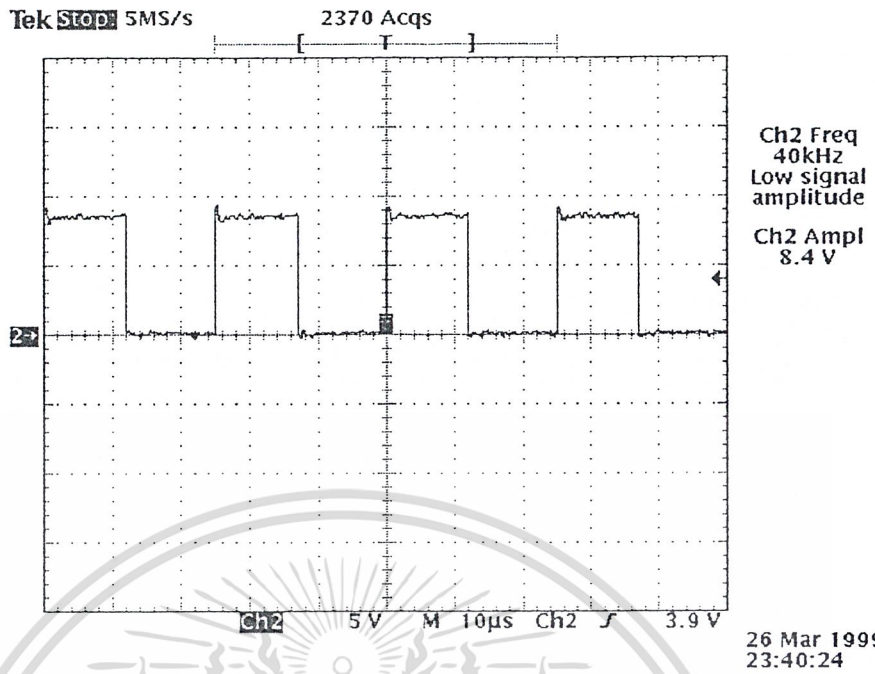
3. นำตัวรับสัญญาณเสียงอุตสาหกรรม ต่อเข้ากับภาคขยายสัญญาณ
4. นำตัวส่ง ไปติดไว้ที่ปลายท่อด้านหนึ่ง และนำตัวรับสัญญาณ ไปต่อกับปลายท่ออีกด้านหนึ่ง
5. ทำการส่งสัญญาณเสียงเข้าไปในท่อนำเสียง และนำ ออสซิลโลสโคปมาวัดสัญญาณที่เอาต์พุต ของภาครับ แล้ว บันทึกรูป



รูปที่ 4.6 รูปสัญญาณที่ภาครับ

6. นำสัญญาณจากภาครับ ป้อนเข้าวงจร โมโนสเตเบิลเพื่อสร้างสัญญาณที่มีควิตีไซเคิล 50 เปอร์เซ็นต์
7. ปรับความต้านทานในวงจร โมโนสเตเบิลจน ได้สัญญาณเอาต์พุตที่มีควิตีไซเคิล 50 เปอร์เซ็นต์
8. บันทึกรูปสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากออสซิลโลสโคป

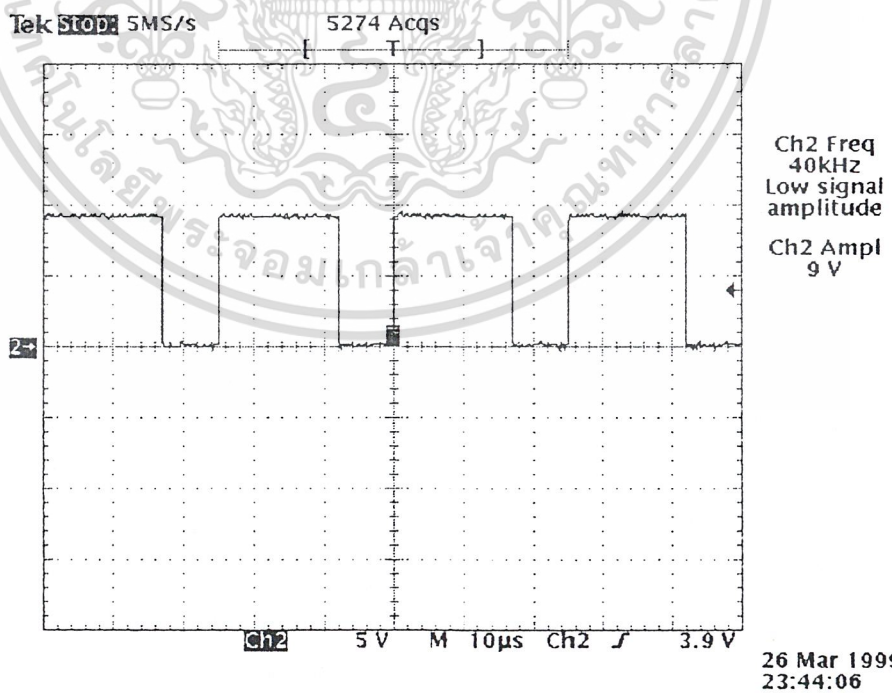
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 สัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรโมโนสเตเบิล

4.3 การทดลองที่ 3: การทดลองการเปรียบเทียบสัญญาณ

นำสัญญาณเอาต์พุตของภาคส่งมาเปรียบเทียบกับสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรโมโนสเตเบิล โดยใช้ แนนเกต 2 ตัวต่อเป็น แอนเกต



รูปที่ 4.8 สัญญาณของภาครับเทียบกับภาคส่ง

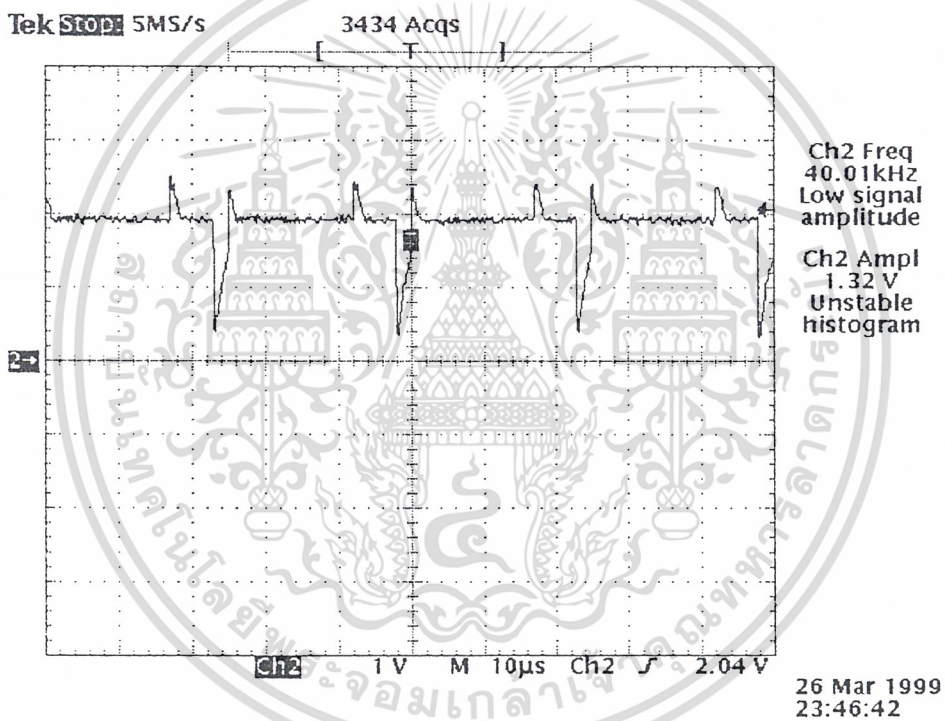
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.4 การทดลองที่ 4 : วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

1. ต่อวงจรตามรูปที่ 3.5
2. ออกแบบวงจรหาค่า R และ C จากสมการ

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

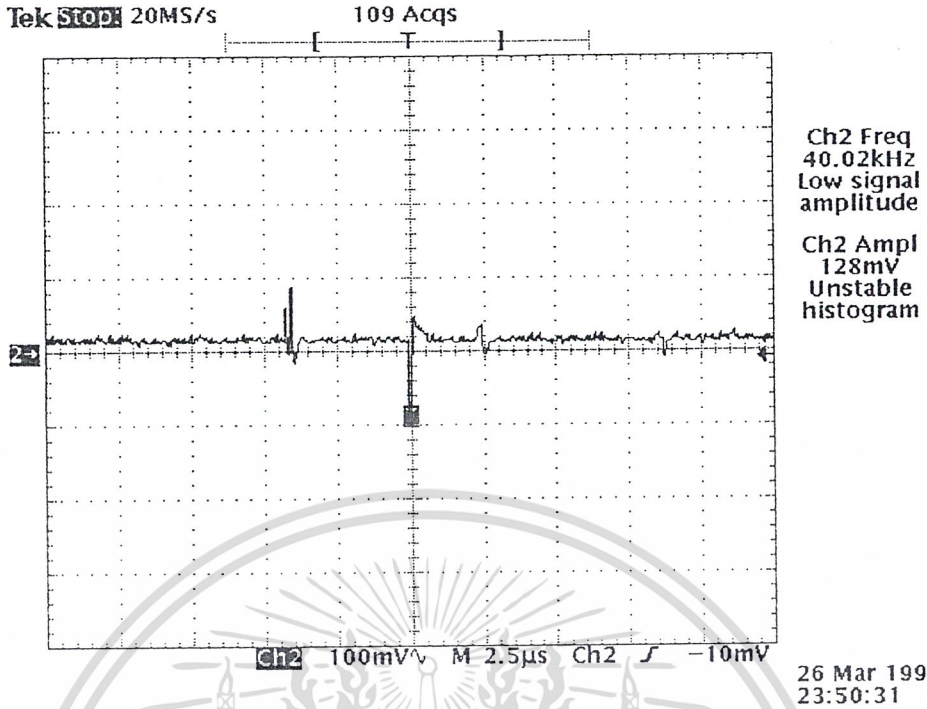
3. นำออสซิลโลสโคปมาวัดที่เอาต์พุตเพื่อสังเกตค่าริบเบิล(Ripple) ของ ภาคที่ 1



รูปที่ 4.9 แสดงค่าริบเบิลของ ภาคที่ 1

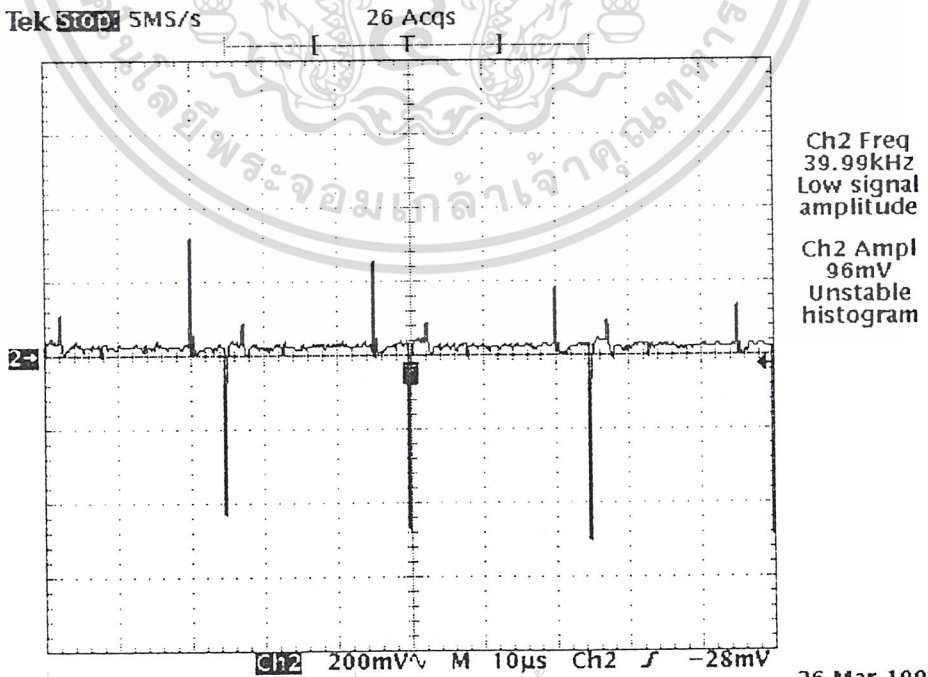
4. นำออสซิลโลสโคปมาวัดที่เอาต์พุตเพื่อสังเกตค่าริบเบิล (Ripple) ของ ภาค ที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



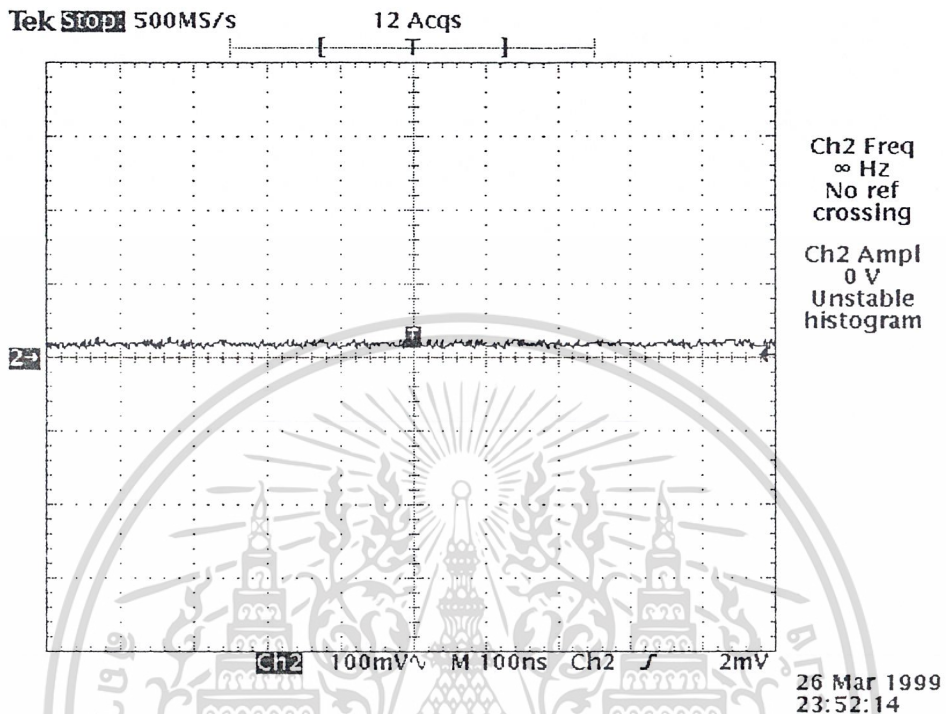
รูปที่ 4.10 แสดงค่าริบเบิลของภาคที่ 2

5. นำออสซิลโลสโคปมาวัดที่ เอาต์พุตเพื่อสังเกตค่าริบเบิล(Ripple) ของภาค ที่ 3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ 23:48:37 ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีรูปที่ 4.11 แสดงค่าริบเบิลของภาคที่ 3 ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. นำออสซิลโลสโคปมาวัดที่ เอาต์พุตเพื่อสังเกตค่าริบเบิล(Ripple) ของภาค ที่ 4

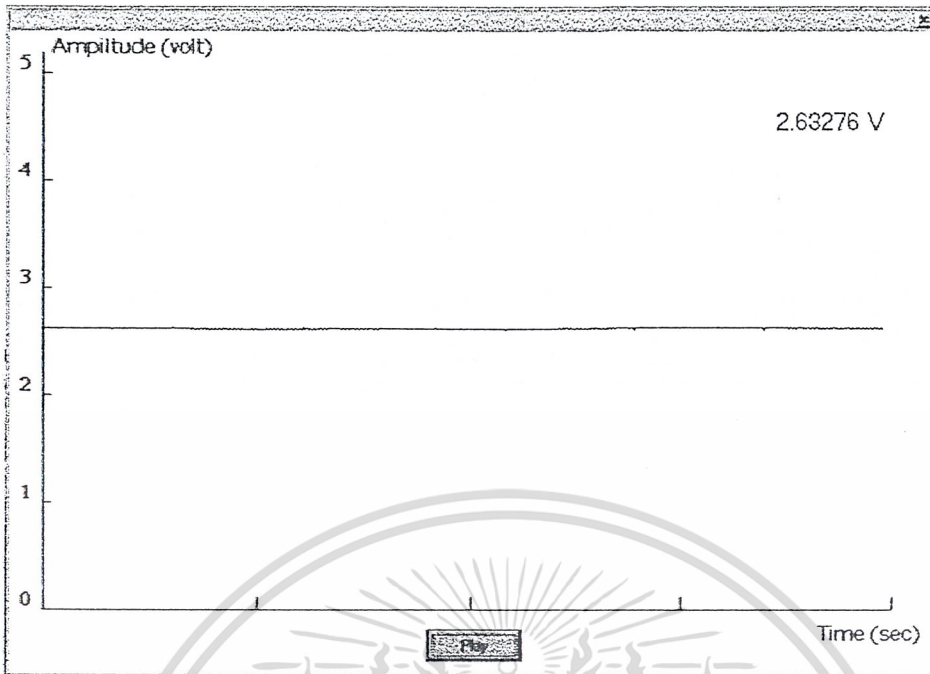


รูปที่ 4.12 สัญญาณเอาต์พุตจากภาคกรองความถี่ต่ำผ่าน ภาคที่4

4.5 การทดลองที่ 5 : โปรแกรมรับข้อมูลเพื่อแสดงผลบนไมโครคอมพิวเตอร์

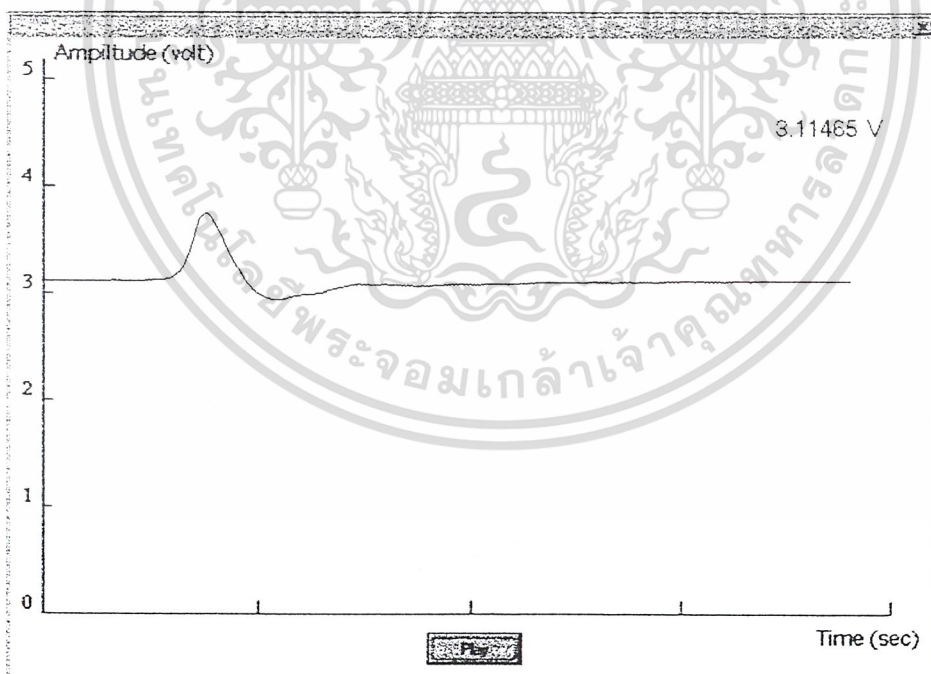
1. วางท่อไห้อู้อยู่หนึ่ง แล้วสังเกตคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันจากกราฟที่แสดงบนไมโครคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 แสดงระดับอ้างอิงเมื่อท่ออยู่นิ่ง

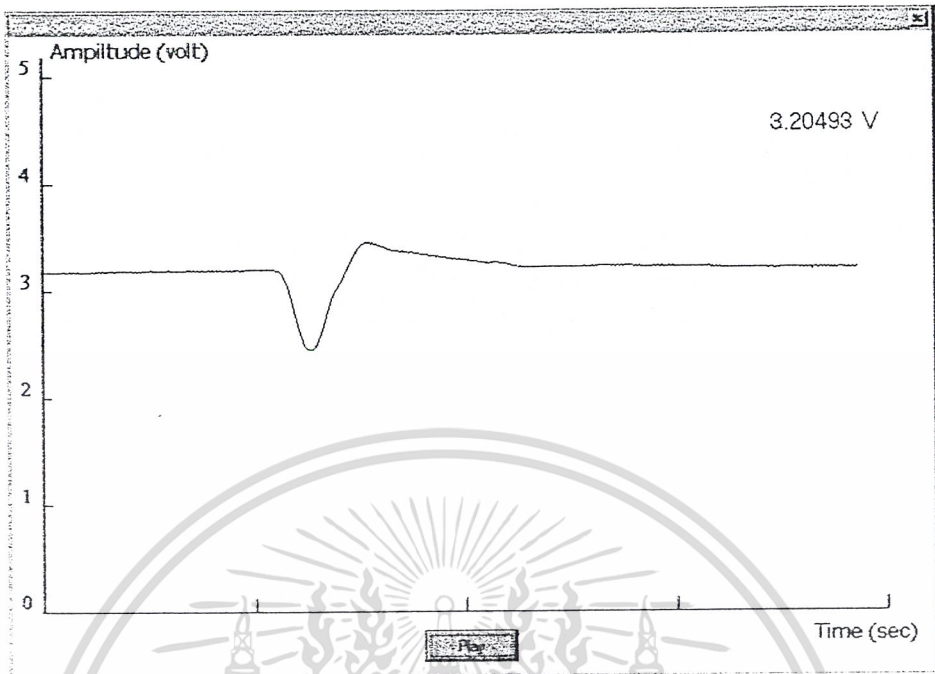
2. หมุนท่อทวนเข็มนาฬิกา ตั้งเกิดและบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ



รูปที่ 4.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันเมื่อหมุนท่อตามเข็มนาฬิกา

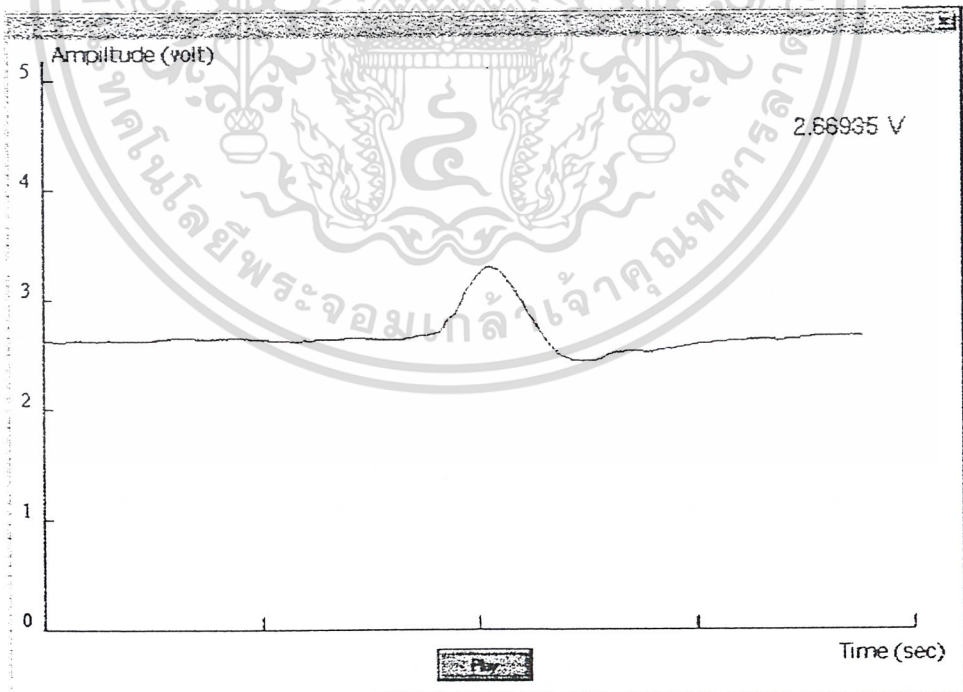
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. หมุนท่อตามเข็มนาฬิกา สังเกตและบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ



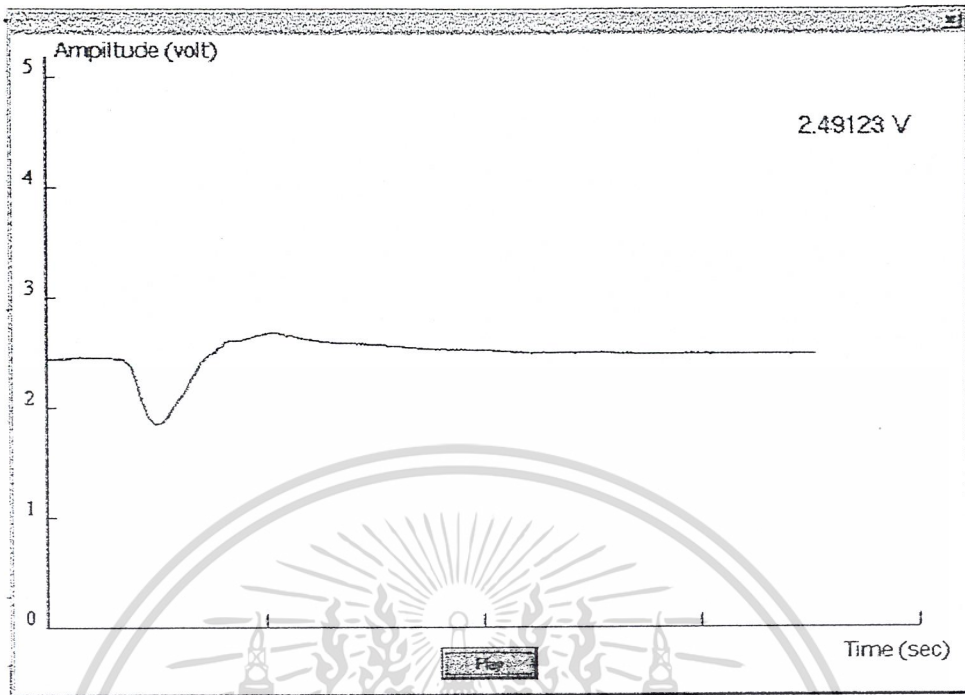
รูปที่ 4.15 แสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันเมื่อหมุนท่อวนเข็มนาฬิกา

4. เปลี่ยนท่อจากท่อเหล็ก เป็นท่อ เอสตอนทำการทดลอง ตามข้อ 2 และ 3 บันทึกรูปสัญญาณ



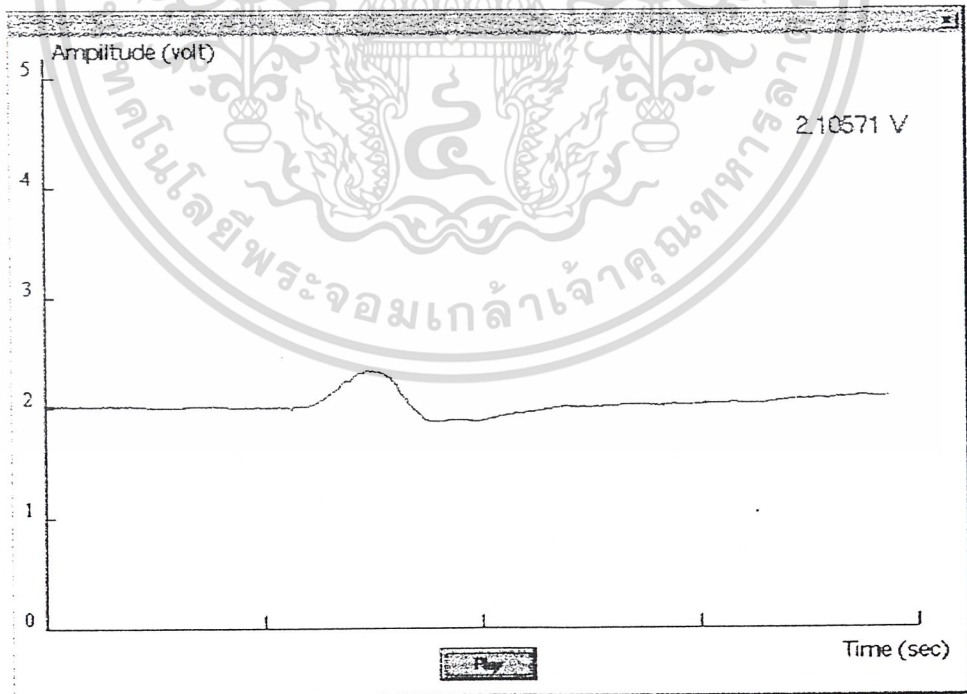
รูปที่ 4.16 แสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันเมื่อหมุนท่อตามเข็มนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



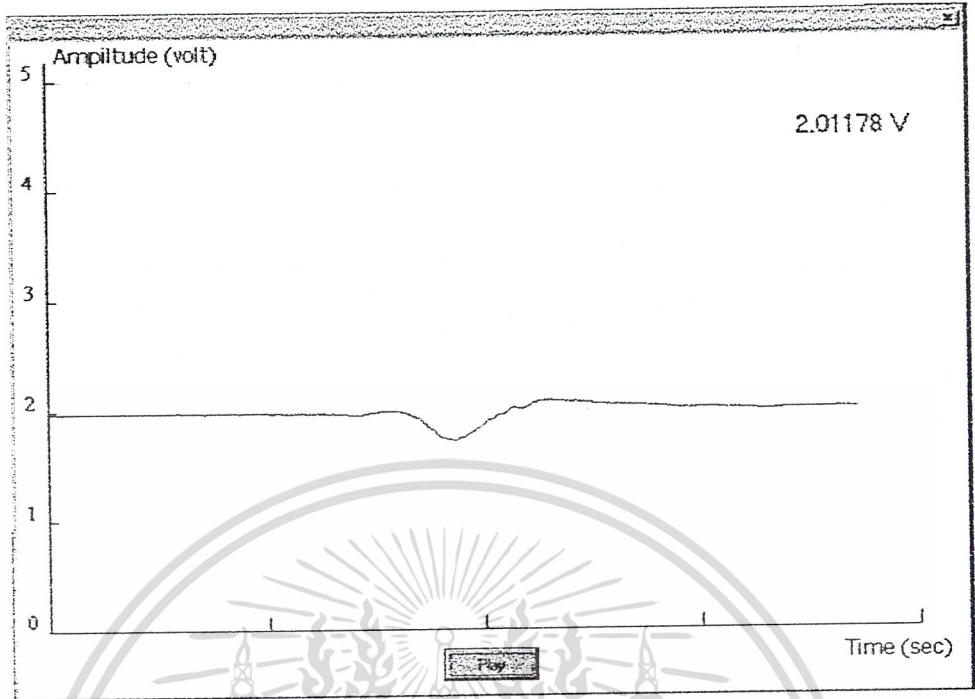
รูปที่ 4.17 แสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันเมื่อหมุนท่อทวนเข็มนาฬิกา

5. เปลี่ยนท่อจากท่อเหล็ก เป็นท่ออย่าง ทำการทดลอง ตามข้อ 2 และ 3 บันทึกรูปสัญญาณ



รูปที่ 4.18 แสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันเมื่อหมุนท่อตามเข็มนาฬิกา

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.19 แสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันเมื่อหมุนท่อทวนเข็มนาฬิกา

6.ทำการเปรียบเทียบมุมที่เคลื่อนที่ไป กับมุมที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

## สรุปและวิจารณ์

จากผลการทดลองที่ 5 ข้อ 1,2 และ 3 แสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์นำร่องใช้เสียงมีความสามารถรับรู้การหมุนของวัตถุได้ตามแนวคิดแต่แรก

เมื่อทำการทดลองเปรียบเทียบค่ามุมที่วัดได้กับค่ามุมที่เคลื่อนที่ไป ปรากฏว่าค่าที่วัดได้แตกต่างกับค่าจริงมาก เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันที่วัดได้กับการเปลี่ยนแปลงในแนวความคิด พบว่าสิ่งที่ต่างกันคือในการทดลองจริงระดับสัญญาณจะมีการสวิงกลับไปในด้านตรงกันข้ามของการหมุนเมื่อสิ้นสุดการหมุน เมื่อทดลองเปลี่ยนวัสดุที่ใช้ทำท่อในการทดลองที่ 5 ข้อ 4 และ 5 โดยเปลี่ยนจาก ท่อเหล็กเป็นท่อเอสลอน และท่อยาง เพื่อหาสาเหตุ ว่าเกิดจากวัสดุหรือไม่ สรุปได้ว่าการสวิงของระดับสัญญาณไม่ได้เกิดจากชนิดของวัสดุที่ใช้ทำท่อ แต่เกิดจากเคลื่อนตัวของอากาศภายในท่อเมื่อทำการหมุนท่อนั่นเอง

อุปสรรคสำคัญนอกจากการเคลื่อนที่ของตัวอากาศแล้วยังมีปัญหาในเรื่องของอุณหภูมิของตัวอากาศด้วย เนื่องจากความเร็วของเสียงในอากาศขึ้นอยู่กับอุณหภูมิห้องด้วย

ดังนั้นการสร้างใจโรสโคปเสียง โดยการใช้อากาศเป็นตัวกลางจึงมีความไม่เหมาะสมกับการใช้งานเนื่องจากเครื่องมือวัดในลักษณะนี้ ต้องการความเที่ยงตรงแม่นยำสูงในขณะที่ตัวกลางที่ใช้ คืออากาศถูกผลกระทบจากสภาพแวดล้อมจนทำให้ความเร็วของเสียงเปลี่ยนไปได้ง่าย การสร้างเครื่องวัดในลักษณะนี้จึงควรใช้ตัวกลางที่ผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมไม่ทำให้คุณสมบัติของตัวกลางเปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ซอร์สโค้ด ของ โปรแกรมรับข้อมูล

```
unit GyroRecei;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs,
  StdCtrls, ComDrv32, ExtCtrls;

type
  TMainFr = class(TForm)
    Connect: TButton;
    Disconnect: TButton;
    Cancel: TButton;
    Label1: TLabel;
    Label2: TLabel;
    Label3: TLabel;
    CommPortDriver1: TCommPortDriver;
    Timer1: TTimer;
    view: TLabel;
    Label4: TLabel;
    Label5: TLabel;
    scope: TButton;
    Pause: TButton;
    Timer2: TTimer;
    Label6: TLabel;
    set1: TButton;
    value: TLabel;
    slope: TLabel;
    RadioGroup1: TRadioGroup;
    Bevel1: TBevel;
    Label7: TLabel;
    Label8: TLabel;
    Label9: TLabel;
    Reset: TButton;
    Bevel2: TBevel;
    Bevel4: TBevel;
    StaticText1: TStaticText;
    StaticText2: TStaticText;
    StaticText3: TStaticText;
    procedure ConnectClick(Sender: TObject);
    procedure DisconnectClick(Sender: TObject);
    procedure CancelClick(Sender: TObject);
    procedure CommPortDriver1ReceiveData(Sender: TObject; DataPtr:
      Pointer;
      DataSize: Integer);
    procedure FormCreate(Sender: TObject);
    procedure Timer1Timer(Sender: TObject);
    procedure SendClick(Sender: TObject);
    procedure scopeClick(Sender: TObject);
    procedure PauseClick(Sender: TObject);
    procedure Timer2Timer(Sender: TObject);
    procedure Button1Click(Sender: TObject);
    procedure Button2Click(Sender: TObject);
    procedure set1Click(Sender: TObject);
    procedure RadioGroup1Click(Sender: TObject);
    procedure ResetClick(Sender: TObject);
  end;
end;
```

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

private
    { Private declarations }

public
    { Public declarations }
end;

var
    MainFr: TMainFr;
    Pk,Ar,Rs,Tim,x,y,i,j:integer;
    Ans,Slop,Val,aver,ref,ab,ang,vs,l:Real;
    detecdata1,detecdata2,Splay,up,down,oper:Boolean;
    DataAr:ARRAY[1..2] of integer;
    DataPk:ARRAY[1..10000] of integer;
    DataRs:ARRAY[1..4000] of integer;

```

```
implementation
```

```
uses scope;
```

```
{ $R *.DFM }
```

```
function Convstr(s:pchar):integer;
```

```
var p:pchar;
```

```
begin
```

```
    result:=0;
```

```
    p:=s;
```

```
    case p^ of
```

```
        #00:result:=0;
```

```
        #01:result:=1;
```

```
        #02:result:=2;
```

```
        #03:result:=3;
```

```
        #04:result:=4;
```

```
        #05:result:=5;
```

```
        #06:result:=6;
```

```
        #07:result:=7;
```

```
        #08:result:=8;
```

```
        #09:result:=9;
```

```
        #10:result:=10;
```

```
        #11:result:=11;
```

```
        #12:result:=12;
```

```
        #13:result:=13;
```

```
        #14:result:=14;
```

```
        #15:result:=15;
```

```
        #16:result:=16;
```

```
        #17:result:=17;
```

```
        #18:result:=18;
```

```
        #19:result:=19;
```

```
        #20:result:=20;
```

```
        #21:result:=21;
```

```
        #22:result:=22;
```

```
        #23:result:=23;
```

```
        #24:result:=24;
```

```
        #25:result:=25;
```

```
        #26:result:=26;
```

```
        #27:result:=27;
```

```
        #28:result:=28;
```

```
        #29:result:=29;
```

```
        #30:result:=30;
```

```
        #31:result:=31;
```



เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม้ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#32:result:=32;  
#33:result:=33;  
#34:result:=34;  
#35:result:=35;  
#36:result:=36;  
#37:result:=37;  
#38:result:=38;  
#39:result:=39;  
#40:result:=40;  
#41:result:=41;  
#42:result:=42;  
#43:result:=43;  
#44:result:=44;  
#45:result:=45;  
#46:result:=46;  
#47:result:=47;  
#48:result:=48;  
#49:result:=49;  
#50:result:=50;  
#51:result:=51;  
#52:result:=52;  
#53:result:=53;  
#54:result:=54;  
#55:result:=55;  
#56:result:=56;  
#57:result:=57;  
#58:result:=58;  
#59:result:=59;  
#60:result:=60;  
#61:result:=61;  
#62:result:=62;  
#63:result:=63;  
#64:result:=64;  
#65:result:=65;  
#66:result:=66;  
#67:result:=67;  
#68:result:=68;  
#69:result:=69;  
#70:result:=70;  
#71:result:=71;  
#72:result:=72;  
#73:result:=73;  
#74:result:=74;  
#75:result:=75;  
#76:result:=76;  
#77:result:=77;  
#78:result:=78;  
#79:result:=79;  
#80:result:=80;  
#81:result:=81;  
#82:result:=82;  
#83:result:=83;  
#84:result:=84;  
#85:result:=85;  
#86:result:=86;  
#87:result:=87;  
#88:result:=88;  
#89:result:=89;



เอกสาร#90:result:=90; สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
#91:result:=91;  
#92:result:=92; ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#93:result:=93;  
#94:result:=94;  
#95:result:=95;  
#96:result:=96;  
#97:result:=97;  
#98:result:=98;  
#99:result:=99;  
#100:result:=100;  
#101:result:=101;  
#102:result:=102;  
#103:result:=103;  
#104:result:=104;  
#105:result:=105;  
#106:result:=106;  
#107:result:=107;  
#108:result:=108;  
#109:result:=109;  
#110:result:=110;  
#111:result:=111;  
#112:result:=112;  
#113:result:=113;  
#114:result:=114;  
#115:result:=115;  
#116:result:=116;  
#117:result:=117;  
#118:result:=118;  
#119:result:=119;  
#120:result:=120;  
#121:result:=121;  
#122:result:=122;  
#123:result:=123;  
#124:result:=124;  
#125:result:=125;  
#126:result:=126;  
#127:result:=127;  
#128:result:=128;  
#129:result:=129;  
#130:result:=130;  
#131:result:=131;  
#132:result:=132;  
#133:result:=133;  
#134:result:=134;  
#135:result:=135;  
#136:result:=136;  
#137:result:=137;  
#138:result:=138;  
#139:result:=139;  
#140:result:=140;  
#141:result:=141;  
#142:result:=142;  
#143:result:=143;  
#144:result:=144;  
#145:result:=145;  
#146:result:=146;  
#147:result:=147;  
#148:result:=148;  
#149:result:=149;  
#150:result:=150;  
#151:result:=151;  
#152:result:=152;  
#153:result:=153;



เอกสารนี้เป็นเอกสารเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่าในรูปแบบใดก็ตาม หากมีให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#154:result:=154;  
#155:result:=155;  
#156:result:=156;  
#157:result:=157;  
#158:result:=158;  
#159:result:=159;  
#160:result:=160;  
#161:result:=161;  
#162:result:=162;  
#163:result:=163;  
#164:result:=164;  
#165:result:=165;  
#166:result:=166;  
#167:result:=167;  
#168:result:=168;  
#169:result:=169;  
#170:result:=170;  
#171:result:=171;  
#172:result:=172;  
#173:result:=173;  
#174:result:=174;  
#175:result:=175;  
#176:result:=176;  
#177:result:=177;  
#178:result:=178;  
#179:result:=179;  
#180:result:=180;  
#181:result:=181;  
#182:result:=182;  
#183:result:=183;  
#184:result:=184;  
#185:result:=185;  
#186:result:=186;  
#187:result:=187;  
#188:result:=188;  
#189:result:=189;  
#190:result:=190;  
#191:result:=191;  
#192:result:=192;  
#193:result:=193;  
#194:result:=194;  
#195:result:=195;  
#196:result:=196;  
#197:result:=197;  
#198:result:=198;  
#199:result:=199;  
#200:result:=200;  
#201:result:=201;  
#202:result:=202;  
#203:result:=203;  
#204:result:=204;  
#205:result:=205;  
#206:result:=206;  
#207:result:=207;  
#208:result:=208;  
#209:result:=209;  
#210:result:=210;  
#211:result:=211;  
#212:result:=212;  
#213:result:=213;  
#214:result:=214;



เอกสาร #211: result:=211; สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ #212: result:=212;  
#213: result:=213; ห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้  
#214: result:=214;

```

#215:result:=215;
#216:result:=216;
#217:result:=217;
#218:result:=218;
#219:result:=219;
#220:result:=220;
#221:result:=221;
#222:result:=222;
#223:result:=223;
#224:result:=224;
#225:result:=225;
#226:result:=226;
#227:result:=227;
#228:result:=228;
#229:result:=229;
#230:result:=230;
#231:result:=231;
#232:result:=232;
#233:result:=233;
#234:result:=234;
#235:result:=235;
#236:result:=236;
#237:result:=237;
#238:result:=238;
#239:result:=239;
#240:result:=240;
#241:result:=241;
#242:result:=242;
#243:result:=243;
#244:result:=244;
#245:result:=245;
#246:result:=246;
#247:result:=247;
#248:result:=248;
#249:result:=249;
#250:result:=250;
#251:result:=251;
#252:result:=252;
#253:result:=253;
#254:result:=254;
#255:result:=255;
end;

```

end;

```
function ContianData(Pack:integer):string;
```

```
VAR bar:string;
```

```
begin
```

```
l:=0.77742;
```

```
vs:=346;
```

```
if detecdata1=false then
```

```
begin
```

```
DataAr[1]:=Pack;
```

```
detecData1:=true;
```

```
result:='0';
```

```
end
```

```
else
```

```
begin
```

```
DataAr[2]:=Pack;
```

```
DataPk[Pk]:=(DataAr[1]*256)+DataAr[2];
```

```
y:=DataPk[Pk] div 10;
```

```
y:=441-y;
```



เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของหอสมุดแห่งชาติ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่สามารถเผยแพร่หรือดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

result:=inttostr(DataPk[Pk]);
Ans:=(DataPk[Pk]*0.00122);
Pk:=Pk+1;
if Splay=true then
begin
scopefm.value.caption:=floattostr(ans);
if x=25 then scopefm.Canvas.MoveTo(25,y);
scopefm.Canvas.pen.color:=clblue;
scopefm.Canvas.lineto(x,y);
x:=x+1;
if x=681 then
begin
x:=25;
scopefm.Refresh;
end;
end;
slop:=(datapk[pk-1]-datapk[pk-11])/10;
aver:=(datapk[pk-1]+datapk[pk-3]+datapk[pk-2]+datapk[pk-4])div 4
;
if pk=1 then begin slop:=0; aver:=ref; end;
ab:=ref-datapk[pk-1];
if abs(slop)< 0.5
then
begin
ref:=aver;
end;
ang:=424.41318*(1/164)*((5*119716*ab)/((1*4095*9*40000)-
(5*vs*ab)));
if abs(ab)>10 then val:=val+ab;
if Pk=10001 then Pk:=1;
detecdata1:=false;
end;
end;

procedure TMainFr.ConnectClick(Sender: TObject);
var v:string;
begin
if CommPortDriver1.Connect then
begin
// Check if device is ON. If it is off then force TCommPortDriver
to prevent
// calling ReadFile/WriteFile APIs until device is turned on.
if CommPortDriver1.GetLineStatus = [] then
CommPortDriver1.CheckLineStatus := true;

Connect.Enabled := false;
Disconnect.Enabled := true;
Label1.caption:= 'Connected';
detecdata1:=false;
//timer2.Enabled:=true;
Pk:=1;
x:=25;
y:=150;
timer2.Enabled:=false;
v:='A';
CommPortDriver1.SendData(pchar(v),1);
end
else // Error !
begin
label1.caption := 'Error: could not connect. Check COM port
settings ';
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ควรใช้โปรแกรมนี้หากไม่มีเหตุผลที่จำเป็นและต้องขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
    MessageBeep( 0 );
end;
end;
```

```
procedure TMainFr.DisconnectClick(Sender: TObject);
var bar:string;
begin
    bar:='SSSSSSSSSS';
    CommPortDriver1.SendData(pchar(bar),10);
    CommPortDriver1.SendData(pchar(bar),10);
    label1.caption:= 'Disconnected';
    CommPortDriver1.Disconnect;
    Disconnect.Enabled := false;
    Connect.Enabled := true;
    Ar:=1;
    detecdata1:=false;
    detecdata2:=false;
end;
```

```
procedure TMainFr.CancelClick(Sender: TObject);
var bar:string;
begin
    bar:='SSSSSSSSSS';
    CommPortDriver1.SendData(pchar(bar),10);
    CommPortDriver1.SendData(pchar(bar),10);
    Application.terminate;
end;
```

```
procedure TMainFr.CommPortDriver1ReceiveData(Sender: TObject;
    DataPtr: Pointer; DataSize: Integer);
var p:pchar;s,bar:string;a:integer;
begin
    //CommPortDriver1.PausePolling;
    p := DataPtr;
    while DataSize > 0 do
    begin
        a:=convstr(p);
        s:=ContianData(a);
        Label2.caption:=s;
        Label4.caption:=inttostr(DataAr[1]);
        label5.Caption:=inttostr(DataAr[2]);
        value.Caption:=floattostr(ref);
        slope.Caption:=floattostr(slop);
        label6.Caption:=floattostr(val);
        dec(DataSize);
        inc(p);
    end;
    //CommPortDriver1.ContinuePolling;
end;
```

```
procedure TMainFr.FormCreate(Sender: TObject);
begin
    j:=2000;
    Ar:=1;
    detecdata1:=false;
    detecdata2:=false;
    up:=false;
    down:=false;
    oper:=false;
    Pk:=1;
```

เอกสารนี้เป็นส่วนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
โดยไม่ได้รับอนุญาต หวังสน อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Rs:=1;
end;
```

```
procedure TMainFr.Timer1Timer(Sender: TObject);
var tim1:integer;
begin
  tim1:=Pk;
  tim1:=tim1-tim;
  if tim1<0 then tim1:=160;
  view.Caption:=inttostr(tim1);
  tim:=Pk;
end;
```

```
procedure TMainFr.SendClick(Sender: TObject);
var v:string;
begin
  v:='A';
  CommPortDriver1.SendData(pchar(v),1);
end;
```

```
procedure TMainFr.scopeClick(Sender: TObject);
begin
  if scope.caption='Scope' then
  begin
    scopefm.visible:=true;
    scope.caption:='Closescope';
    pause.enabled:=true;
    Splay:=true;
    scopefm.canvas.moveTo(0,150);
    exit;
  end;
  if scope.caption='Closescope' then
  begin
    scopefm.visible:=false;
    scope.caption:='Scope';
    Pause.enabled:=false;
    Splay:=false;
    x:=25;
    exit;
  end;
end;
```

```
procedure TMainFr.PauseClick(Sender: TObject);
begin
  if pause.caption='Pause' then
  begin
    Pause.caption:='Play';
    Splay:=false;
    scopefm.pause.Caption:='Play';
  end
  else
  begin
    Splay:=true;
    Pause.caption:='Pause';
    scopefm.pause.caption:='Pause';
  end;
end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
procedure TMainFr.Timer2Timer(Sender: TObject);
```

```

var bar:string;
begin
  bar:='S';
  CommPortDriver1.SendData (pchar (bar) ,1) ;
end;

procedure TMainFr.Button1Click(Sender: TObject);
begin
  j:=j+100;
end;

procedure TMainFr.Button2Click(Sender: TObject);
begin
  j:=j-100;
end;

procedure TMainFr.set1Click(Sender: TObject);
begin
  ref:=Datapk[pk-1];
  val:=0;
  up:=false;
  down:=false;
  oper:=false;
end;

procedure TMainFr.RadioGroup1Click(Sender: TObject);
begin
  CommPortDriver1.ComPort :=
  TComPortNumber (ord (RadioGroup1.ItemIndex)) ;
end;

procedure TMainFr.ResetClick(Sender: TObject);
begin
  timer2.Enabled:=true;
  scopefm.Refresh;
end;

end.

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

unit scope;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs,
  StdCtrls, ExtCtrls, OleCtrls, graphsv3, TeeProcs, TeEngine, Chart;

type
  TScopefm = class(TForm)
    value: TLabel;
    Label1: TLabel;
    Shape1: TShape;
    Shape2: TShape;
    StaticText1: TStaticText;
    StaticText2: TStaticText;
    StaticText3: TStaticText;
    Shape3: TShape;
    Shape4: TShape;
    Shape5: TShape;
    Shape6: TShape;
    Shape7: TShape;
    Shape8: TShape;
    Shape9: TShape;
    Shape10: TShape;
    Shape11: TShape;
    StaticText4: TStaticText;
    StaticText5: TStaticText;
    StaticText6: TStaticText;
    StaticText7: TStaticText;
    StaticText8: TStaticText;
    Bevel1: TBevel;
    Bevel2: TBevel;
    Bevel3: TBevel;
    Bevel4: TBevel;
    Bevel5: TBevel;
    procedure FormCreate(Sender: TObject);
  private
    { Private declarations }
  public
    { Public declarations }
  end;

var
  Scopefm: TScopefm;

implementation

{$R *.DFM}

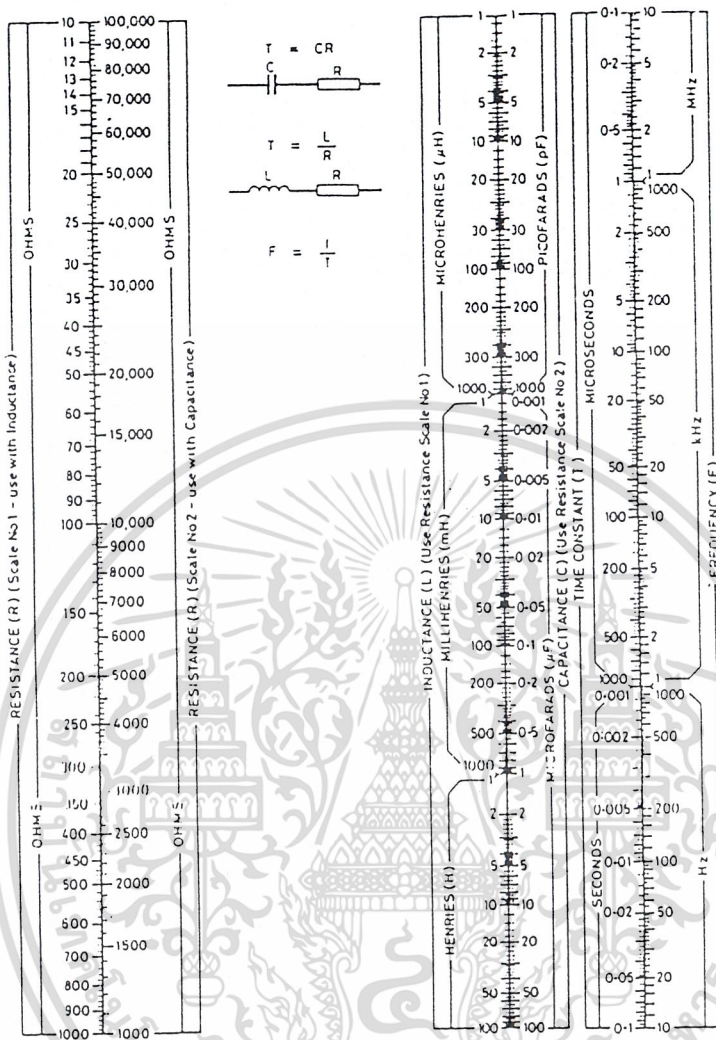
procedure TScopefm.FormCreate(Sender: TObject);
begin
  canvas.moveto(25,229);
  canvas.lineto(722,229);

```

end;  
 end.

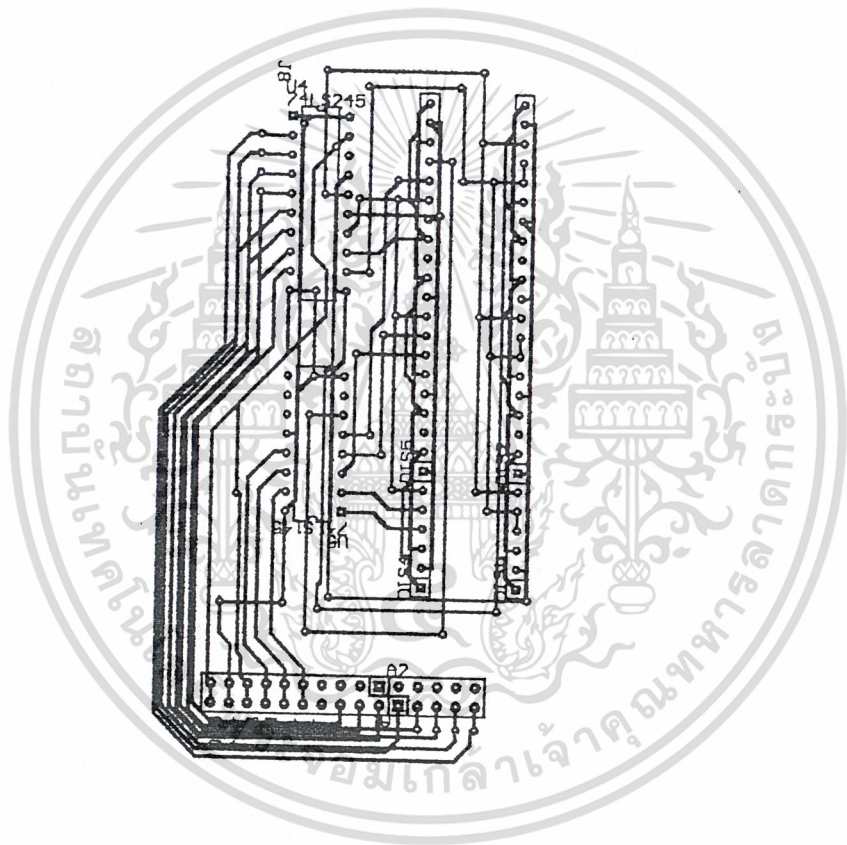
นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CHART 2—10 Hz-10 MHz

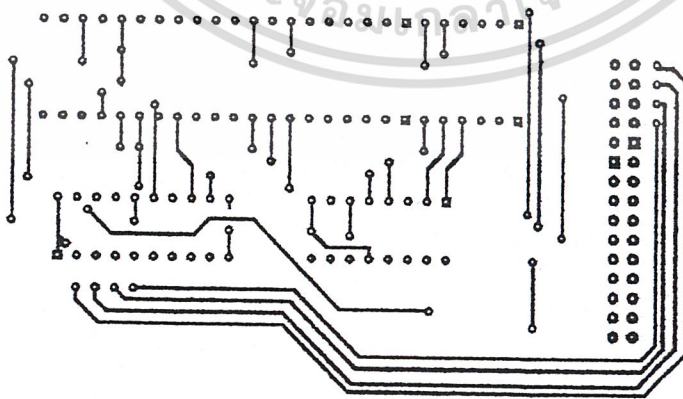
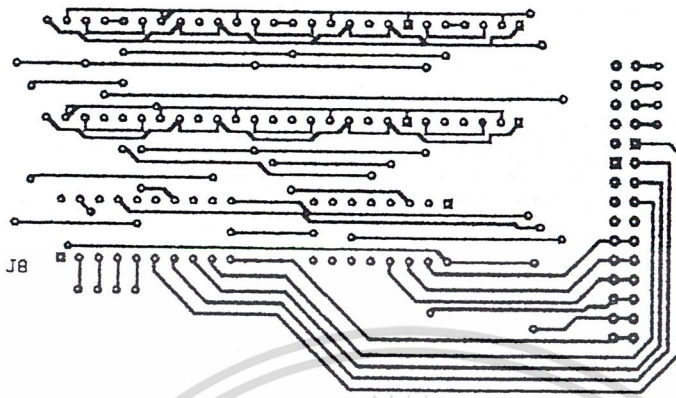


ตารางค่าภายในของคริสตัล

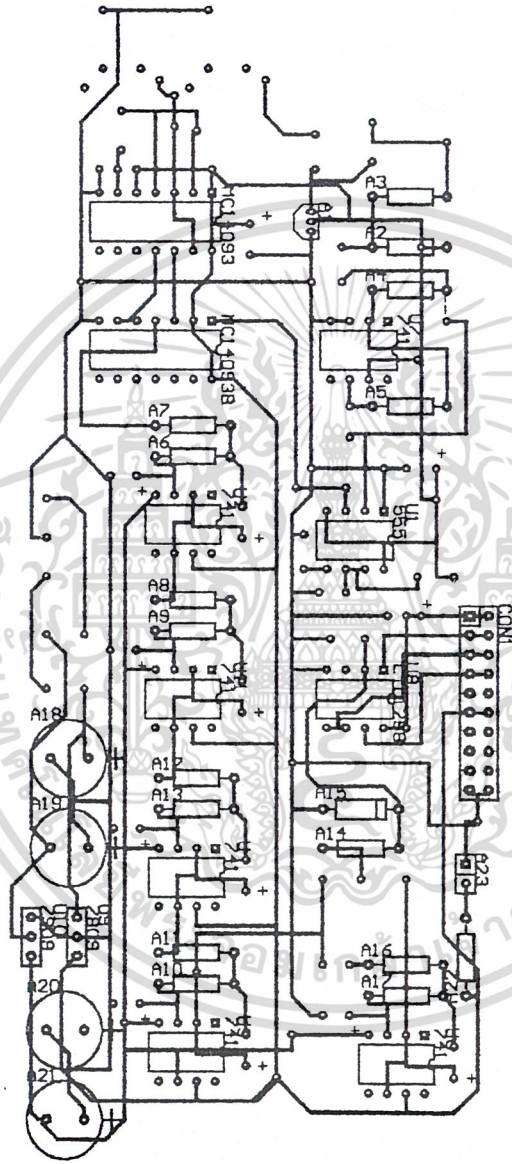
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



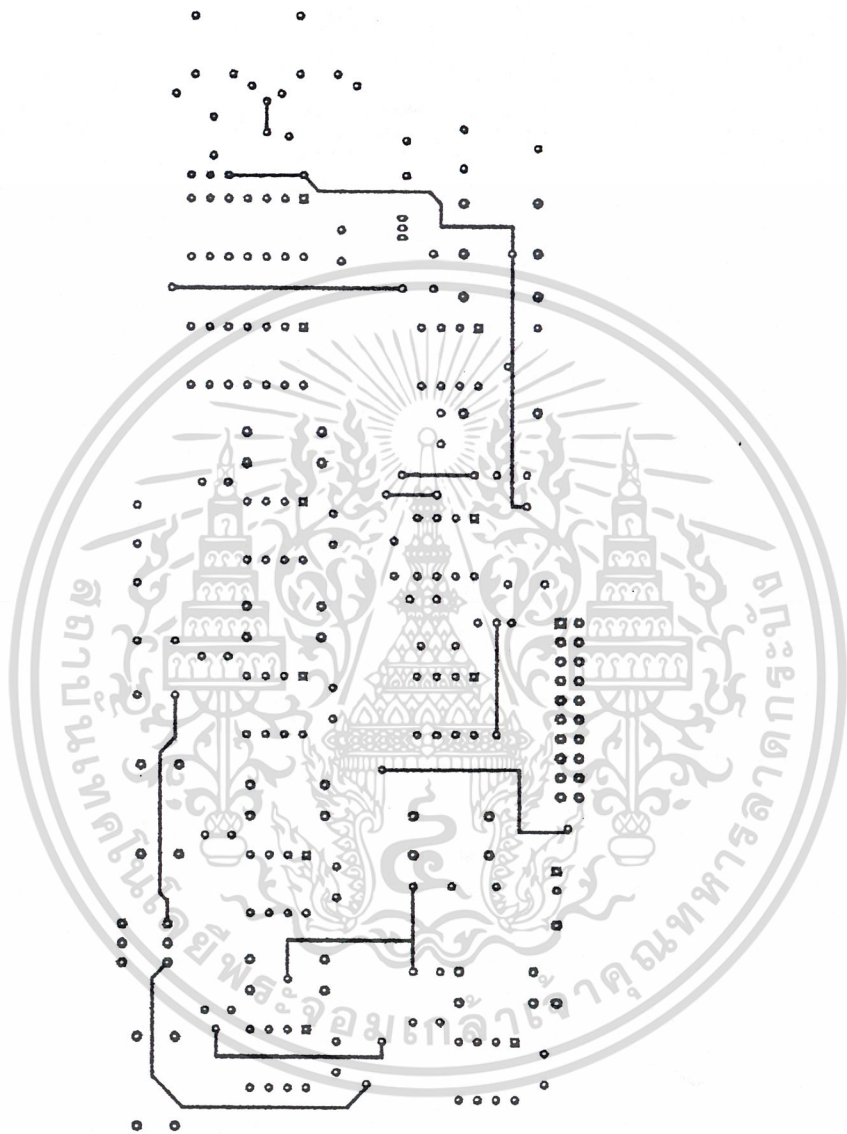
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



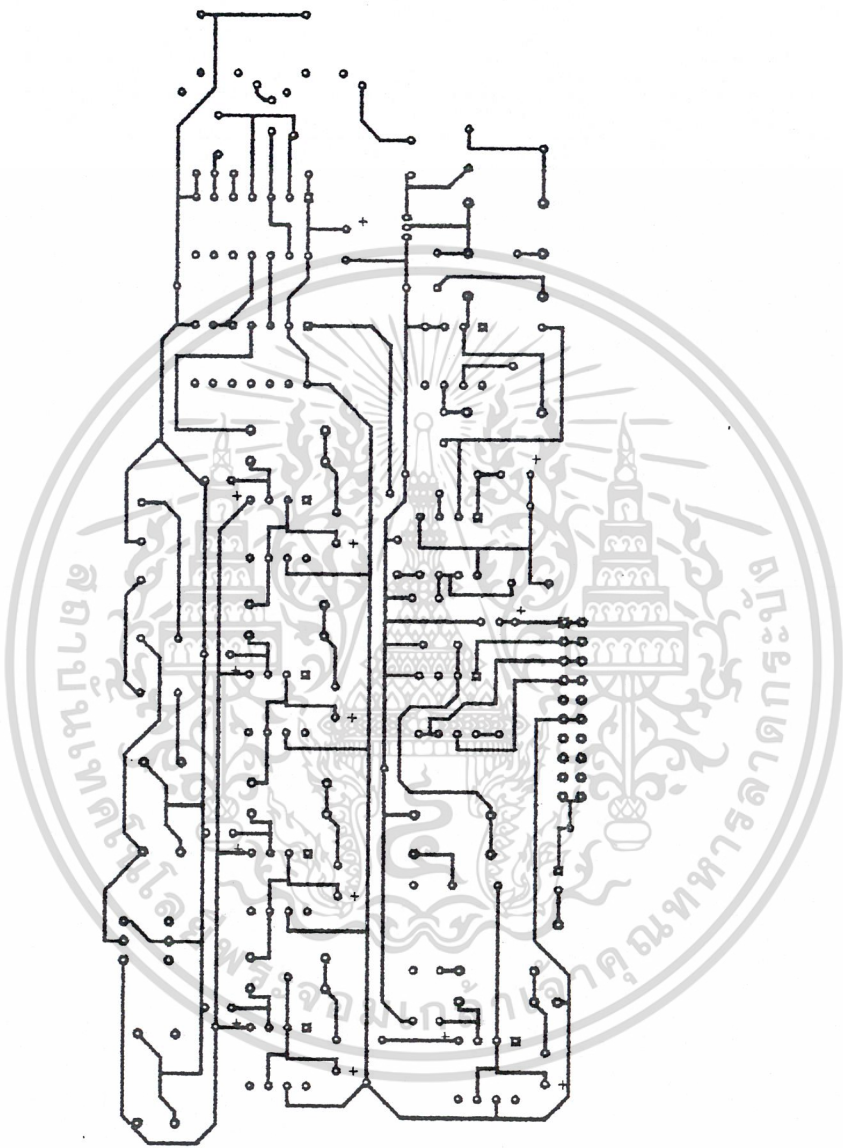
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



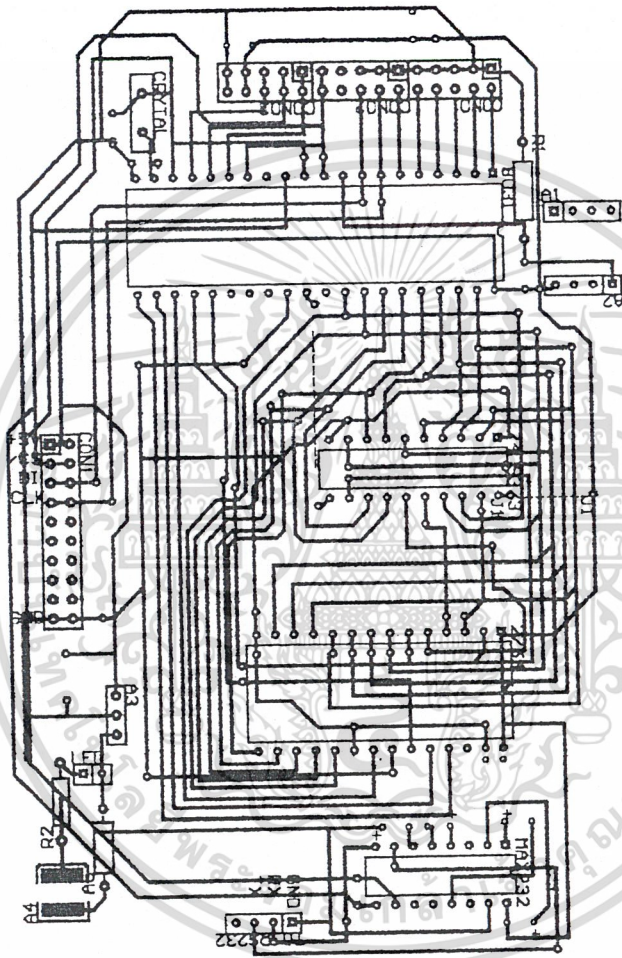
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



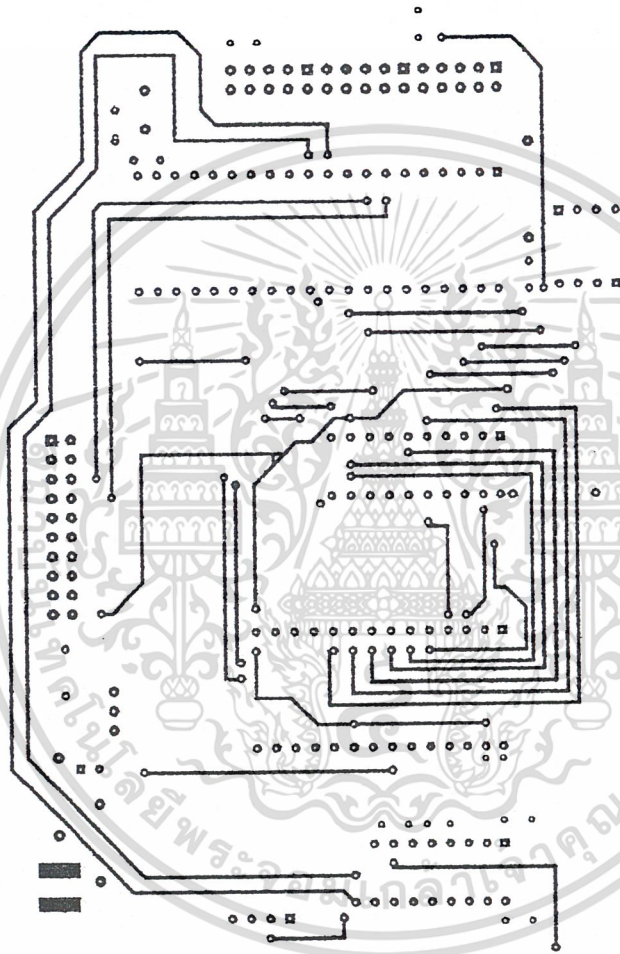
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



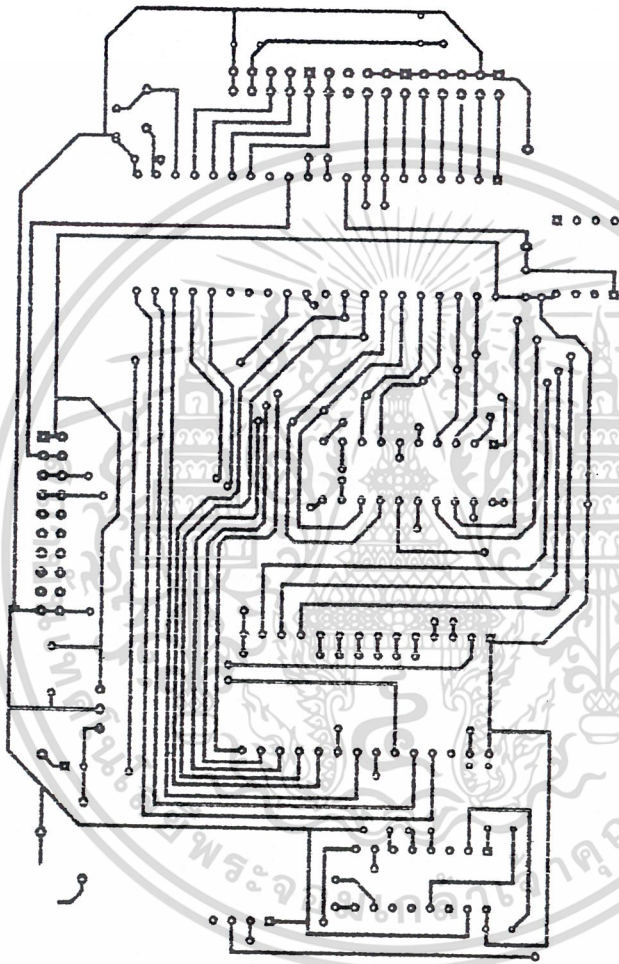
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



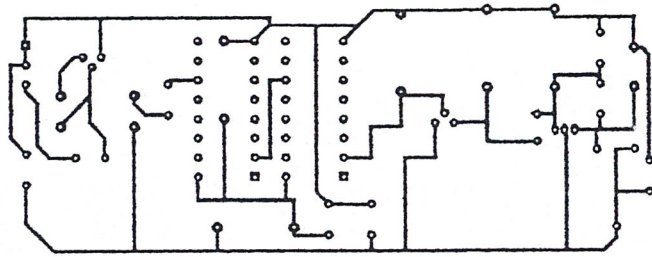
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



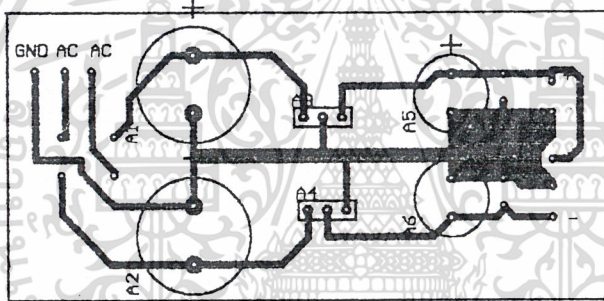
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# เอกสารอ้างอิง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**80C31BH/80C51BH/87C51**  
**MCS® 51**  
**CHMOS SINGLE-CHIP 8-BIT MICROCONTROLLER**  
*Automotive*

- Extended Automotive Temperature Range (-40°C to +125°C Ambient)
- High Performance CHMOS Process
- Power Control Modes
- 4 Kbyte On-Chip ROM/EPROM
- 128 x 8-bit RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Two 16-Bit Timer/Counters
- 5 Interrupt Sources
- Quick-Pulse EPROM Programming
- 2-Level Program Memory Lock EPROM
- Boolean Processor
- Programmable Serial Port
- TTL- and CMOS-Compatible Logic Levels
- 64K External Program Memory Space
- 64K External Data Memory Space
- IDLE and POWER DOWN Modes
- ONCE Mode Facilitates System Testing
- Available in 12 MHz and 16 MHz Versions
- Available in PLCC and DIP Packages  
(See Packaging Specification, Order # 231369)

The MCS® 51 CHMOS microcontroller products are fabricated on Intel's reliable CHMOS process and are functionally compatible with the standard MCS 51 HMOS microcontroller products. This technology combines the high speed and density characteristics of HMOS with the low power attributes of CHMOS. This combination expands the effectiveness of the powerful MCS 51 microcontroller architecture and instruction set.

Like the MCS 51 HMOS microcontroller versions, the MCS 51 CHMOS microcontroller products have the following features: 4 Kbytes of EPROM/ROM (87C51/80C51BH respectively); 128 bytes of RAM; 32 I/O lines; two 16-bit timer/counters; a five-source two-level interrupt structure; a full duplex serial port; and on-chip oscillator and clock circuitry. In addition, the MCS 51 CHMOS microcontroller products exhibit low operating power, along with two software selectable modes of reduced activity for further power reduction—Idle and Power Down.

The Idle mode freezes the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port, and interrupt system to continue functioning. The Power Down mode saves the RAM contents but freezes the oscillator, causing all other chip functions to be inoperative.

The 87C51 is the EPROM version of the 80C51BH. It contains 4 Kbytes of on-chip program memory that can be electrically programmed, and can be erased by exposure to ultraviolet light. The 87C51 EPROM array uses a modified Quick-Pulse Programming algorithm, by which the entire 4 Kbyte array can be programmed in about 12 seconds.

**NOTICE:**

This datasheet contains information on products in full production. Specifications within this datasheet are subject to change without notice. Verify with your local Intel sales office that you have the latest datasheet before finalizing a design.

\*Other brands and names are the property of their respective owners.

Information in this document is provided in connection with Intel products. Intel assumes no liability whatsoever, including infringement of any patent or copyright, for sale and use of Intel products except as provided in Intel's Terms and Conditions of Sale for such products. Intel retains the right to make changes to these specifications at any time, without notice. Microcomputer Products may have minor variations to this specification known as errata.

COPYRIGHT © INTEL CORPORATION, 1995

January 1995

Order Number: 270419-007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

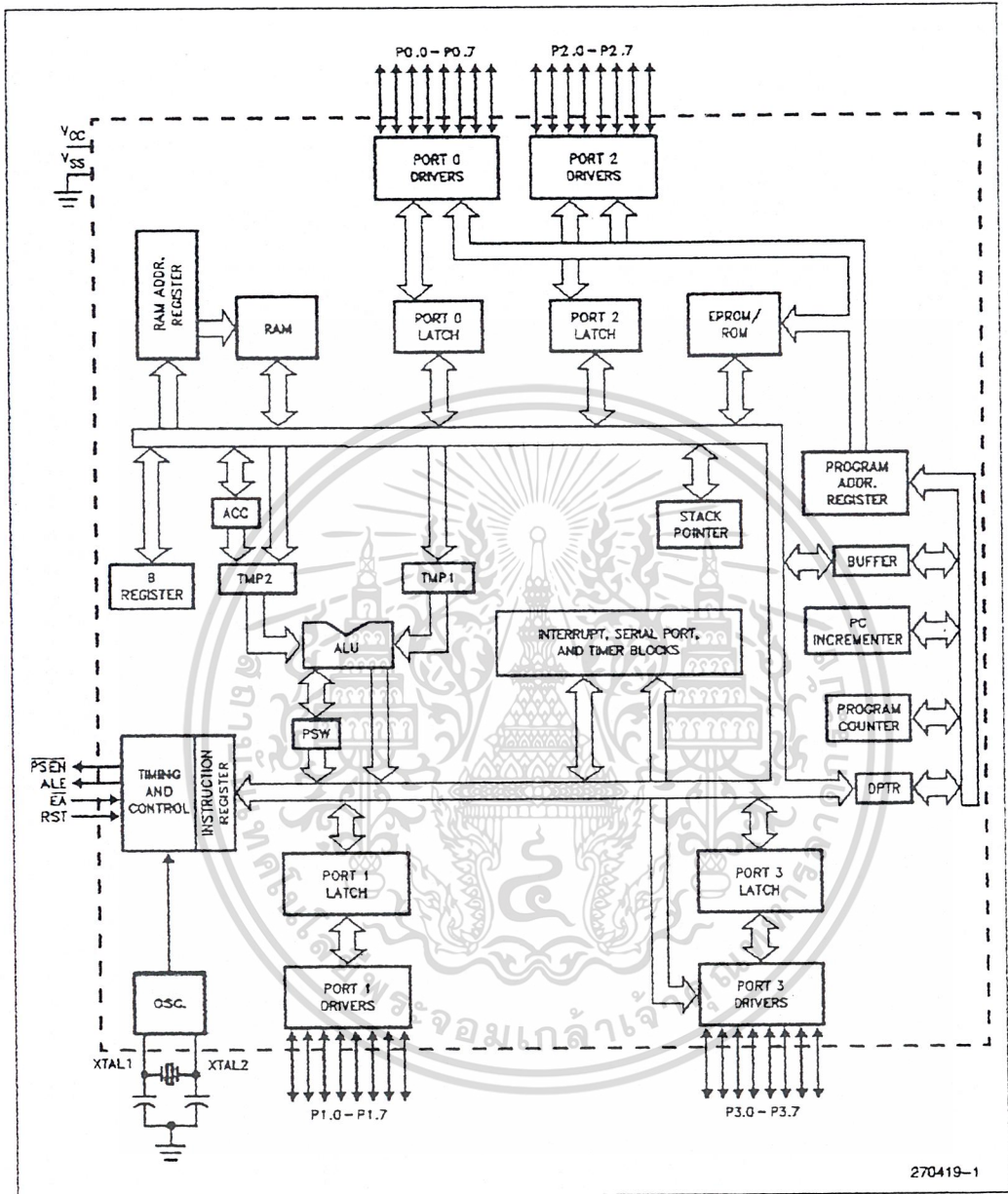


Figure 1. MCS<sup>51</sup> Microcontroller Architectural Block Diagram



**80C31BH/80C51BH/87C51  
PRODUCT OPTIONS**

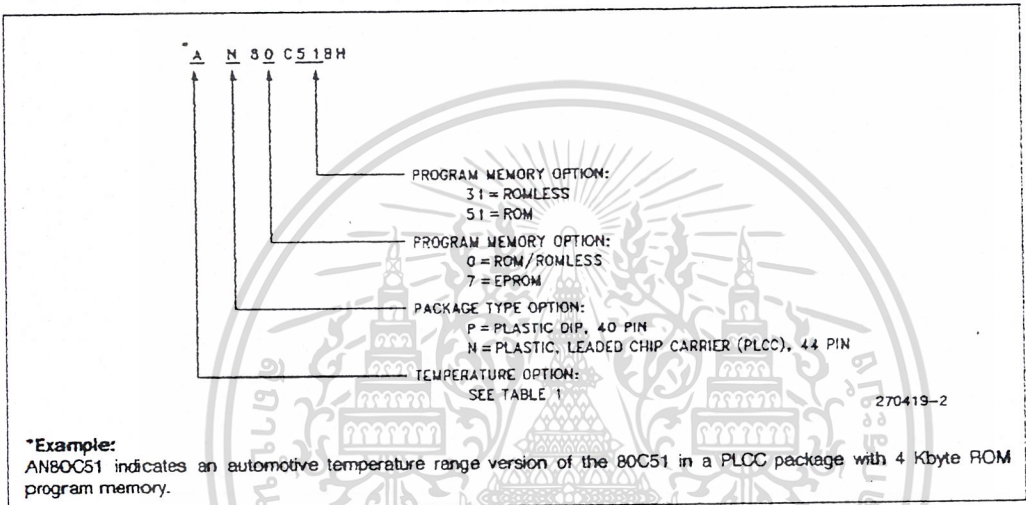
Intel's extended and automotive temperature range products are designed to meet the needs of those applications whose operating requirements exceed commercial standards.

With the extended temperature range option, operational characteristics are guaranteed over the temperature range of -40°C to +85°C ambient. For the

automotive temperature range option, operational characteristics are guaranteed over the temperature range of -40°C to +125°C ambient.

The automotive and extended temperature versions of the MCS 51 microcontroller product families are available with or without burn-in options as listed in Table 1.

As shown in Figure 2, temperature, burn-in, and package options are identified by a one- or two-letter prefix to the part number.



**Figure 2. MCS® 51 Microcontroller Product Family Nomenclature**

**Table 1. Temperature Options**

Temperature Classification	Temperature Designation	Operating Temperature °C Ambient	Burn-In Options
Extended	T	-40 to +85	Standard
	L	-40 to +85	Extended
Automotive	A	-40 to +125	Standard
	B	-40 to +125	Extended

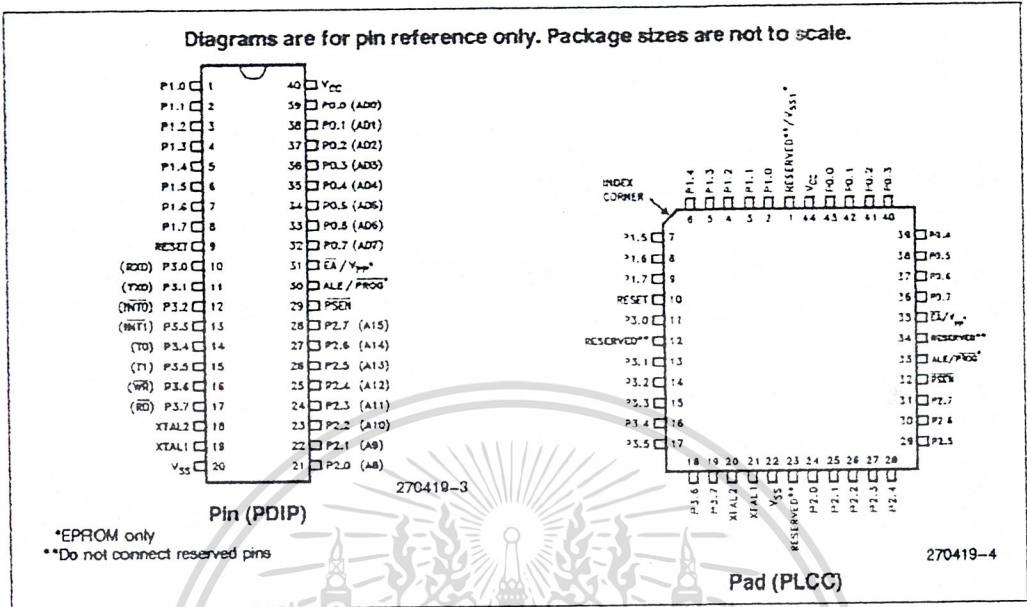


Figure 3. Pin Connections

### PIN DESCRIPTION

**V<sub>CC</sub>**: Supply voltage during normal, Idle, and Power Down operations.

**V<sub>SS</sub>**: Circuit ground.

**V<sub>SS1</sub>**: V<sub>SS1</sub>—(EPROM PLCC only) secondary ground. Provided to reduce ground bounce and improve power supply bypassing.

**NOTE:**

This pin is not a substitute for the V<sub>SS</sub> pin (pin 22). For ROM and ROMless, pin 1 is reserved—do not connect.

**Port 0:** Port 0 is an 8-bit open drain bidirectional I/O port. As an output port each pin can sink 8 LS TTL inputs. Port 0 pins that have 1s written to them float, and in that state can be used as high-impedance inputs.

Port 0 is also the multiplexed low-order address and data bus during accesses to external memory. In this application it uses strong internal pullups when emitting 1s.

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

**Port 1:** Port 1 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. Port 1 pins that have 1s written to them are pulled high by the internal pullups, and in that state can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source

current ( $I_{IL}$ , on the datasheet) because of the internal pullups.

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

**Port 2:** Port 2 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. Port 2 pins that have 1s written to them are pulled high by the internal pullups, and in that state can be used as inputs. As inputs, Port 2 pins that are externally being pulled low will source current ( $I_{IL}$ , on the data sheet) because of the internal pullups.

Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external Program memory and during accesses to external Data Memory that use 16-bit address (MOVX @DPTR). In this application it uses strong internal pullups when emitting 1s.

During accesses to external Data Memory that use 8-bit addresses (MOVX @Ri), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

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

**Port 3:** Port 3 is an 8-bit bidirectional I/O port with internal pullups. Port 3 pins that have 1s written to them are pulled high by the internal pullups, and in that state can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current ( $I_{IL}$ , on the datasheet) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the MCS 51 microcontroller family, as listed below:

Pin	Name	Alternate Function
P3.0	RXD	Serial Input Line
P3.1	TXD	Serial Output Line
P3.2	$\overline{\text{INT0}}$	External Interrupt 0
P3.3	$\overline{\text{INT1}}$	External Interrupt 1
P3.4	T0	Timer 0 External Input
P3.5	T1	Timer 1 External Input
P3.6	$\overline{\text{WR}}$	External Data Memory Write Strobe
P3.7	$\overline{\text{RD}}$	External Data Memory Read Strobe

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

**RESET:** Reset input. A logic high on this pin for two machine cycles while the oscillator is running resets the device. An internal pulldown resistor permits a power-on reset to be generated using only an external capacitor to  $V_{CC}$ .

**ALE/PROG (EPROM Only):** Address Latch Enable output signal for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input (PROG) during EPROM programming.

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

**PSEN:** Program Store Enable is the Read strobe to External Program Memory. When the 87C51/80C51BH is executing from Internal Program Memory, PSEN is inactive (high). When the device is executing code from External Program Memory, PSEN is activated twice each machine cycle, except that two PSEN activations are skipped during each access to External Data Memory.

**$\overline{\text{EA}}/V_{pp}$ :** External Access enable.  $\overline{\text{EA}}$  must be strapped to  $V_{SS}$  in order to enable the 87C51/80C51BH to fetch code from External Program Memory locations starting at 0000H up to 0FFFFH. [Note, however, that if either of the Lock Bits is programmed, the logic level at  $\overline{\text{EA}}$  is internally latched during reset.] (EPROM only.)

$\overline{\text{EA}}$  must be strapped to  $V_{CC}$  for internal program execution.

**$V_{pp}$  (EPROM Only):** This pin also receives the 12.75V programming supply voltage ( $V_{pp}$ ) during EPROM programming.

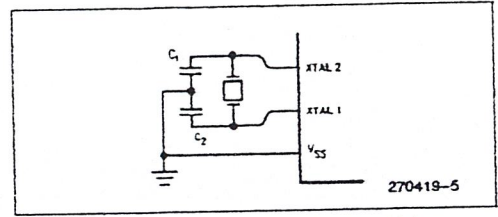


Figure 4. Using the On-Chip Oscillator

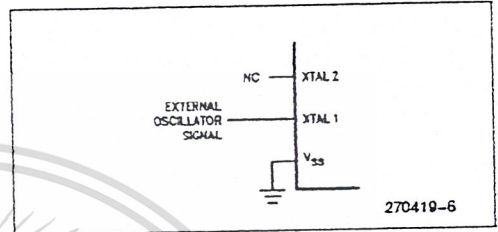


Figure 5. External Clock Drive

**XTAL1:** Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock generating circuits.

**XTAL2:** Output from the inverting oscillator amplifier.

## OSCILLATOR CHARACTERISTICS

XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier which can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 4.

To drive the device from an external clock source, XTAL1 should be driven, while XTAL2 is left unconnected, as shown in Figure 5. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum high and low times specified on the Data-sheet must be observed.

## IDLE MODE

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

It should be noted that when Idle is terminated by a hardware reset, the device normally resumes program execution, from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to

Table 2. Status of the External Pins During Idle and Power Down

Mode	Program Memory	ALE	$\overline{\text{PSEN}}$	PORT0	PORT1	PORT2	PORT3
Idle	Internal	1	1	Data	Data	Data	Data
Idle	External	1	1	Float	Data	Address	Data
Power Down	Internal	0	0	Data	Data	Data	Data
Power Down	External	0	0	Float	Data	Data	Data

**NOTE:**

For more detailed information on the reduced power modes refer to current Embedded Applications Handbook, and Application Note AP-252, "Designing with the 80C51BH."

internal RAM in this event, but access to the port pins is not inhibited. To eliminate the possibility of an unexpected write to a port pin when Idle is terminated by reset, the instruction following the one that invokes Idle should not be one that writes to a port pin or to external memory.

**POWER DOWN MODE**

In the Power Down mode the oscillator is stopped, and the instruction that invokes Power Down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Registers retain their values until the Power Down mode is terminated.

The only exit from Power Down is a hardware reset. Reset redefines the SFRs but does not change the on-chip RAM. The reset should not be activated before  $V_{CC}$  is restored to its normal operating level and must be held active long enough to allow the oscillator to restart and stabilize.

**DESIGN CONSIDERATIONS**

- At power on, the voltage on  $V_{CC}$  and RST must come up at the same time for a proper start-up.
- Before entering the Power Down mode the contents of the Carry Bit and B.7 must be equal.
- When the Idle mode is terminated by a hardware reset, the device normally resumes program execution, from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to internal RAM in this event, but access to the port pins is not inhibited. To eliminate the possibility of an unexpected write when Idle is terminated by reset, the instruction following the one that invokes Idle should not be one that writes to a port pin or to external memory.
- An external oscillator may encounter as much as a 100 pF load at XTAL1 when it starts up. This is due to interaction between the amplifier and its feedback capacitance. Once the external signal meets the  $V_{IL}$  and  $V_{IH}$  specifications the capacitance will not exceed 20 pF.
- For EPROM versions exposure to light when the device is in operation may cause logic errors. For this reason, it is suggested that an opaque label be placed over the window when the die is exposed to ambient light.

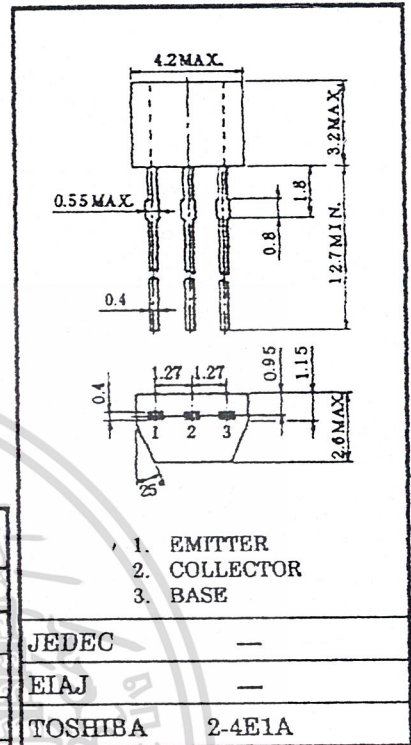
TOSHIBA TRANSISTOR SILICON NPN EPITAXIAL TYPE (PCT PROCESS)

# 2SC2458

AUDIO AMPLIFIER APPLICATIONS.

Unit in mm

- High Current Capability :  $I_C=150\text{mA (Max.)}$
- High DC Current Gain :  $h_{FE}=70\sim 700$
- Excellent  $h_{FE}$  Linearity  
:  $h_{FE}(I_C=0.1\text{mA})/h_{FE}(I_C=2\text{mA})=0.95$  (Typ.)
- Low Noise:  $NF(2)=1\text{dB (Typ.)}$ ,  $10\text{dB (Max.)}$
- Complementary to 2SA1048.
- Small Package.



MAXIMUM RATINGS ( $T_a = 25^\circ\text{C}$ )

CHARACTERISTIC	SYMBOL	RATING	UNIT
Collector-Base Voltage	$V_{CBO}$	50	V
Collector-Emitter Voltage	$V_{CEO}$	50	V
Emitter-Base Voltage	$V_{EBO}$	5	V
Collector Current	$I_C$	150	mA
Base Current	$I_B$	50	mA
Collector Power Dissipation	$P_C$	200	mW
Junction Temperature	$T_j$	125	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	$T_{stg}$	-55~125	$^\circ\text{C}$

JEDEC	—
EIAJ	—
TOSHIBA	2-4E1A

Weight : 0.13g

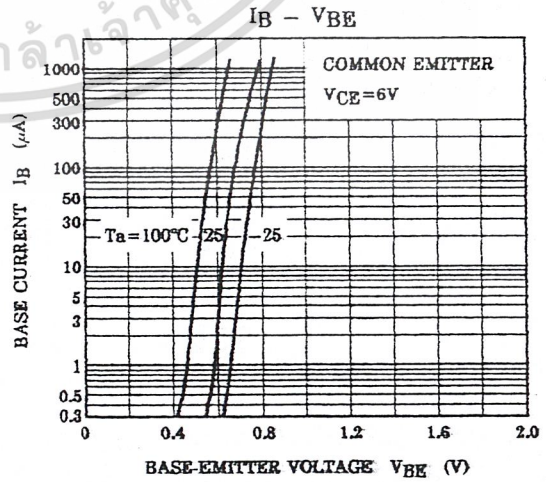
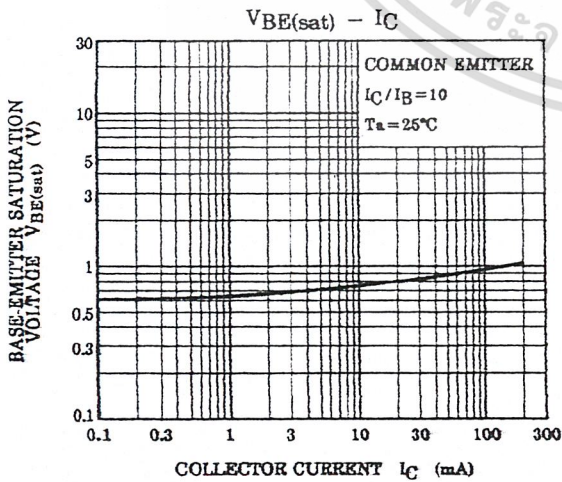
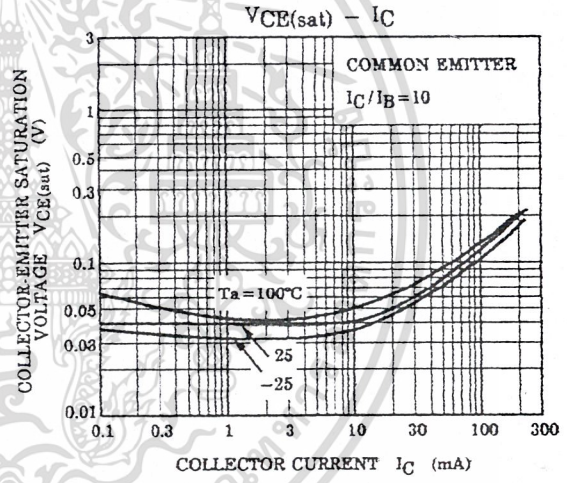
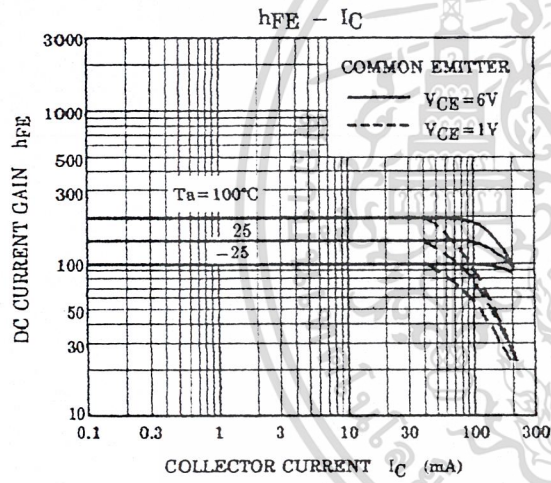
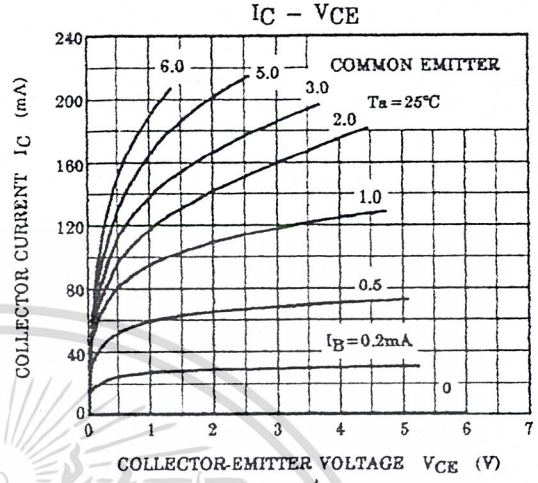
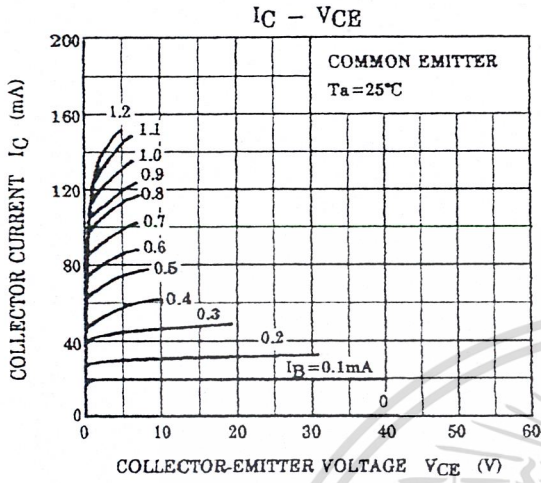
ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_a = 25^\circ\text{C}$ )

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CONDITION	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Collector Cut-off Current	$I_{CBO}$	$V_{CB}=50\text{V}, I_E=0$	—	—	0.1	$\mu\text{A}$
Emitter Cut-off Current	$I_{EBO}$	$V_{EB}=5\text{V}, I_C=0$	—	—	0.1	$\mu\text{A}$
DC Current Gain	$h_{FE}$ (Note)	$V_{CE}=6\text{V}, I_C=2\text{mA}$	70	—	700	
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_C=100\text{mA}, I_B=10\text{mA}$	—	0.1	0.25	V
Transition Frequency	$f_T$	$V_{CE}=10\text{V}, I_C=1\text{mA}$	80	—	—	MHz
Collector Output Capacitance	$C_{ob}$	$V_{CB}=10\text{V}, I_E=0, f=1\text{MHz}$	—	2.0	3.5	pF
Noise Figure	NF	$V_{CE}=6\text{V}, I_C=0.1\text{mA}, f=1\text{kHz}, R_g=10\text{k}\Omega$	—	1.0	10	dB

Note :  $h_{FE}$  Classification O : 70~140, Y : 120~240, GR : 200~400, BL : 350~700

961001EAA2

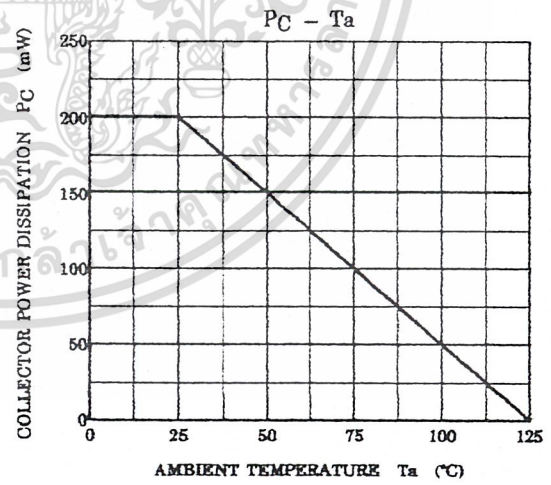
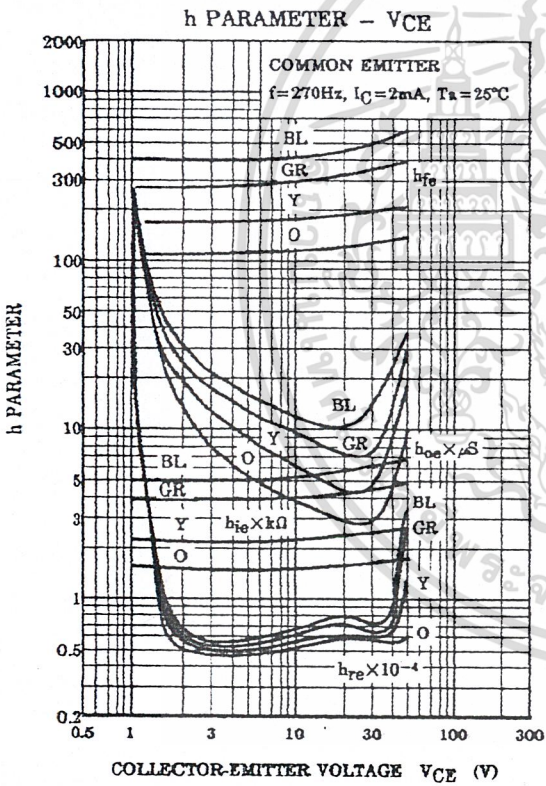
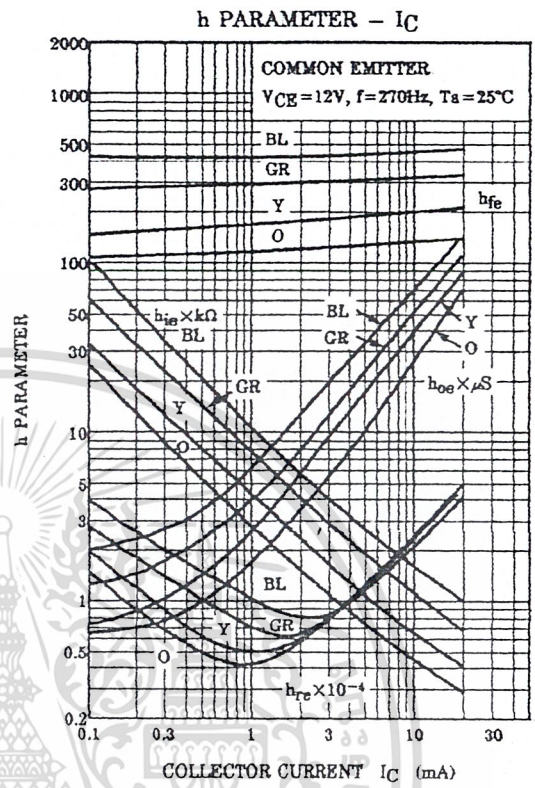
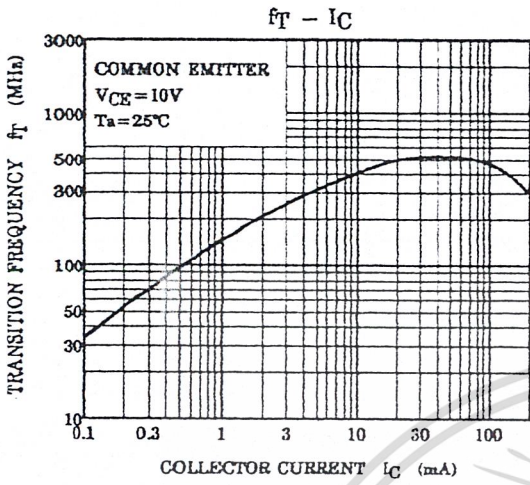
● TOSHIBA is continually working to improve the quality and the reliability of its products. Nevertheless, semiconductor devices in general can malfunction or fail due to their inherent electrical sensitivity and vulnerability to physical stress. It is the responsibility of the buyer, when utilizing TOSHIBA products, to observe standards of safety, and to avoid situations in which a malfunction or failure of a TOSHIBA product could cause loss of human life, bodily injury or damage to property. In developing your designs, please ensure that TOSHIBA products are used within specified operating ranges as set forth in the most recent products specifications. Also, please keep in mind the precautions and conditions set forth in the TOSHIBA Semiconductor Reliability Handbook.



● The information contained herein is presented only as a guide for the applications of our products. No responsibility is assumed by TOSHIBA CORPORATION for any infringements of intellectual property or other rights of the third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any intellectual property or other rights of TOSHIBA CORPORATION or others.

● The information contained herein is subject to change without notice.

951001EAAZ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

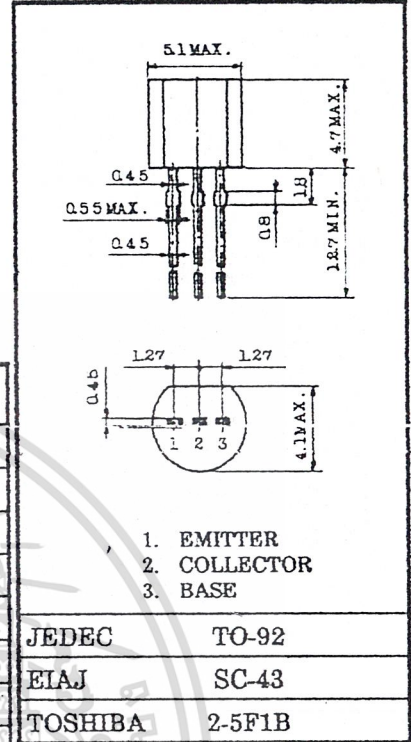
TOSHIBA TRANSISTOR SILICON NPN EPITAXIAL TYPE (PCT PROCESS)

# 2SC1815

AUDIO FREQUENCY GENERAL PURPOSE AMPLIFIER APPLICATIONS.  
DRIVER STAGE AMPLIFIER APPLICATIONS.

Unit in mm

- High Voltage and High Current  
:  $V_{CE0} = 50V$  (Min.),  $I_C = 150mA$  (Max.)
- Excellent  $h_{FE}$  Linearity  
:  $h_{FE(2)} = 100$  (Typ.) at  $V_{CE} = 6V$ ,  $I_C = 150mA$   
:  $h_{FE}(I_C = 0.1mA) / h_{FE}(I_C = 2mA) = 0.95$  (Typ.)
- Low Noise :  $NF = 1dB$  (Typ.) at  $f = 1kHz$
- Complementary to 2SA1015 (O, Y, GR class)



MAXIMUM RATINGS ( $T_a = 25^\circ C$ )

CHARACTERISTIC	SYMBOL	RATING	UNIT
Collector-Base Voltage	$V_{CBO}$	60	V
Collector-Emitter Voltage	$V_{CEO}$	50	V
Emitter-Base Voltage	$V_{EBO}$	5	V
Collector Current	$I_C$	150	mA
Base Current	$I_B$	50	mA
Collector Power Dissipation	$P_C$	400	mW
Junction Temperature	$T_j$	125	$^\circ C$
Storage Temperature Range	$T_{stg}$	-55~125	$^\circ C$

Weight : 0.21g

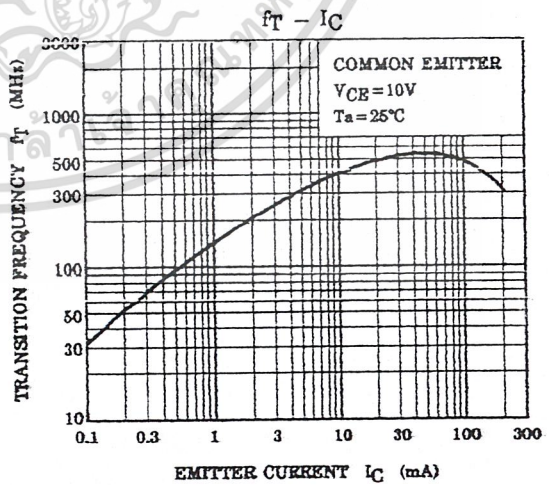
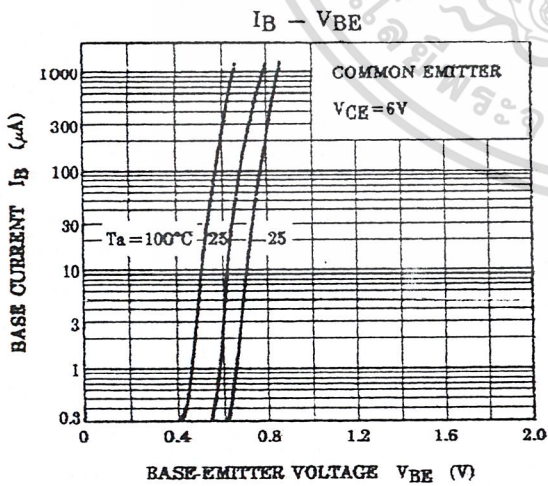
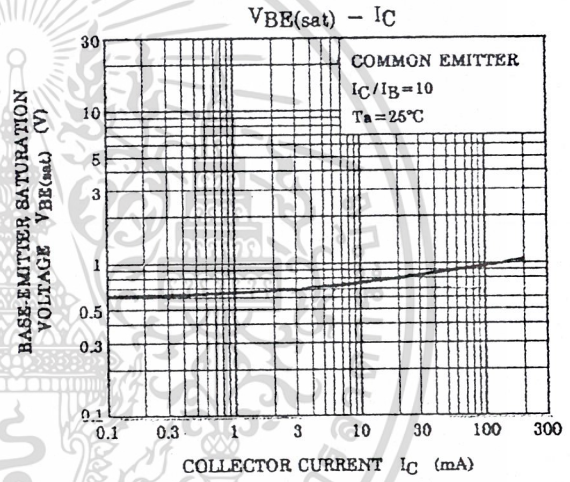
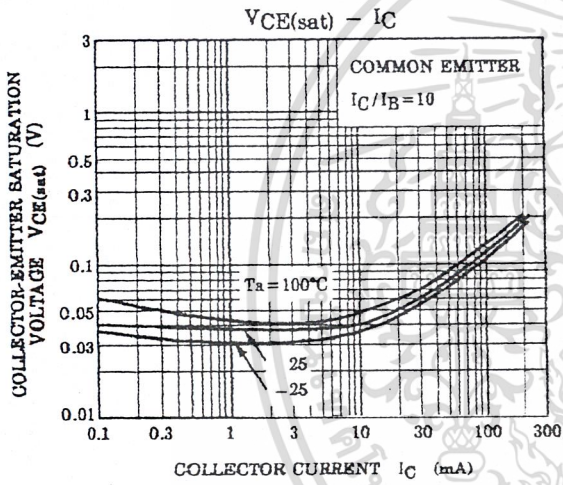
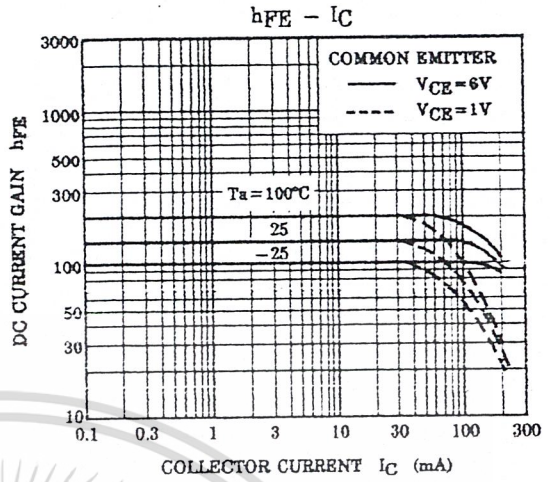
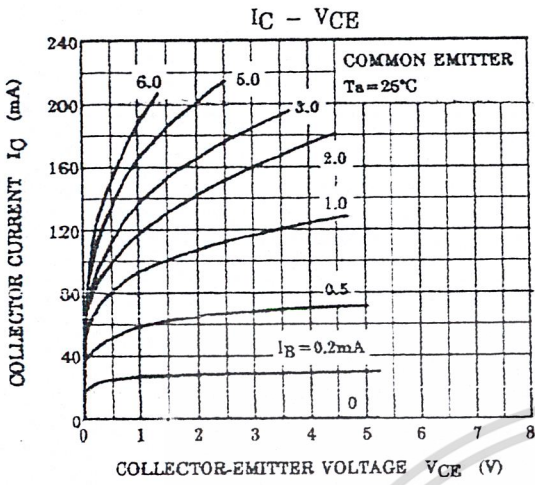
ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_a = 25^\circ C$ )

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CONDITION	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Collector Cut-off Current	$I_{CBO}$	$V_{CB} = 60V, I_E = 0$	—	—	0.1	$\mu A$
Emitter Cut-off Current	$I_{EBO}$	$V_{EB} = 5V, I_C = 0$	—	—	0.1	$\mu A$
DC Current Gain	$h_{FE(1)}$ (Note)	$V_{CE} = 6V, I_C = 2mA$	70	—	700	
	$h_{FE(2)}$	$V_{CE} = 6V, I_C = 150mA$	25	100	—	
Collector-Emitter Saturation Voltage	$V_{CE(sat)}$	$I_C = 100mA, I_B = 10mA$	—	0.1	0.25	V
Base-Emitter Saturation Voltage	$V_{BE(sat)}$	$I_C = 100mA, I_B = 10mA$	—	—	1.0	V
Transition Frequency	$f_T$	$V_{CE} = 10V, I_C = 1mA$	80	—	—	MHz
Collector Output Capacitance	$C_{ob}$	$V_{CB} = 10V, I_E = 0, f = 1MHz$	—	2.0	3.5	pF
Base Intrinsic Resistance	$r_{bb'}$	$V_{CE} = 10V, I_E = -1mA$ $f = 30MHz$	—	50	—	$\Omega$
Noise Figure	NF	$V_{CE} = 6V, I_C = 0.1mA$ $f = 1kHz, R_G = 10k\Omega$	—	1.0	10	dB

Note :  $h_{FE}$  Classification 0 : 70~140 Y : 120~240 GR : 200~400 BL : 350~700

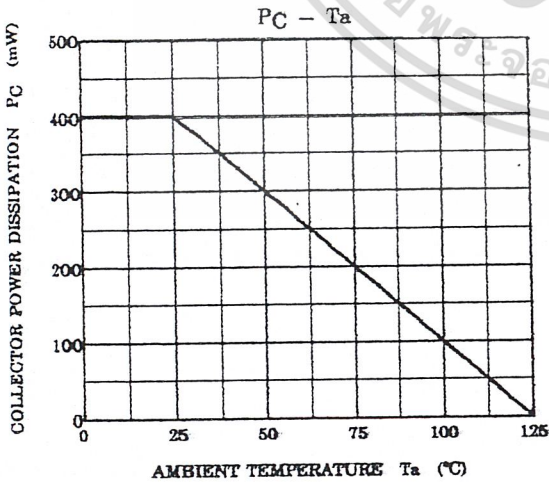
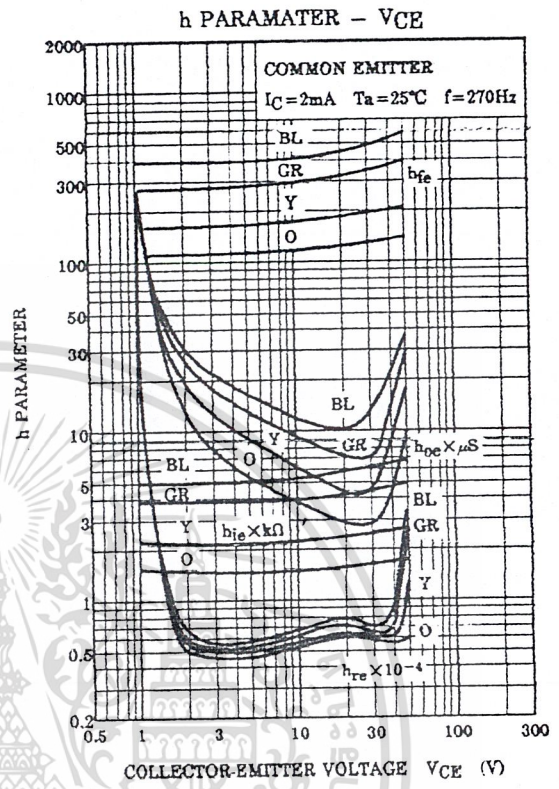
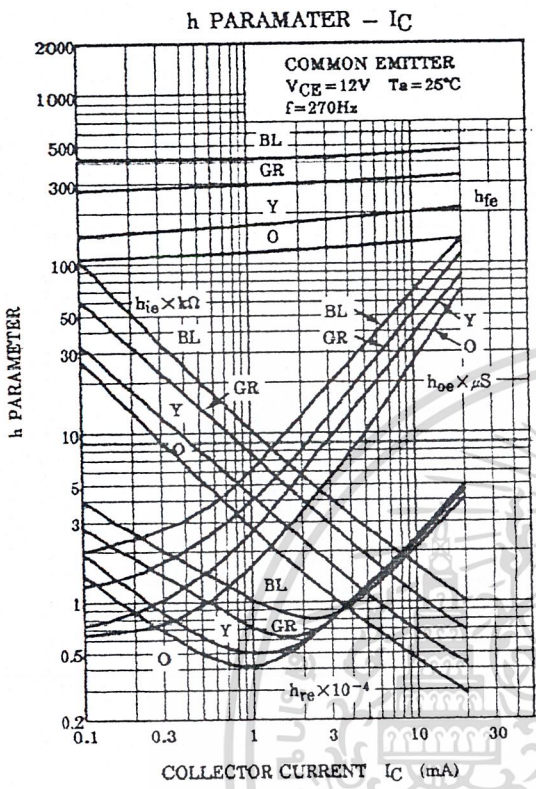
96100TEAA2

TOSHIBA is continually working to improve the quality and the reliability of its products. Nevertheless, semiconductor devices in general can malfunction or fail due to their inherent electrical sensitivity and vulnerability to physical stress. It is the responsibility of the buyer, when utilizing TOSHIBA products, to observe standards of safety, and to avoid situations in which a malfunction or failure of a TOSHIBA product could cause loss of human life, bodily injury or damage to property. In developing your designs, please ensure that TOSHIBA products are used within specified operating ranges as set forth in the most recent products specifications. Also, please keep in mind the precautions and conditions set forth in the TOSHIBA Semiconductor Reliability Handbook.



961001EAAZ

● The information contained herein is presented only as a guide for the applications of our products. No responsibility is assumed by TOSHIBA CORPORATION for any infringements of intellectual property or other rights of the third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any intellectual property or other rights of TOSHIBA CORPORATION or others.  
● The information contained herein is subject to change without notice.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

TOSHIBA FIELD EFFECT TRANSISTOR SILICON N CHANNEL JUNCTION TYPE

# 2SK192A

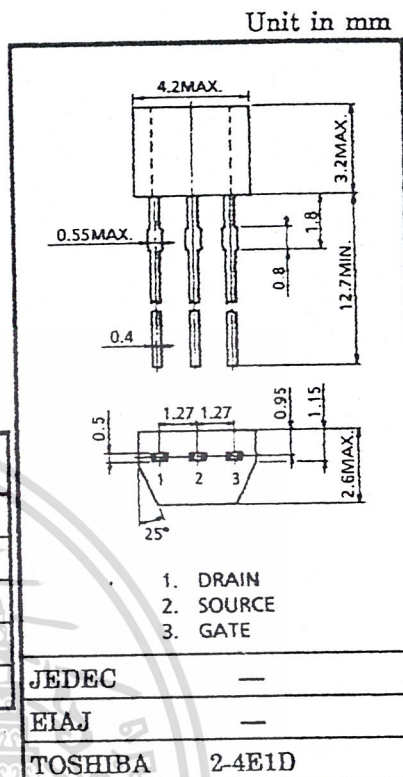
FM TUNER APPLICATIONS

VHF BAND AMPLIFIER APPLICATIONS

- High Power Gain :  $G_{PS} = 24\text{dB}$  (Typ.) ( $f = 100\text{MHz}$ )
- Low Noise Figure :  $NF = 1.8\text{dB}$  (Typ.) ( $f = 100\text{MHz}$ )
- High Forward Transfer Admittance  
:  $|y_{fs}| = 7\text{mS}$  (Typ.) ( $f = 1\text{kHz}$ )

MAXIMUM RATINGS ( $T_a = 25^\circ\text{C}$ )

CHARACTERISTIC	SYMBOL	RATING	UNIT
Gate-Drain Voltage	$V_{GDO}$	-18	V
Gate Current	$I_G$	10	mA
Drain Power Dissipation	$P_D$	200	mW
Junction Temperature	$T_j$	125	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	$T_{stg}$	-55~125	$^\circ\text{C}$



Weight : 0.13g

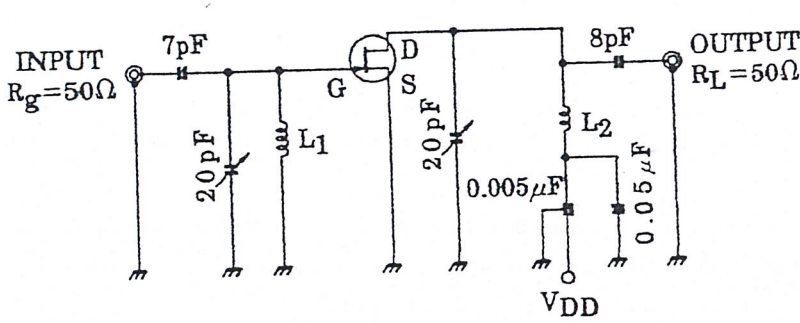
ELECTRICAL CHARACTERISTICS ( $T_a = 25^\circ\text{C}$ )

CHARACTERISTIC	SYMBOL	TEST CONDITION	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
Gate Leakage Current	$I_{GSS}$	$V_{GS} = -1.0\text{V}, V_{DS} = 0$	—	—	-10	nA
Gate-Drain Breakdown Voltage	$V_{(BR)GDO}$	$I_G = -100\mu\text{A}$	-18	—	—	V
Drain Current	$I_{DSS}$ (Note)	$V_{GS} = 0, V_{DS} = 10\text{V}$	3	—	24	mA
Gate-Source Cut-off Voltage	$V_{GS(OFF)}$	$V_{DS} = 10\text{V}, I_D = 1\mu\text{A}$	-1.2	-3	—	V
Forward Transfer Admittance	$ y_{fs} $	$V_{GS} = 0, V_{DS} = 10\text{V}, f = 1\text{kHz}$	—	7	—	mS
Input Capacitance	$C_{iss}$	$V_{DS} = 10\text{V}, V_{GS} = 0, f = 1\text{MHz}$	—	3.5	—	pF
Reverse Transfer Capacitance	$C_{rss}$	$V_{DS} = -10\text{V}, f = 1\text{MHz}$	—	—	0.65	pF
Power Gain	$G_{PS}$	$V_{DD} = 10\text{V}, f = 100\text{MHz}$ (Fig.1)	—	24	—	dB
Noise Figure	NF	$V_{DD} = 10\text{V}, f = 100\text{MHz}$ (Fig.1)	—	1.8	3.5	dB

Note :  $I_{DSS}$  Classification Y : 3.0~7.0, GR : 6.0~14.0, BL : 12.0~24.0

961001EAA2

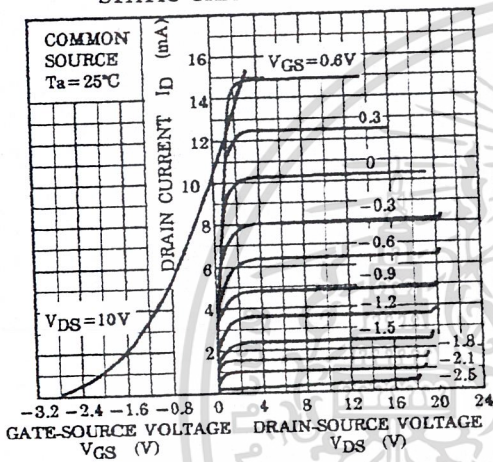
- TOSHIBA is continually working to improve the quality and the reliability of its products. Nevertheless, semiconductor devices in general can malfunction or fail due to their inherent electrical sensitivity and vulnerability to physical stress. It is the responsibility of the buyer, when utilizing TOSHIBA products, to observe standards of safety, and to avoid situations in which a malfunction or failure of a TOSHIBA product could cause loss of human life, bodily injury or damage to property. In developing your designs, please ensure that TOSHIBA products are used within specified operating ranges as set forth in the most recent products specifications. Also, please keep in mind the precautions and conditions set forth in the TOSHIBA Semiconductor Reliability Handbook.
- The information contained herein is presented only as a guide for the applications of our products. No responsibility is assumed by TOSHIBA CORPORATION for any infringements of intellectual property or other rights of the third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any intellectual property or other rights of TOSHIBA CORPORATION or others.
- The information contained herein is subject to change without notice.



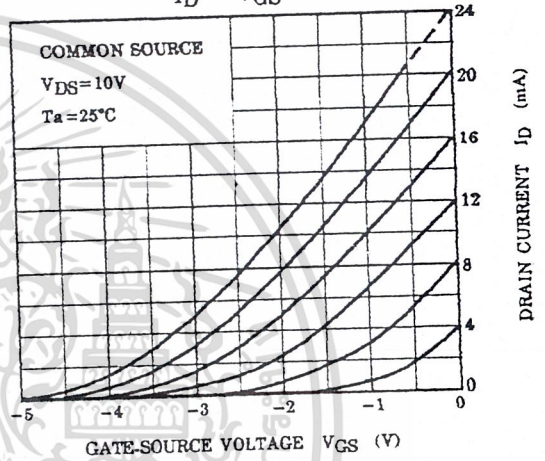
L<sub>1</sub> : 0.8mmφ Ag PLATED Cu WIRE 3 TURNS, 10mm I<sub>D</sub>, 10mm LENGTH  
 L<sub>2</sub> : 0.8mmφ Ag PLATED Cu WIRE 3.5 TURNS, 10mm I<sub>D</sub>, 10mm LENGTH

Fig.1 100MHz Gps. NF TEST CIRCUIT

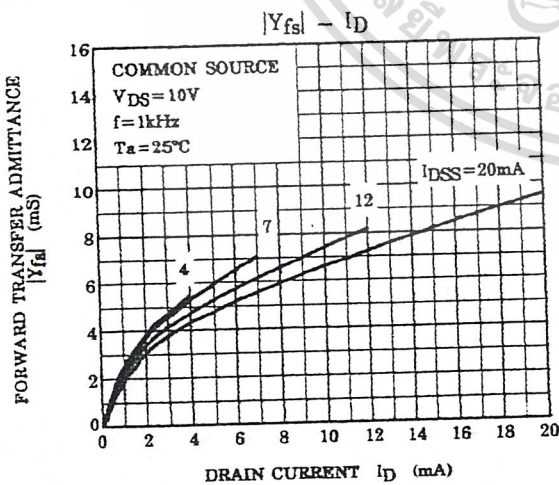
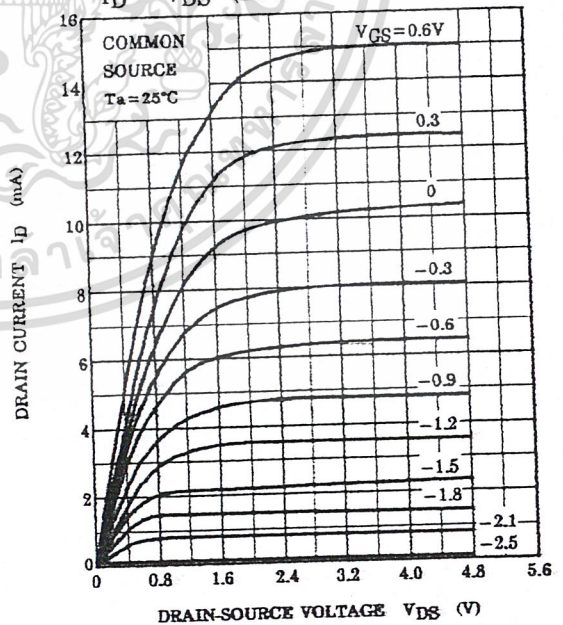
STATIC CHARACTERISTICS



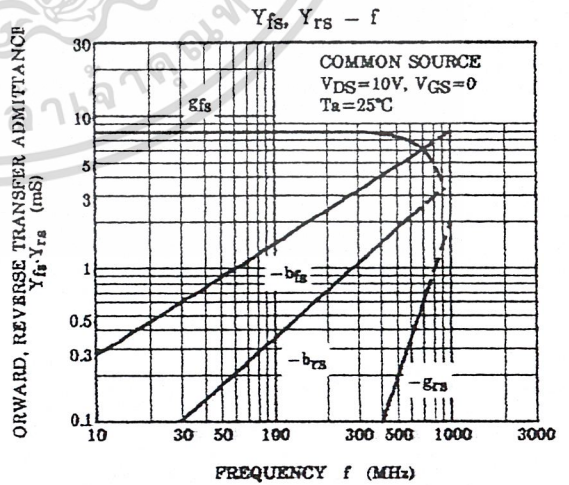
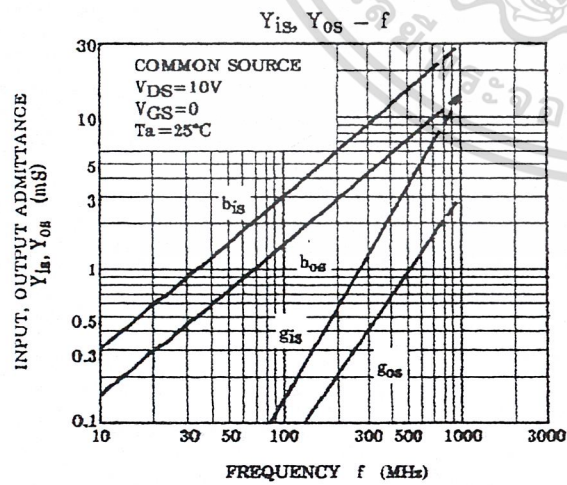
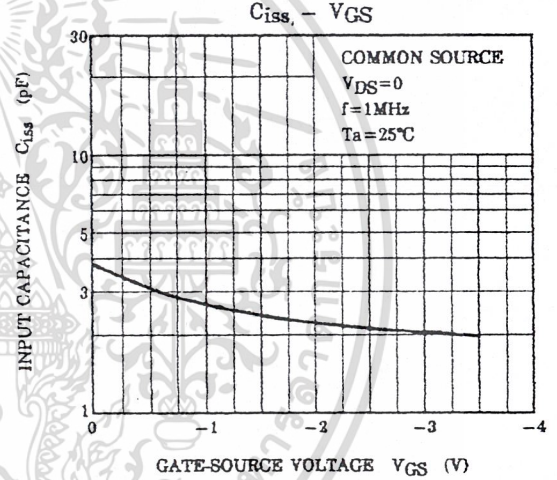
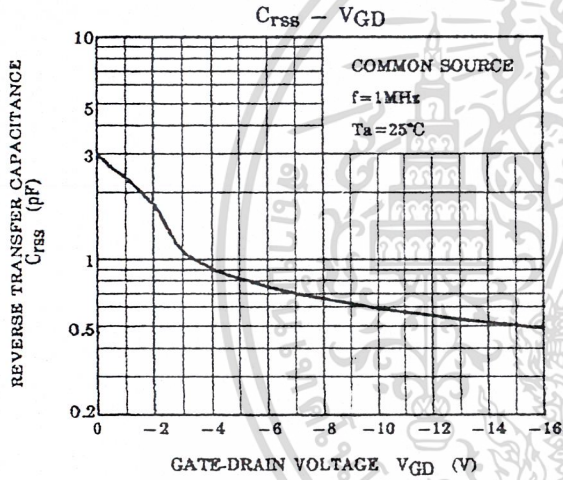
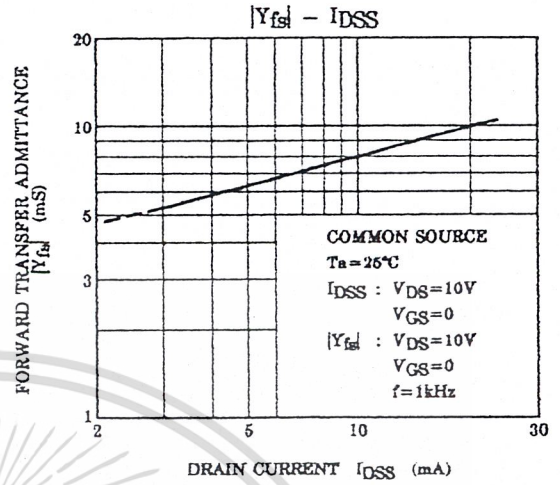
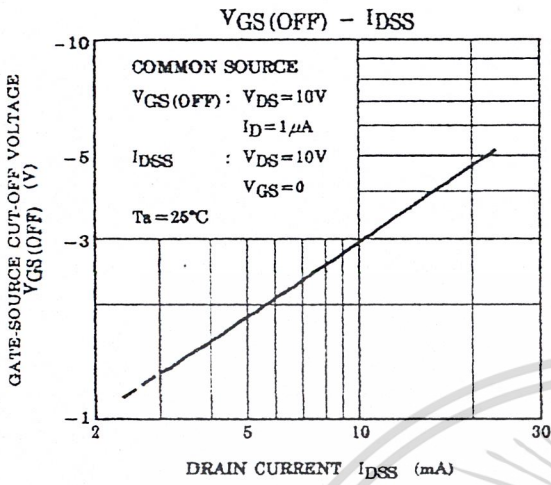
ID - VGS



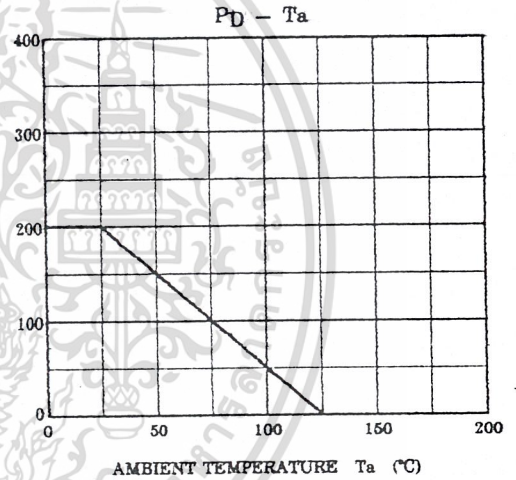
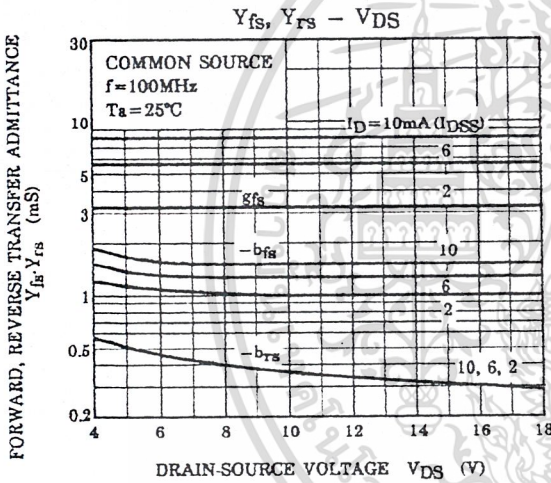
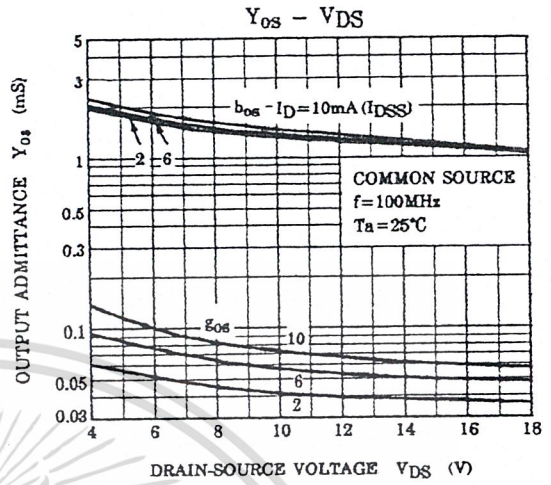
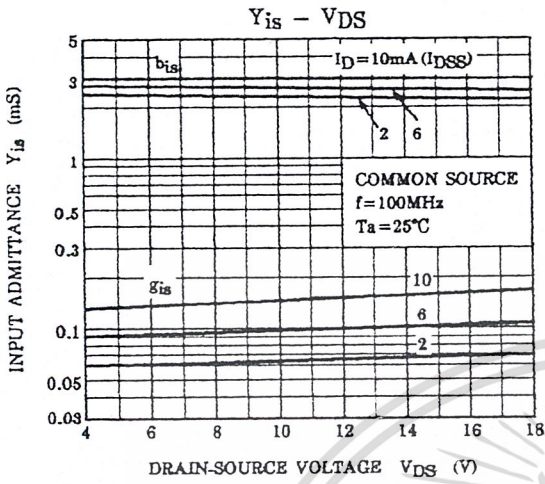
ID - VDS (LOW VOLTAGE REGION)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



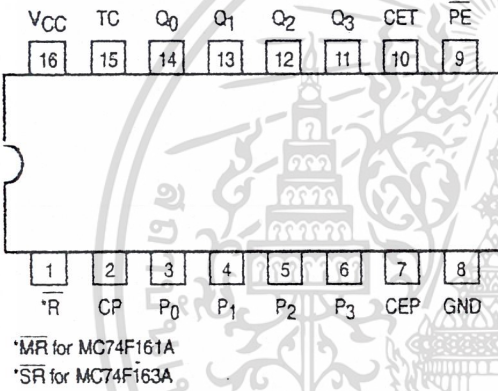
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# SYNCHRONOUS PRESETTABLE BINARY COUNTER

The MC74F161A and MC74F163A are high-speed synchronous modulo-16 binary counters. They are synchronously presettable for application in programmable dividers and have two types of Count Enable inputs plus a Terminal Count output for versatility in forming synchronous multistage counters. The MC74F161A has an asynchronous Master Reset input that overrides all other inputs and forces the outputs LOW. The MC74F163A has a Synchronous Reset input that overrides counting and parallel loading and allows the outputs to be simultaneously reset on the rising edge of the clock.

- Synchronous Counting and Loading
- High-Speed Synchronous Expansion
- Typical Count Frequency of 120 MHz

## CONNECTION DIAGRAM

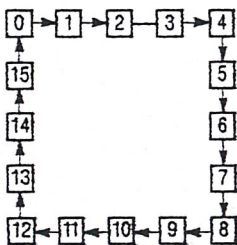


## FUNCTION TABLE

$\overline{SR}$	$\overline{PE}$	CET	CEP	ACTION ON THE RISING CLOCK EDGE ( $\uparrow$ )
L	X	X	X	Reset (Clear)
H	L	X	X	Load ( $P_n$ $Q_n$ )
H	H	H	H	Count (Increment)
H	H	L	X	No Change (Hold)
H	H	X	L	No Change (Hold)

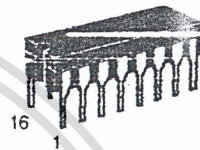
H = HIGH Voltage Level; L = LOW Voltage Level; X = Don't Care

## STATE DIAGRAM



**MC74F161A**  
**MC74F163A**

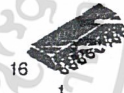
**SYNCHRONOUS PRESETTABLE BINARY COUNTER**  
**FAST™ SHOTTKY TTL**



**J SUFFIX**  
CERAMIC  
CASE 620-09



**N SUFFIX**  
PLASTIC  
CASE 648-08

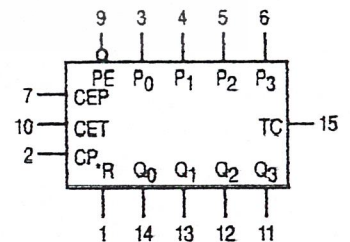


**D SUFFIX**  
SOIC  
CASE 751B-03

## ORDERING INFORMATION

MC74FXXXAJ Ceramic  
MC74FXXXAN Plastic  
MC74FXXXAD SOIC

## LOGIC SYMBOL



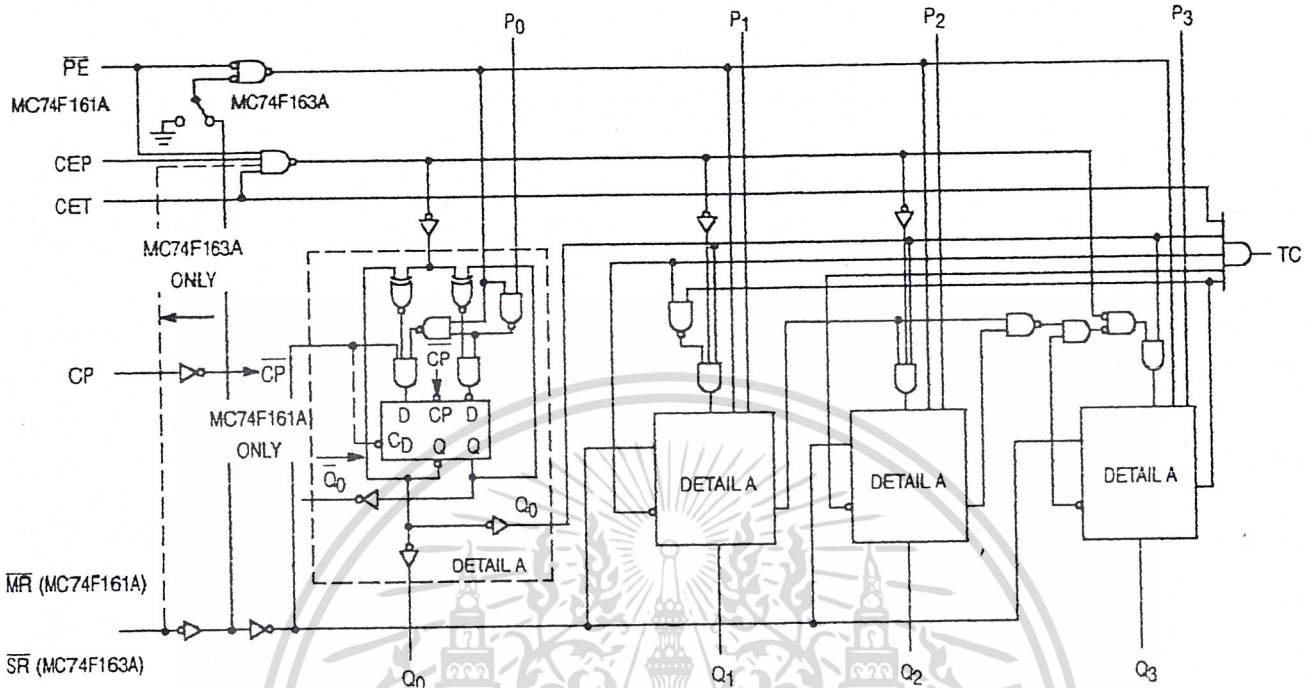
$V_{CC}$  = PIN 16  
 $GND$  = PIN 8

\*MR for MC74F161A  
\*SR for MC74F163A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้เพื่อการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MC74F161A • MC74F163A

## LOGIC DIAGRAM



**NOTE:**  
This diagram is provided only for the understanding of logic operations and should not be used to estimate propagation delays.

## FUNCTIONAL DESCRIPTION

The MC74F161A and MC74F163A count in modulo-16 binary sequence. From state 15 (HHHH) they increment to state 0 (LLLL). The clock inputs of all flip-flops are driven in parallel through a clock buffer. Thus all changes of the Q outputs (except due to Master Reset of the MC74F161A) occur as a result of, and synchronous with, the LOW-to-HIGH transition of the CP input signal. The circuits have four fundamental modes of operation, in order of precedence: asynchronous reset (MC74F161A), synchronous reset (MC74F163A), parallel load, count-up and hold. Five control inputs — Master Reset ( $\overline{MR}$ , MC74F161A), Synchronous Reset ( $\overline{SR}$ , MC74F163A), Parallel Enable ( $\overline{PE}$ ), Count Enable Parallel (CEP) and Count Enable Trickle (CET) — determine the mode of operation, as shown in the Function Table. A LOW signal on  $\overline{MR}$  overrides

all other inputs and asynchronously forces all outputs LOW. A LOW signal on  $\overline{SR}$  overrides counting and parallel loading and allows all outputs to go LOW on the next rising edge of CP. A LOW signal on  $\overline{PE}$  overrides counting and allows information on the Parallel Data ( $P_n$ ) inputs to be loaded into the flip-flops on the next rising edge of CP. With  $\overline{PE}$  and  $\overline{MR}$  (MC74F161A) or  $\overline{SR}$  (MC74F163A) HIGH, CEP and CET permit counting when both are HIGH. Conversely, a LOW signal on either CEP or CET inhibits counting.

The MC74F161A and MC74F163A use D-type edge-triggered flip-flops and changing the  $\overline{SR}$ ,  $\overline{PE}$ , CEP, and CET inputs when the CP is in either state does not cause errors, provided that the recommended setup and hold times, with respect to the rising edge of CP, are observed.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MC74F161A • MC74F163A

## GUARANTEED OPERATING RANGES

Symbol	Parameter		Min	Typ	Max	Unit
V <sub>CC</sub>	Supply Voltage	74	4.5	5.0	5.5	V
T <sub>A</sub>	Operating Ambient Temperature Range	74	0	25	70	°C
I <sub>OH</sub>	Output Current — High	74			-1.0	mA
I <sub>OL</sub>	Output Current — Low	74			20	mA

## DC CHARACTERISTICS OVER OPERATING TEMPERATURE RANGE (unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Limits			Unit	Test Conditions
		Min	Typ	Max		
V <sub>IH</sub>	Input HIGH Voltage	2.0			V	Guaranteed Input HIGH Voltage for All Inputs
V <sub>IL</sub>	Input LOW Voltage			0.8	V	Guaranteed Input LOW Voltage for All Inputs
V <sub>IK</sub>	Input Clamp Diode Voltage			-1.2	V	V <sub>CC</sub> = MIN, I <sub>IN</sub> = -18 mA
V <sub>OH</sub>	Output HIGH Voltage	74	2.5	3.4	V	I <sub>OH</sub> = -1.0 mA, V <sub>CC</sub> = 4.50 V
		74	2.7	3.4	V	I <sub>OH</sub> = -1.0 mA, V <sub>CC</sub> = 4.75 V
V <sub>OL</sub>	Output LOW Voltage		0.35	0.5	V	I <sub>OL</sub> = 20 mA, V <sub>CC</sub> = MIN
I <sub>IH</sub>	Input HIGH Current			20	μA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 2.7 V
				0.1	mA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 7.0 V
I <sub>IL</sub>	Input LOW Current Data, CEP, Clock PE, CET, SR			-0.6	mA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>IN</sub> = 0.5 V
				-1.2	mA	
I <sub>OS</sub>	Output Short Circuit Current (Note 2)	-60		-150	mA	V <sub>CC</sub> = MAX, V <sub>OUT</sub> = 0 V
I <sub>CC</sub>	Power Supply Current		37	55	mA	V <sub>CC</sub> = MAX

- NOTES:
- For conditions shown as MIN or MAX, use the appropriate value specified under recommended operating conditions for the applicable device type.
  - Not more than one output should be shorted at a time, nor for more than 1 second.

The Terminal Count (TC) output is HIGH when CET is HIGH and the counter is in state 15. To implement synchronous multistage counters, the TC outputs can be used with the CEP and CET inputs in two different ways. The TC output is subject to decoding spikes due to internal race conditions and is there-

fore not recommended for use as a clock or asynchronous reset for flip-flops, counters, or registers.

Logic Equations:

$$\text{Count Enable} = \text{CEP} \cdot \text{CET} \cdot \overline{\text{PE}}$$

$$\text{TC} = Q_0 \cdot Q_1 \cdot Q_2 \cdot Q_3 \cdot \text{CET}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MC74F161A • MC74F163A

## AC CHARACTERISTICS

Symbol	Parameter	74F		74F		Unit
		T <sub>A</sub> = +25°C V <sub>CC</sub> = +5.0 V C <sub>L</sub> = 50 pF		T <sub>A</sub> = 0°C to 70°C V <sub>CC</sub> = 5.0 V ± 10% C <sub>L</sub> = 50 pF		
		Min	Max	Min	Max	
f <sub>max</sub>	Maximum Count Frequency	100		90		MHz
t <sub>PLH</sub>	Propagation Delay, Count	3.5	6.0	3.5	7.0	ns
t <sub>PHL</sub>	CP to Q <sub>n</sub> ( $\overline{PE}$ Input HIGH)	3.5	10	3.5	11	
t <sub>PLH</sub>	Propagation Delay	3.5	7.0	3.5	9.5	ns
t <sub>PHL</sub>	CP to Q <sub>n</sub> ( $\overline{PE}$ Input LOW)	4.0	8.5	4.0	9.5	
t <sub>PLH</sub>	Propagation Delay	5.0	14	5.0	15	ns
t <sub>PHL</sub>	CP to TC	4.5	14	4.5	15	
t <sub>PLH</sub>	Propagation Delay	2.5	7.5	2.5	8.5	ns
t <sub>PHL</sub>	CET to TC	2.5	7.5	2.5	8.5	
t <sub>PHL</sub>	Propagation Delay $\overline{MR}$ to Q <sub>n</sub> (MC74F161A)	5.5	12	5.5	13	ns
t <sub>PHL</sub>	Propagation Delay $\overline{MR}$ to TC (MC74F161A)	4.5	10.5	4.5	11.5	ns

## AC OPERATING REQUIREMENTS

Symbol	Parameter	74F		74F		Unit
		T <sub>A</sub> = +25°C V <sub>CC</sub> = +5.0 V C <sub>L</sub> = 50 pF		T <sub>A</sub> = 0°C to 70°C V <sub>CC</sub> = 5.0 V ± 10% C <sub>L</sub> = 50 pF		
		Min	Max	Min	Max	
t <sub>s</sub> (H)	Setup Time, HIGH or LOW	5.0		5.0		ns
t <sub>s</sub> (L)	P <sub>n</sub> to CP	5.0		5.0		
t <sub>h</sub> (H)	Hold Time, HIGH or LOW	2.0		2.0		ns
t <sub>h</sub> (L)	P <sub>n</sub> to CP	2.0		2.0		
t <sub>s</sub> (H)	Setup Time, HIGH or LOW	11		11.5		ns
t <sub>s</sub> (L)	$\overline{PE}$ or $\overline{SR}$ to CP	8.5		9.5		
t <sub>h</sub> (H)	Hold Time, HIGH or LOW	2.0		2.0		ns
t <sub>h</sub> (L)	$\overline{PE}$ or $\overline{SR}$ to CP	0		0		
t <sub>s</sub> (H)	Setup Time, HIGH or LOW	11		11.5		ns
t <sub>s</sub> (L)	CEP or CET to CP	5.0		5.0		
t <sub>h</sub> (H)	Hold Time, HIGH or LOW	0		0		ns
t <sub>h</sub> (L)	CEP or CET to CP	0		0		
t <sub>w</sub> (H)	Clock Pulse Width (Load)	5.0		5.0		ns
t <sub>w</sub> (L)	HIGH or LOW	5.0		5.0		
t <sub>w</sub> (H)	Clock Pulse Width (Count)	4.0		4.0		ns
t <sub>w</sub> (L)	HIGH or LOW	6.0		7.0		
t <sub>w</sub> (L)	$\overline{MR}$ Pulse Width, LOW (MC74F161A)	5.0		5.0		ns
t <sub>rec</sub>	Recovery Time, $\overline{MR}$ to CP (MC74F161A)	6.0		6.0		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งยังเป็นข้อมูลเบื้องต้นและต้องอ้างอิงถึงเว็บไซต์ของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FAST AND LS TTL DATA

## FEATURES

- 12-Bit Resolution
- 8-Pin SOIC Plastic Package
- Low Cost
- Low Supply Current: 250 $\mu$ A Typ.
- Auto Shutdown to 1nA Typ.
- Guaranteed  $\pm 3/4$ LSB Max DNL
- Single Supply 5V to 9V Operation
- On-Chip Sample-and-Hold
- 60 $\mu$ s Conversion Time
- Sampling Rates:
  - 12.5 ksp/s (LTC1286)
  - 11.1 ksp/s (LTC1298)
- I/O Compatible with SPI, Microwire, etc.
- Differential Inputs (LTC1286)
- 2-Channel MUX (LTC1298)
- 3V Versions Available: LTC1285/LTC1288

## APPLICATIONS

- Battery-Operated Systems
- Remote Data Acquisition
- Battery Monitoring
- Handheld Terminal Interface
- Temperature Measurement
- Isolated Data Acquisition

## DESCRIPTION

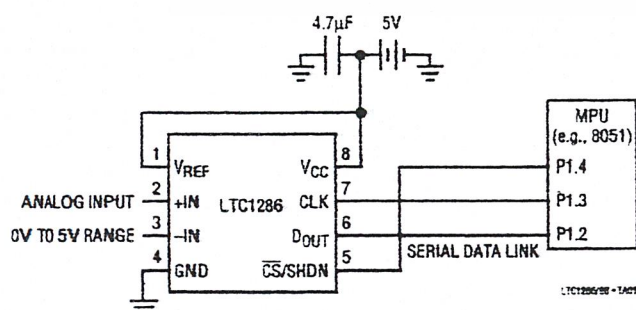
The LTC1286/LTC1298 are micropower, 12-bit, successive approximation sampling A/D converters. They typically draw only 250 $\mu$ A of supply current when converting and automatically power down to a typical supply current of 1nA whenever they are not performing conversions. They are packaged in 8-pin SO packages and operate on 5V to 9V supplies. These 12-bit, switched-capacitor, successive approximation ADCs include sample-and-holds. The LTC1286 has a single differential analog input. The LTC1298 offers a software selectable 2-channel MUX.

On-chip serial ports allow efficient data transfer to a wide range of microprocessors and microcontrollers over three wires. This, coupled with micropower consumption, makes remote location possible and facilitates transmitting data through isolation barriers.

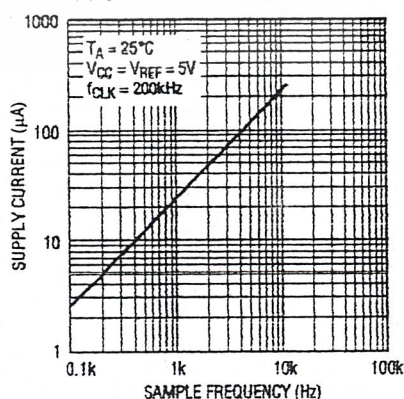
These circuits can be used in ratiometric applications or with an external reference. The high impedance analog inputs and the ability to operate with reduced spans (to 1.5V full scale) allow direct connection to sensors and transducers in many applications, eliminating the need for gain stages.

## TYPICAL APPLICATIONS

25 $\mu$ W, SO-8 Package, 12-Bit ADC  
Samples at 200kHz and Runs Off a 5V Supply



Supply Current vs Sample Rate



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
สงวนลิขสิทธิ์ © 2000 Linear Technology Corporation. All rights reserved. 1

# LTC1286/LTC1298

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS (Notes 1 and 2)

Supply Voltage ( $V_{CC}$ ) to GND .....	12V	Power Dissipation .....	500mW
Voltage		Operating Temperature Range	
Analog and Reference .....	-0.3V to $V_{CC} + 0.3V$	LTC1286C/LTC1298C .....	0°C to 70°C
Digital Inputs .....	-0.3V to 12V	LTC1286I/LTC1298I .....	-40°C to 85°C
Digital Output .....	-0.3V to $V_{CC} + 0.3V$	Storage Temperature Range .....	-65°C to 150°C
		Lead Temperature (Soldering, 10 sec.) .....	300°C

## PACKAGE/ORDER INFORMATION

<p>TOP VIEW</p> <p>V<sub>REF</sub> 1, +IN 2, -IN 3, GND 4, V<sub>CC</sub> 8, CLK 7, D<sub>OUT</sub> 6, CS/SHDN 5</p> <p>N8 PACKAGE 8-LEAD PLASTIC DIP T<sub>JMAX</sub> = 150°C, <math>\theta_{JA}</math> = 130°C/W</p>	ORDER PART NUMBER	<p>TOP VIEW</p> <p>V<sub>REF</sub> 1, +IN 2, -IN 3, GND 4, V<sub>CC</sub> 8, CLK 7, D<sub>OUT</sub> 6, CS/SHDN 5</p> <p>S8 PACKAGE 8-LEAD PLASTIC SOIC T<sub>JMAX</sub> = 150°C, <math>\theta_{JA}</math> = 175°C/W</p>	ORDER PART NUMBER
	LTC1286CN8 LTC1286IN8		LTC1286CS8 LTC1286IS8
		PART MARKING	
		1286C 1286I	
<p>TOP VIEW</p> <p>CS/SHDN 1, CHO 2, CH1 3, GND 4, V<sub>CC</sub> (V<sub>REF</sub>) 8, CLK 7, D<sub>OUT</sub> 6, D<sub>IN</sub> 5</p> <p>N8 PACKAGE 8-LEAD PLASTIC DIP T<sub>JMAX</sub> = 150°C, <math>\theta_{JA}</math> = 130°C/W</p>	ORDER PART NUMBER	<p>TOP VIEW</p> <p>CS/SHDN 1, CHO 2, CH1 3, GND 4, V<sub>CC</sub> (V<sub>REF</sub>) 8, CLK 7, D<sub>OUT</sub> 6, D<sub>IN</sub> 5</p> <p>S8 PACKAGE 8-LEAD PLASTIC SOIC T<sub>JMAX</sub> = 150°C, <math>\theta_{JA}</math> = 175°C/W</p>	ORDER PART NUMBER
	LTC1298CN8 LTC1298IN8		LTC1298CS8 LTC1298IS8
		PART MARKING	
		1298C 1298I	

Consult factory for military grade parts.

## RECOMMENDED OPERATING CONDITIONS

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
$V_{CC}$	Supply Voltage (Note 3)	LTC1286	4.5		9.0	V
		LTC1298	4.5		5.5	V
$f_{CLK}$	Clock Frequency	$V_{CC} = 5V$		(Note 4)	200	kHz
$t_{CYC}$	Total Cycle Time	LTC1286, $f_{CLK} = 200kHz$	80			$\mu s$
		LTC1298, $f_{CLK} = 200kHz$	90			$\mu s$
$t_{HDI}$	Hold Time, D <sub>IN</sub> After CLK $\uparrow$	$V_{CC} = 5V$		150		ns
$t_{SU\overline{CS}}$	Setup Time $\overline{CS}\downarrow$ Before First CLK $\uparrow$ (See Operating Sequence)	LTC1286, $V_{CC} = 5V$	2			$\mu s$
		LTC1298, $V_{CC} = 5V$	2			$\mu s$
$t_{SU\overline{DI}}$	Setup Time, D <sub>IN</sub> Stable Before CLK $\uparrow$	$V_{CC} = 5V$		400		ns
$t_{WHCLK}$	CLK High Time	$V_{CC} = 5V$		2		$\mu s$
$t_{WLCLK}$	CLK Low Time	$V_{CC} = 5V$		2		$\mu s$
$t_{WH\overline{CS}}$	$\overline{CS}$ High Time Between Data Transfer Cycles	$V_{CC} = 5V$		2		$\mu s$
$t_{WL\overline{CS}}$	$\overline{CS}$ Low Time During Data Transfer	LTC1286, $f_{CLK} = 200kHz$	75			$\mu s$
		LTC1298, $f_{CLK} = 200kHz$	85			$\mu s$

## CONVERTER AND MULTIPLEXER CHARACTERISTICS (Note 5)

PARAMETER	CONDITIONS	LTC1286			LTC1298			UNITS
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Resolution (No Missing Codes)		●	12		12			Bits
Integral Linearity Error	(Note 6)	●	±3/4	±2	±3/4	±2		LSB
Differential Linearity Error		●	±1/4	±3/4	±1/4	±3/4		LSB
Offset Error		●	3/4	±3	3/4	±3		LSB
Gain Error		●	±2	±8	±2	±8		LSB
Analog Input Range	(Note 7 and 8)	●	-0.05V to $V_{CC} + 0.05V$					V
REF Input Range (LTC1286)	$4.5 \leq V_{CC} \leq 5.5V$		1.5V to $V_{CC} + 0.05V$					V
(Notes 7, 8, and 9)	$5.5V < V_{CC} \leq 9V$		1.5V to 5.55V					V
Analog Input Leakage Current (Note 10)		●	±1		±1			μA

## DIGITAL AND DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Note 5)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
$V_{IH}$	High Level Input Voltage	$V_{CC} = 5.25V$	●	2		V
$V_{IL}$	Low Level Input Voltage	$V_{CC} = 4.75V$	●		0.8	V
$I_{IH}$	High Level Input Current	$V_{IN} = V_{CC}$	●		2.5	μA
$I_{IL}$	Low Level Input Current	$V_{IN} = 0V$	●		-2.5	μA
$V_{OH}$	High Level Output Voltage	$V_{CC} = 4.75V, I_O = 10\mu A$	●	4.0	4.64	V
		$V_{CC} = 4.75V, I_O = 360\mu A$	●	2.4	4.62	V
$V_{OL}$	Low Level Output Voltage	$V_{CC} = 4.75V, I_O = 1.6mA$	●		0.4	V
$I_{OZ}$	Hi-Z Output Leakage	$\overline{CS} = High$	●		±3	μA
$I_{SOURCE}$	Output Source Current	$V_{OUT} = 0V$		-25		mA
$I_{SINK}$	Output Sink Current	$V_{OUT} = V_{CC}$		45		mA
$R_{REF}$	Reference Input Resistance (LTC1286)	$\overline{CS} = V_{CC}$ $\overline{CS} = GND$		5000 55		MΩ kΩ
$I_{REF}$	Reference Current (LTC1286)	$\overline{CS} = V_{CC}$ $t_{CYC} \geq 640\mu s, f_{CLK} \leq 25kHz$ $t_{CYC} = 80\mu s, f_{CLK} = 200kHz$	●	0.001 90 90	2.5 140 140	μA μA μA
$I_{CC}$	Supply Current	$\overline{CS} = V_{CC}$	●	0.001	±3.0	μA
		LTC1286, $t_{CYC} \geq 640\mu s, f_{CLK} \leq 25kHz$	●	200	400	μA
		LTC1286, $t_{CYC} = 80\mu s, f_{CLK} = 200kHz$	●	250	500	μA
		LTC1298, $t_{CYC} \geq 720\mu s, f_{CLK} \leq 25kHz$	●	290	490	μA
		LTC1298, $t_{CYC} = 90\mu s, f_{CLK} = 200kHz$	●	340	640	μA

## DYNAMIC ACCURACY $f_{SAMPL} = 12.5kHz$ (LTC1286), $f_{SAMPL} = 11.1kHz$ (LTC1298) (Note 5)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
S/(N+D)	Signal-to-Noise Plus Distortion Ratio	1kHz/7kHz Input Signal		71/68		dB
THD	Total Harmonic Distortion (Up to 5th Harmonic)	1kHz/7kHz Input Signal		-84/-80		dB
SFDR	Spurious-Free Dynamic Range	1kHz/7kHz Input Signal		90/86		dB
	Peak Harmonic or Spurious Noise	1kHz/7kHz Input Signal		-90/-86		dB

## AC CHARACTERISTICS (Note 5)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
$t_{SMPL}$	Analog Input Sample Time	See Operating Sequence		1.5		CLK Cycles
$f_{SMPL(MAX)}$	Maximum Sampling Frequency	LTC1286 LTC1298	● ●	12.5 11.1		kHz kHz
$t_{CONV}$	Conversion Time	See Operating Sequence		12		CLK Cycles
$t_{D00}$	Delay Time, CLK↓ to D <sub>OUT</sub> Data Valid	See Test Circuits	●	250	600	ns
$t_{dis}$	Delay Time, $\overline{CS}$ ↑ to D <sub>OUT</sub> Hi-Z	See Test Circuits	●	135	300	ns
$t_{en}$	Delay Time, CLK↓ to D <sub>OUT</sub> Enable	See Test Circuits	●	75	200	ns
$t_{h00}$	Time Output Data Remains Valid After CLK↓	$C_{LOAD} = 100pF$		230		ns
$t_f$	D <sub>OUT</sub> Fall Time	See Test Circuits	●	20	75	ns
$t_r$	D <sub>OUT</sub> Rise Time	See Test Circuits	●	20	75	ns
$C_{IN}$	Input Capacitance	Analog Inputs, On Channel Analog Inputs, Off Channel Digital Input		20 5 5		pF pF pF

The ● denotes specifications which apply over the full operating temperature range.

**Note 1:** Absolute maximum ratings are those values beyond which the life of a device may be impaired.

**Note 2:** All voltage values are with respect to GND.

**Note 3:** These devices are specified at 5V. For 3V specified devices, see LTC1285 and LTC1288.

**Note 4:** Increased leakage currents at elevated temperatures cause the S/H to droop, therefore it is recommended that  $f_{CLK} \geq 120kHz$  at 85°C,  $f_{CLK} \geq 75kHz$  at 70° and  $f_{CLK} \geq 1kHz$  at 25°C.

**Note 5:**  $V_{CC} = 5V$ ,  $V_{REF} = 5V$  and  $CLK = 200kHz$  unless otherwise specified.

**Note 6:** Linearity error is specified between the actual end points of the A/D transfer curve.

**Note 7:** Two on-chip diodes are tied to each reference and analog input which will conduct for reference or analog input voltages one diode drop below GND or one diode drop above  $V_{CC}$ . This spec allows 50mV forward bias of either diode for  $4.5V \leq V_{CC} \leq 5.5V$ . This means that as long as the reference or analog input does not exceed the supply voltage by more than 50mV the output code will be correct. To achieve an absolute 0V to 5V input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of 4.950V over initial tolerance, temperature variations and loading. For  $5.5V < V_{CC} \leq 9V$ , reference and analog input range cannot exceed 5.55V. If reference and analog input range are greater than 5.55V, the output code will not be guaranteed to be correct.

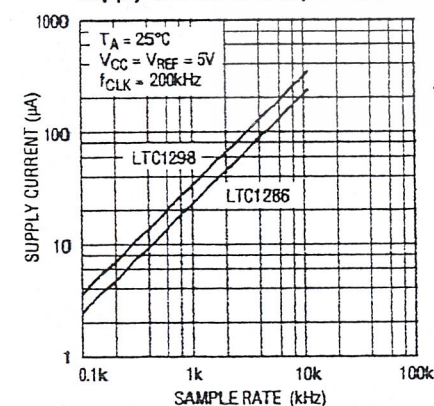
**Note 8:** The supply voltage range for the LTC1286 is from 4.5V to 9V, but the supply voltage range for the LTC1298 is only from 4.5V to 5.5V.

**Note 9:** Recommended operating conditions

**Note 10:** Channel leakage current is measured after the channel selection.

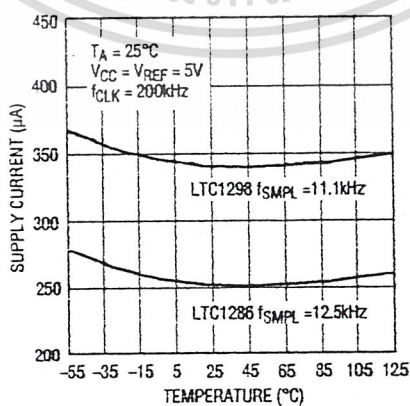
## TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

Supply Current vs Sample Rate



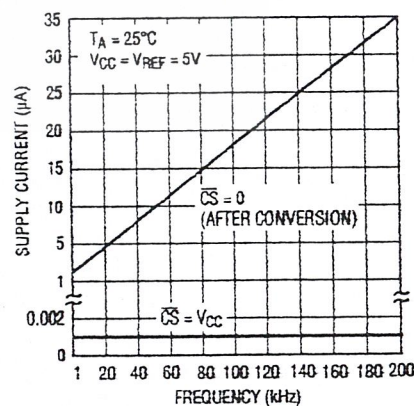
LT1286/98 G03

Supply Current vs Temperature



LT1286/98 G04

Shutdown Supply Current vs Clock Rate with  $\overline{CS}$  High and  $\overline{CS}$  Low

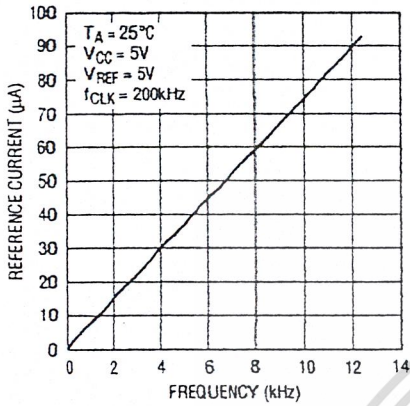


LT1286/98 G01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

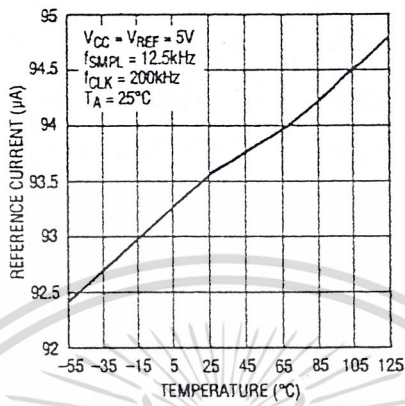
# TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

Reference Current vs Sample Rate (LTC1286)



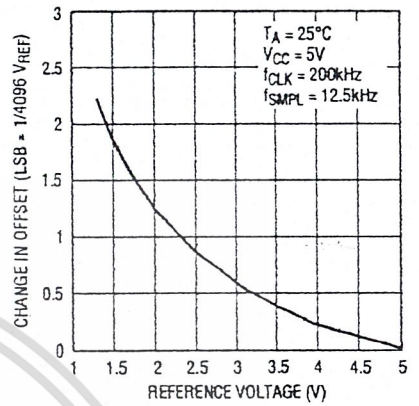
LT1286/98 G04

Reference Current vs Temperature



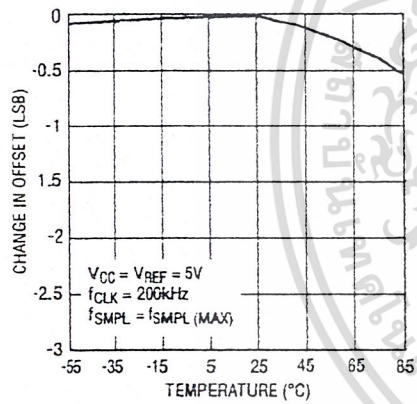
LT1286/98 G07

Change in Offset vs Reference Voltage



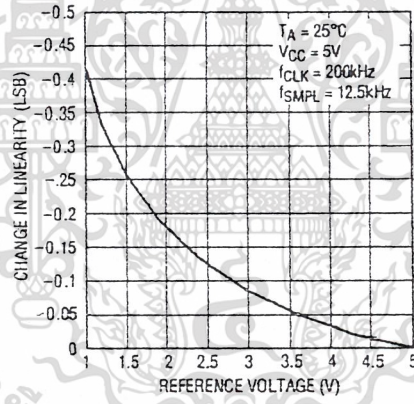
LT1286/98 G08

Change in Offset vs Temperature



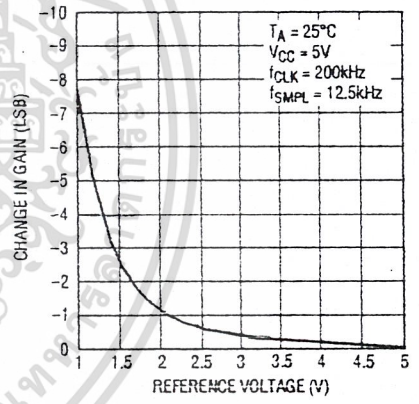
LT1286/98 G09

Change in Linearity vs Reference Voltage



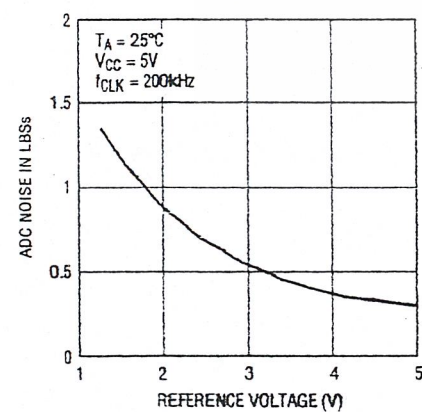
LT1286/98 G10

Change in Gain vs Reference Voltage



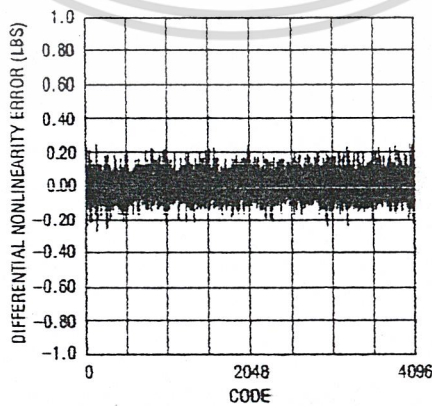
LT1286/98 G11

Peak-to-Peak ADC Noise vs Reference Voltage

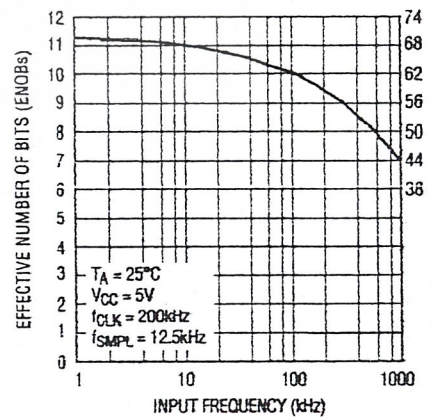


LT1286/98 G15

Differential Nonlinearity vs Code



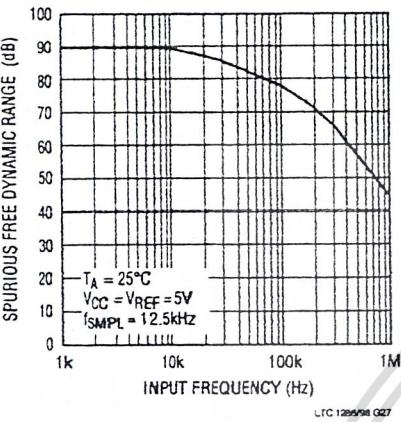
Effective Bits and S/(N + D) vs Input Frequency



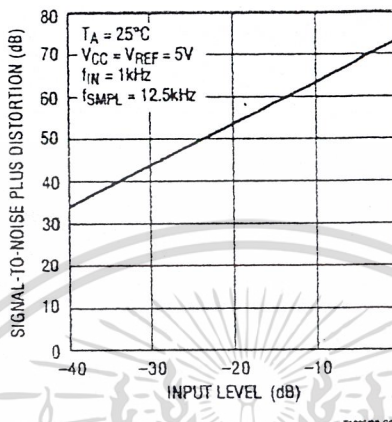
LT1286/98 G20

# TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

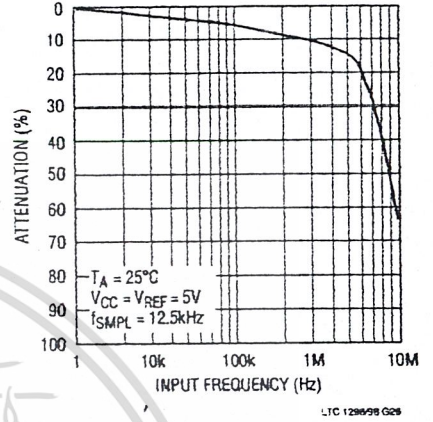
**Spurious Free Dynamic Range vs Frequency**



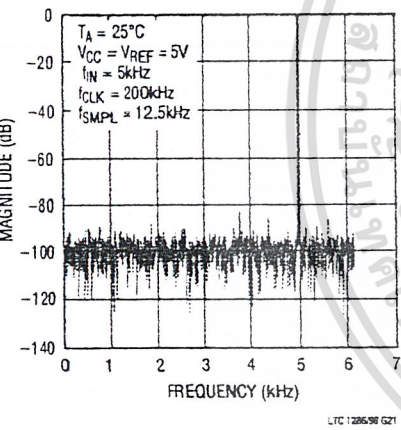
**S/(N+D) vs Input Level**



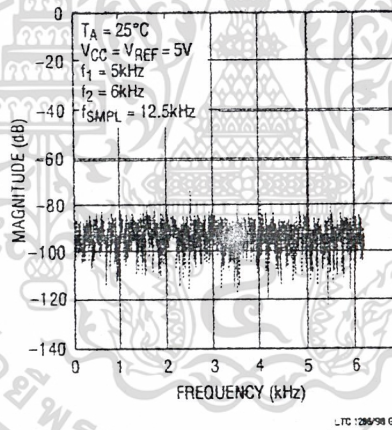
**Attenuation vs Input Frequency**



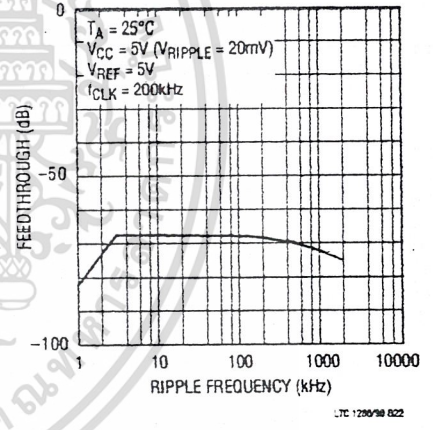
**4096 Point FFT Plot**



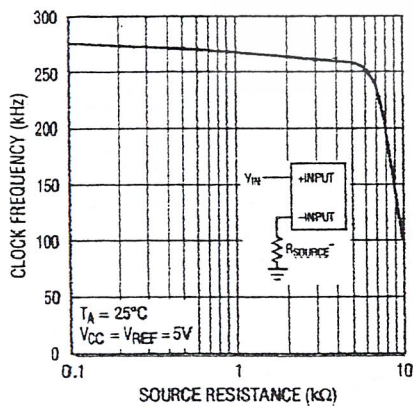
**Intermodulation Distortion**



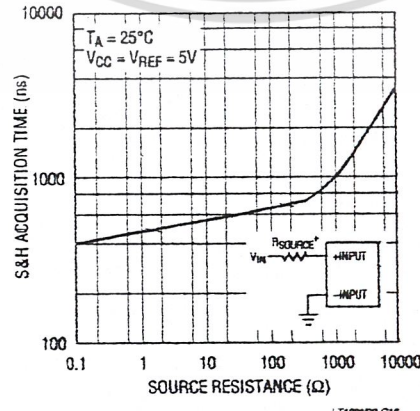
**Power Supply Feedthrough vs Ripple Frequency**



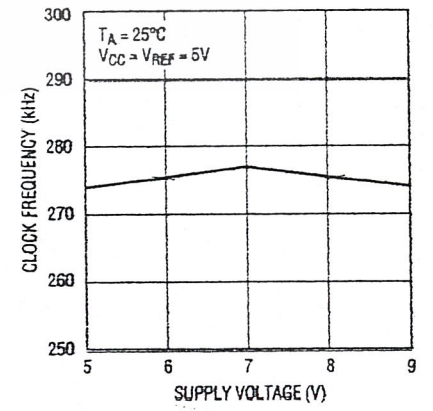
**Maximum Clock Frequency vs Source Resistance**



**Sample and Hold Acquisition Time vs Source Resistance**



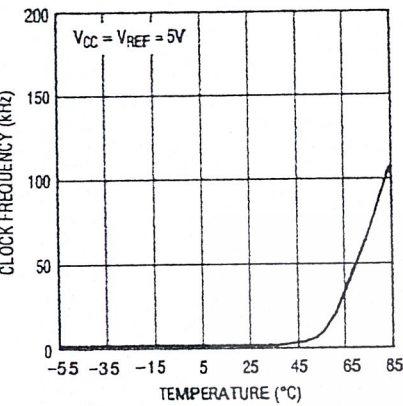
**Maximum Clock Frequency vs Supply Voltage**



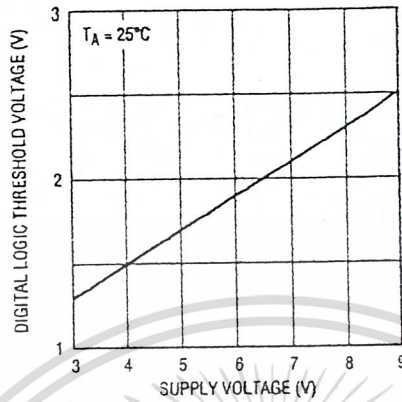
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

เมื่อการแก้ไข ทั้งต้น ยี่พื้นที่ ไม่พบเห็นแต่แสดงเนื้อหา และตียงย ینگเอง ของเอกสารทุกครั้งพบการแก้ไข

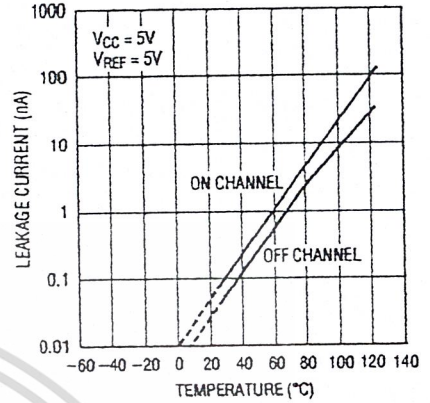
## TYPICAL PERFORMANCE CHARACTERISTICS

Minimum Clock Frequency  
for 0.1 LSB Error vs Temperature

LTC1286-014

Digital Input Logic Threshold  
vs Supply Voltage

LTC1286-017

Input Channel Leakage Current  
vs Temperature

LTC1286-019

## PIN FUNCTIONS

## LTC1286

**V<sub>REF</sub> (Pin 1):** Reference Input. The reference input defines the span of the A/D converter.

**IN<sup>+</sup> (Pin 2):** Positive Analog Input.

**IN<sup>-</sup> (Pin 3):** Negative Analog Input.

**GND (Pin 4):** Analog Ground. GND should be tied directly to an analog ground plane.

**CS/SHDN (Pin 5):** Chip Select Input. A logic low on this input enables the LTC1286. A logic high on this input disables and powers down the LTC1286.

**D<sub>OUT</sub> (Pin 6):** Digital Data Output. The A/D conversion result is shifted out of this output.

**CLK (Pin 7):** Shift Clock. This clock synchronizes the serial data transfer and determines conversion speed.

**V<sub>CC</sub> (Pin 8):** Power Supply Voltage. This pin provides power to the A/D converter. It must be kept free of noise and ripple by bypassing directly to the analog ground plane.

## LTC1298

**CS/SHDN (Pin 1):** Chip Select Input. A logic low on this input enables the LTC1298. A logic high on this input disables and powers down the LTC1298.

**CH0 (Pin 2):** Analog Input.

**CH1 (Pin 3):** Analog Input.

**GND (Pin 4):** Analog Ground. GND should be tied directly to an analog ground plane.

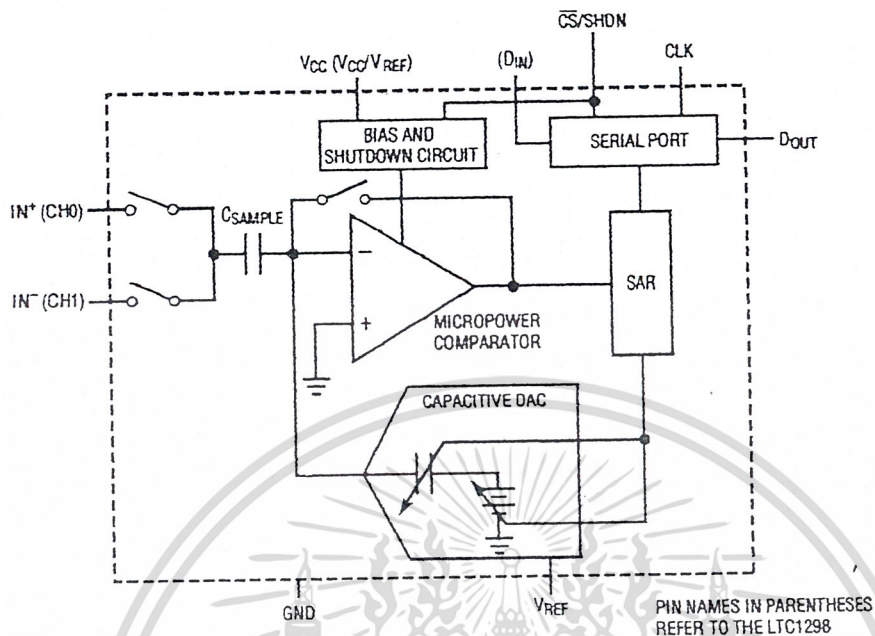
**D<sub>IN</sub> (Pin 5):** Digital Data Input. The multiplexer address is shifted into this input.

**D<sub>OUT</sub> (Pin 6):** Digital Data Output. The A/D conversion result is shifted out of this output.

**CLK (Pin 7):** Shift Clock. This clock synchronizes the serial data transfer and determines conversion speed.

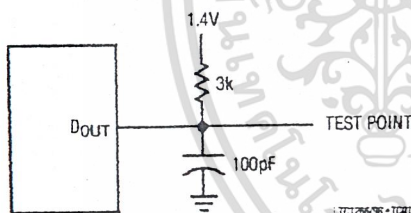
**V<sub>CC</sub>/V<sub>REF</sub> (Pin 8):** Power Supply and Reference Voltage. This pin provides power and defines the span of the A/D converter. It must be kept free of noise and ripple by bypassing directly to the analog ground plane.

**BLOCK DIAGRAM**

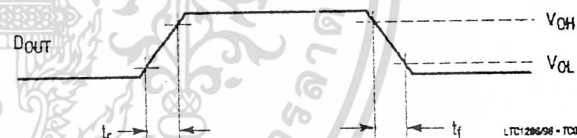


**TEST CIRCUITS**

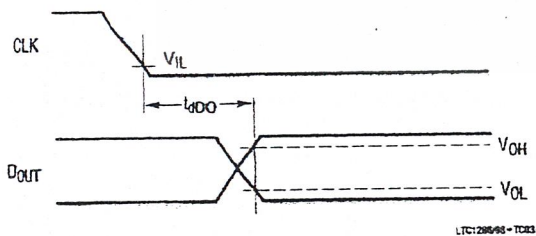
Load Circuit for  $t_{dD0}$ ,  $t_r$  and  $t_f$



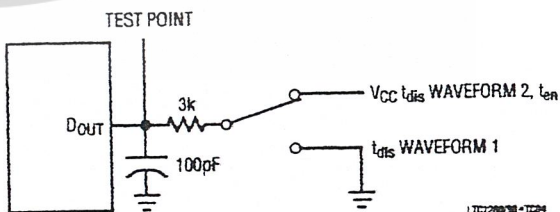
Voltage Waveforms for  $D_{OUT}$  Rise and Fall Times,  $t_r$ ,  $t_f$



Voltage Waveforms for  $D_{OUT}$  Delay Times,  $t_{dD0}$



Load Circuit for  $t_{dis}$  and  $t_{en}$

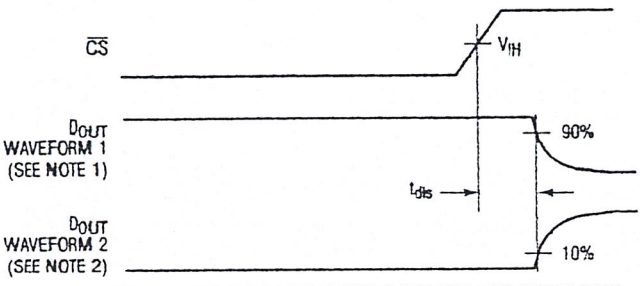


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้ง



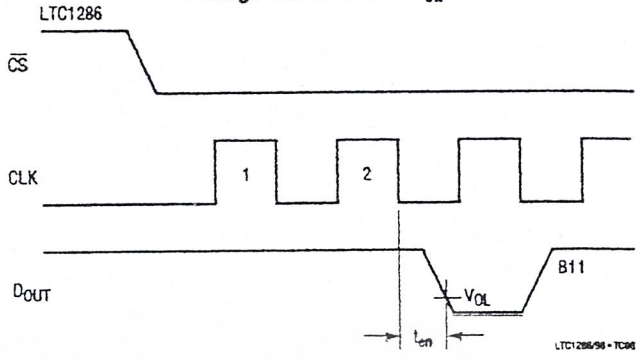
TEST CIRCUITS

Voltage Waveforms for  $t_{dis}$



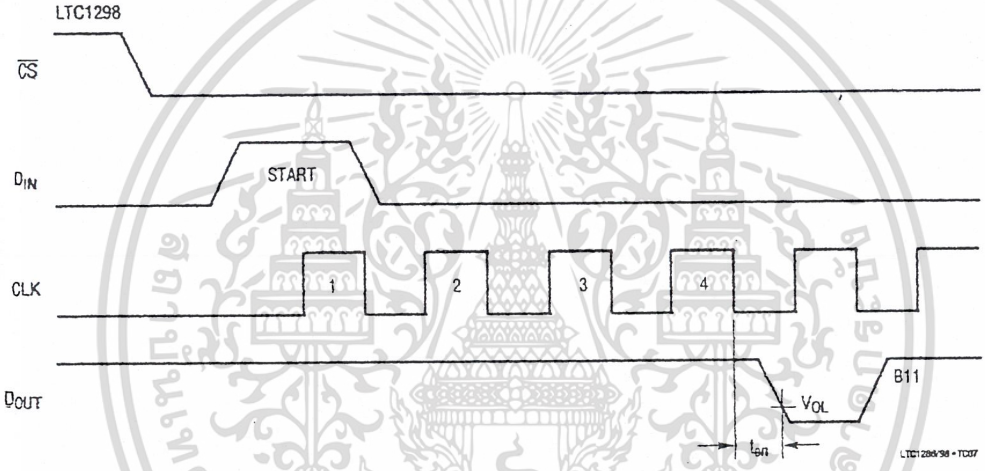
NOTE 1: WAVEFORM 1 IS FOR AN OUTPUT WITH INTERNAL CONDITIONS SUCH THAT THE OUTPUT IS HIGH UNLESS DISABLED BY THE OUTPUT CONTROL.  
 NOTE 2: WAVEFORM 2 IS FOR AN OUTPUT WITH INTERNAL CONDITIONS SUCH THAT THE OUTPUT IS LOW UNLESS DISABLED BY THE OUTPUT CONTROL.

Voltage Waveforms for  $t_{en}$



LTC1286-98 - TC05

Voltage Waveforms for  $t_{en}$



LTC1298-98 - TC07

APPLICATION INFORMATION

OVERVIEW

The LTC1286 and LTC1298 are micropower, 12-bit, successive approximation sampling A/D converters. The LTC1286 typically draws 250 $\mu$ A of supply current when sampling at 12.5kHz while the LTC1298 nominally consumes 350 $\mu$ A of supply current when sampling at 11.1 kHz. The extra 100 $\mu$ A of supply current on the LTC1298 comes from the reference input which is intentionally tied to the supply. Supply current drops linearly as the sample rate is reduced (see Supply Current vs Sample Rate). The ADCs automatically power down when not performing conversions, drawing only leakage current. They are packaged in 8-pin SO and DIP packages. The LTC1286 operates on a single supply from 4.5V to 9V,

while the LTC1298 operates from a 4.5V to 5.5V supply.

Both the LTC1286 and the LTC1298 contain a 12-bit, switched-capacitor ADC, a sample-and-hold, and a serial port (see Block Diagram). Although they share the same basic design, the LTC1286 and LTC1298 differ in some respects. The LTC1286 has a differential input and has an external reference input pin. It can measure signals floating on a DC common-mode voltage and can operate with reduced spans to 1V. Reducing the spans allows it to achieve 244 $\mu$ V resolution. The LTC1298 has a two-channel input multiplexer and can convert either channel with respect to ground or the difference between the two. The reference input is tied to the supply pin.



## APPLICATION INFORMATION

### SERIAL INTERFACE

The 2-channel LTC1298 communicates with microprocessors and other external circuitry via a synchronous, half duplex, 4-wire serial interface. The single channel LTC1286 uses a 3-wire interface (see Operating Sequence in Figures 1 and 2).

### Data Transfer

The CLK synchronizes the data transfer with each bit being transmitted on the falling CLK edge and captured on the rising CLK edge in both transmitting and receiving systems.

The LTC1286 does not require a configuration input word and has no  $D_{IN}$  pin. A falling  $\overline{CS}$  initiates data transfer as shown in the LTC1286 operating sequence. After  $\overline{CS}$  falls the second CLK pulse enables  $D_{OUT}$ . After one null bit the

A/D conversion result is output on the  $D_{OUT}$  line. Bringing  $\overline{CS}$  high resets the LTC1286 for the next data exchange.

The LTC1298 first receives input data and then transmits back the A/D conversion result (half duplex). Because of the half duplex operation,  $D_{IN}$  and  $D_{OUT}$  may be tied together allowing transmission over just 3 wires:  $\overline{CS}$ , CLK and DATA ( $D_{IN}/D_{OUT}$ ).

Data transfer is initiated by a falling chip select ( $\overline{CS}$ ) signal. After  $\overline{CS}$  falls the LTC1298 looks for a start bit. After the start bit is received, the 3-bit input word is shifted into the  $D_{IN}$  input which configures the LTC1298 and starts the conversion. After one null bit, the result of the conversion is output on the  $D_{OUT}$  line. At the end of the data exchange  $\overline{CS}$  should be brought high. This resets the LTC1298 in preparation for the next data exchange.

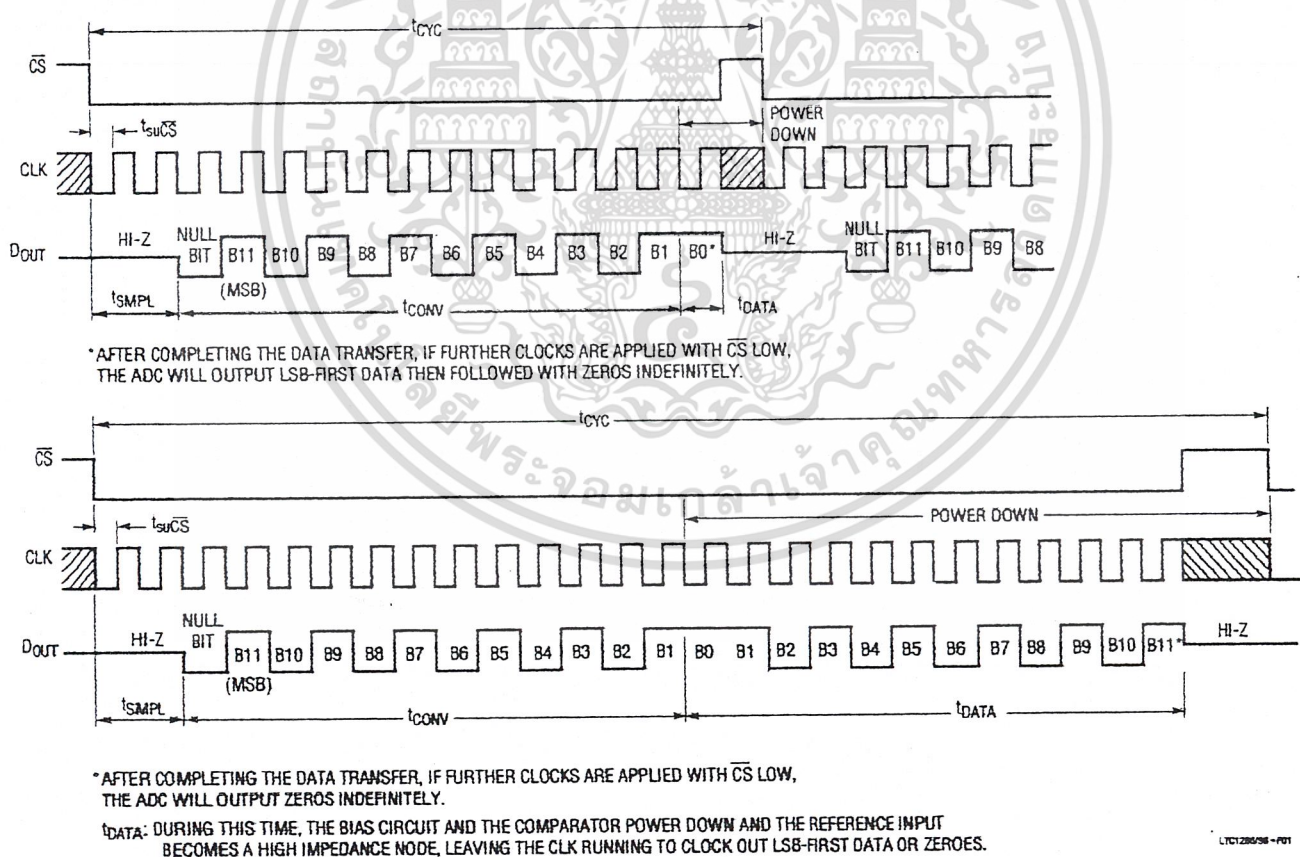
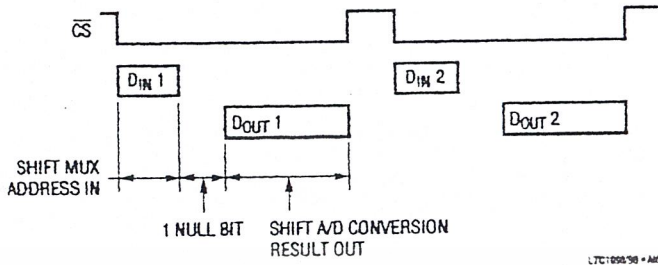


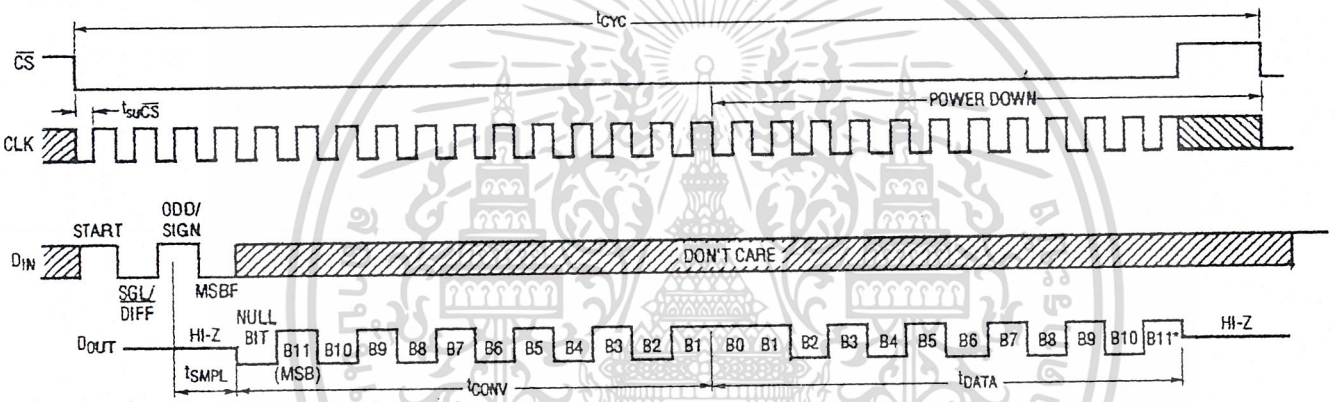
Figure 1. LTC1286 Operating Sequence

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

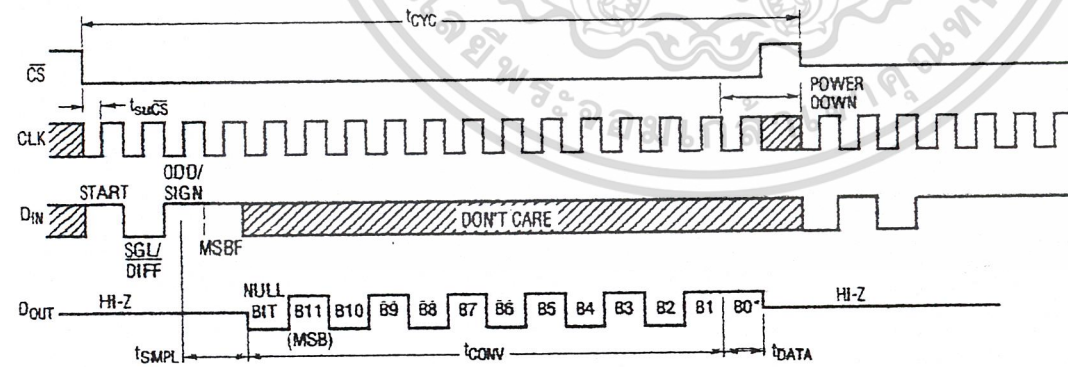
APPLICATION INFORMATION



MSB-First Data (MSBF = 0)



MSB-First Data (MSBF = 1)



\* AFTER COMPLETING THE DATA TRANSFER, IF FURTHER CLOCKS ARE APPLIED WITH CS LOW, THE ADC WILL OUTPUT ZEROS INDEFINITELY.

t<sub>DATA</sub>: DURING THIS TIME, THE BIAS CIRCUIT AND THE COMPARATOR POWER DOWN AND THE REFERENCE INPUT BECOMES A HIGH IMPEDANCE NODE, LEAVING THE CLK RUNNING TO CLOCK OUT LSB-FIRST DATA OR ZEROES.

LTC1286/98 • F02

Figure 2. LTC1298 Operating Sequence Example: Differential Inputs (CH<sup>+</sup>, CH<sup>-</sup>)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

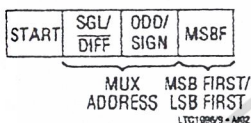


ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## APPLICATION INFORMATION

### Input Data Word

The LTC1286 requires no  $D_{IN}$  word. It is permanently configured to have a single differential input. The conversion result appears on the  $D_{OUT}$  line. The data format is MSB first followed by the LSB sequence. This provides easy interface to MSB or LSB first serial ports. For MSB first data the  $\overline{CS}$  signal can be taken high after B0 (see Figure 1). The LTC1298 clocks data into the  $D_{IN}$  input on the rising edge of the clock. The input data words are defined as follows:



### Start Bit

The first "logical one" clocked into the  $D_{IN}$  input after  $\overline{CS}$  goes low is the start bit. The start bit initiates the data transfer. The LTC1298 will ignore all leading zeros which precede this logical one. After the start bit is received, the remaining bits of the input word will be clocked in. Further inputs on the  $D_{IN}$  pin are then ignored until the next  $\overline{CS}$  cycle.

### Multiplexer (MUX) Address

The bits of the input word following the START bit assign the MUX configuration for the requested conversion. For a given channel selection, the converter will measure the voltage between the two channels indicated by the + and - signs in the selected row of the following tables. In single-ended mode, all input channels are measured with respect to GND.

LTC1298 Channel Selection

	MUX ADDRESS		CHANNEL #		GND
	SGL/DIFF	ODD/SIGN	0	1	
SINGLE-ENDED MUX MODE	1	0	+	-	
	1	1	+	+	
DIFFERENTIAL MUX MODE	0	0	+	-	
	0	1	-	+	

LTC1286/98 - A02

### MSB First/LSB First (MSBF)

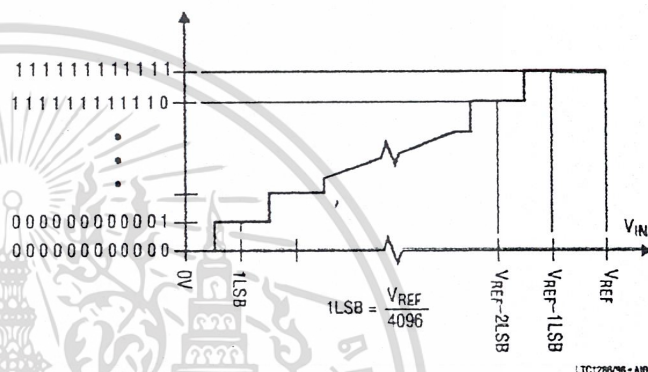
The output data of the LTC1298 is programmed for MSB first or LSB first sequence using the MSBF bit. When the MSBF bit is a logical one, data will appear on the  $D_{OUT}$  line in MSB first format. Logical zeros will be filled in indefinitely following the last data bit. When the

MSBF bit is a logical zero, LSB first data will follow the normal MSB first data on the  $D_{OUT}$  line. (see Operating Sequence)

### Transfer Curve

The LTC1286/LTC1298 are permanently configured for unipolar only. The input span and code assignment for this conversion type are shown in the following figures.

Transfer Curve



Output Code

OUTPUT CODE	INPUT VOLTAGE	INPUT VOLTAGE (VREF = 5.000V)
1111111111111111	$V_{REF} - 1LSB$	4.99878V
1111111111111110	$V_{REF} - 2LSB$	4.99756V
⋮	⋮	⋮
0000000000000001	1LSB	0.00122V
0000000000000000	0V	0V

LTC1286/98 - A02

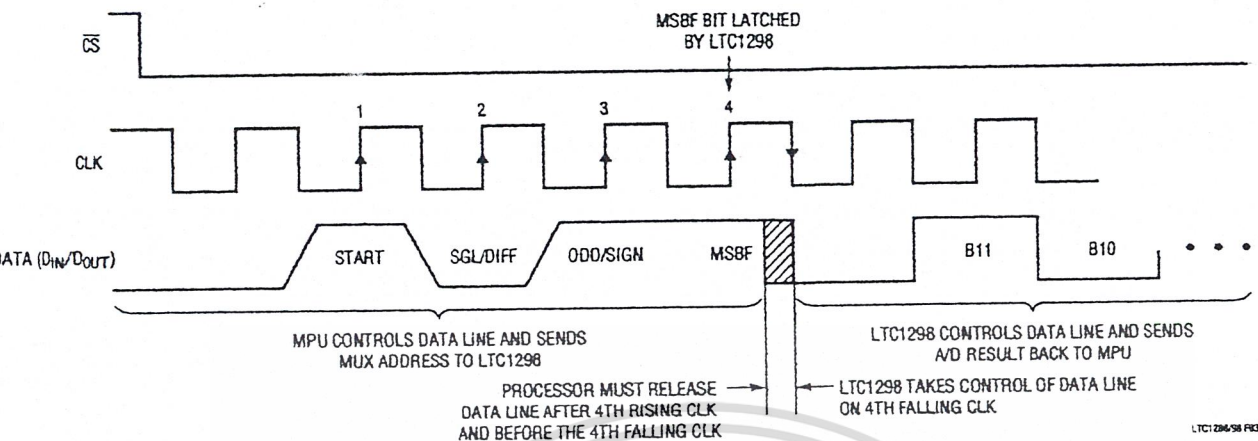
### Operation with $D_{IN}$ and $D_{OUT}$ Tied Together

The LTC1298 can be operated with  $D_{IN}$  and  $D_{OUT}$  tied together. This eliminates one of the lines required to communicate to the microprocessor (MPU). Data is transmitted in both directions on a single wire. The processor pin connected to this data line should be configurable as either an input or an output. The LTC1298 will take control of the data line and drive it low on the 4th falling CLK edge after the start bit is received (see Figure 3). Therefore the processor port line must be switched to an input before this happens to avoid a conflict.

In the Typical Applications section, there is an example of interfacing the LTC1298 with  $D_{IN}$  and  $D_{OUT}$  tied together to the Intel 8051 MPU.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

## APPLICATION INFORMATION

Figure 3. LTC1298 Operation with  $D_{IN}$  and  $D_{OUT}$  Tied Together

## ACHIEVING MICROPOWER PERFORMANCE

With typical operating currents of  $250\mu\text{A}$  and automatic shutdown between conversions, the LTC1286/LTC1298 achieves extremely low power consumption over a wide range of sample rates (see Figure 4). The auto-shutdown allows the supply curve to drop with reduced sample rate. Several things must be taken into account to achieve such low power consumption.

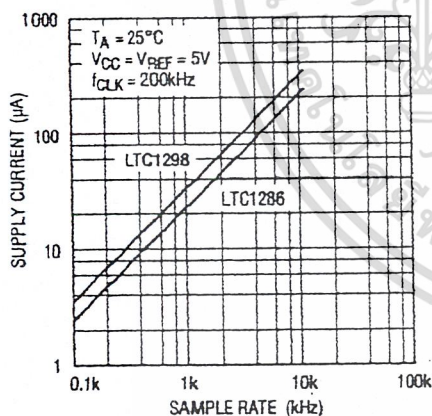


Figure 4. Automatic Power Shutdown Between Conversions Allows Power Consumption to Drop with Sample Rate.

## Shutdown

The LTC1286/LTC1298 are equipped with automatic shutdown features. They draw power when the  $\overline{CS}$  pin is low and shut down completely when that pin is high. The bias circuit and comparator powers down and the reference

input becomes high impedance at the end of each conversion leaving the CLK running to clock out the LSB first data or zeroes (see Figures 1 and 2). If the  $\overline{CS}$  is not running rail-to-rail, the input logic buffer will draw current. This current may be large compared to the typical supply current. To obtain the lowest supply current, bring the  $\overline{CS}$  pin to ground when it is low and to supply voltage when it is high.

When the  $\overline{CS}$  pin is high (= supply voltage), the converter is in shutdown mode and draws only leakage current. The status of the  $D_{IN}$  and CLK input have no effect on supply current during this time. There is no need to stop  $D_{IN}$  and CLK with  $\overline{CS} = \text{high}$ ; they can continue to run without drawing current.

Minimize  $\overline{CS}$  Low Time

In systems that have significant time between conversions, lowest power drain will occur with the minimum  $\overline{CS}$  low time. Bringing  $\overline{CS}$  low, transferring data as quickly as possible, and then bringing it back high will result in the lowest current drain. This minimizes the amount of time the device draws power. After a conversion the ADC automatically shuts down even if  $\overline{CS}$  is held low (see Figures 1 and 2). If the clock is left running to clock out LSB-data or zero, the logic will draw a small current. Figure 5 shows that the typical supply current with  $\overline{CS} = \text{ground}$  varies from  $1\mu\text{A}$  at 1kHz to  $35\mu\text{A}$  at 200kHz. When  $\overline{CS} = V_{CC}$ , the logic is gated off and no supply current is drawn regardless of the clock frequency.

## APPLICATION INFORMATION

### BOARD LAYOUT CONSIDERATIONS

#### Grounding and Bypassing

The LTC1286/LTC1298 are easy to use if some care is taken. They should be used with an analog ground plane and single point grounding techniques. The GND pin should be tied directly to the ground plane.

The  $V_{CC}$  pin should be bypassed to the ground plane with a  $10\mu\text{F}$  tantalum capacitor with leads as short as possible. If the power supply is clean, the LTC1286/LTC1298 can also operate with smaller  $1\mu\text{F}$  or less surface mount or ceramic bypass capacitors. All analog inputs should be referenced directly to the single point ground. Digital inputs and outputs should be shielded from and/or routed away from the reference and analog circuitry.

#### SAMPLE-AND-HOLD

Both the LTC1286 and the LTC1298 provide a built-in sample-and-hold (S&H) function to acquire signals. The S&H of the LTC1286 acquires input signals from “+” input relative to “-” input during the  $t_{\text{SMPL}}$  time (see Figure 1). However, the S&H of the LTC1298 can sample input signals in the single-ended mode or in the differential inputs during the  $t_{\text{SMPL}}$  time (see Figure 7).

#### Single-Ended Inputs

The sample-and-hold of the LTC1298 allows conversion of rapidly varying signals. The input voltage is sampled during the  $t_{\text{SMPL}}$  time as shown in Figure 7. The sampling interval begins as the bit preceding the MSBF bit is shifted in and continues until the falling CLK edge after the MSBF bit is received. On this falling edge, the S&H goes into hold mode and the conversion begins.

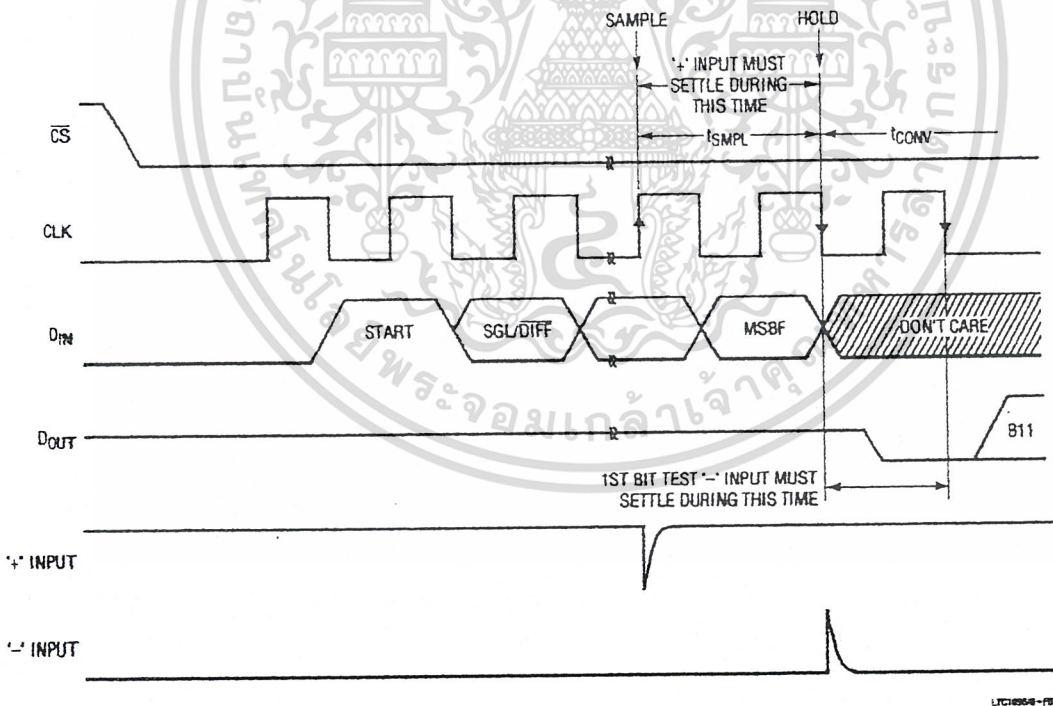


Figure 7. LTC1298 “+” and “-” Input Settling Windows

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

## APPLICATION INFORMATION

### Differential Inputs

With differential inputs, the ADC no longer converts just a single voltage but rather the difference between two voltages. In this case, the voltage on the selected “+” input is still sampled and held and therefore may be rapidly time varying just as in single-ended mode. However, the voltage on the selected “-” input must remain constant and be free of noise and ripple throughout the conversion time. Otherwise, the differencing operation may not be performed accurately. The conversion time is 12 CLK cycles. Therefore, a change in the “-” input voltage during this interval can cause conversion errors. For a sinusoidal voltage on the “-” input this error would be:

$$V_{\text{ERROR (MAX)}} = V_{\text{PEAK}} \times 2 \times \pi \times f(\text{“-”}) \times 12/f_{\text{CLK}}$$

Where  $f(\text{“-”})$  is the frequency of the “-” input voltage,  $V_{\text{PEAK}}$  is its peak amplitude and  $f_{\text{CLK}}$  is the frequency of the CLK. In most cases  $V_{\text{ERROR}}$  will not be significant. For a 60Hz signal on the “-” input to generate a 1/4LSB error (305 $\mu$ V) with the converter running at CLK = 200kHz, its peak value would have to be 13.48mV.

### ANALOG INPUTS

Because of the capacitive redistribution A/D conversion techniques used, the analog inputs of the LTC1286/LTC1298 have capacitive switching input current spikes. These current spikes settle quickly and do not cause a problem. However, if large source resistances are used or if slow settling op amps drive the inputs, care must be taken to insure that the transients caused by the current spikes settle completely before the conversion begins.

### “+” Input Settling

The input capacitor of the LTC1286 is switched onto “+” input during the  $t_{\text{SMPL}}$  time (see Figure 1) and samples the input signal within that time. However, the input capacitor of the LTC1298 is switched onto “+” input during the sample phase ( $t_{\text{SMPL}}$ , see Figure 7). The sample phase is 1 1/2 CLK cycles before conversion starts. The voltage on the “+” input must settle completely within  $t_{\text{SMPL}}$  for the LTC1286 and the LTC1298 respectively. Minimizing  $R_{\text{SOURCE}}^+$  and C1 will improve the input settling time. If a large “+” input source resistance must be used, the

sample time can be increased by using a slower CLK frequency.

### “-” Input Settling

At the end of the  $t_{\text{SMPL}}$ , the input capacitor switches to the “-” input and conversion starts (see Figures 1 and 7). During the conversion, the “+” input voltage is effectively “held” by the sample-and-hold and will not affect the conversion result. However, it is critical that the “-” input voltage settles completely during the first CLK cycle of the conversion time and be free of noise. Minimizing  $R_{\text{SOURCE}}^-$  and C2 will improve settling time. If a large “-” input source resistance must be used, the time allowed for settling can be extended by using a slower CLK frequency.

### Input Op Amps

When driving the analog inputs with an op amp it is important that the op amp settle within the allowed time (see Figure 7). Again, the “+” and “-” input sampling times can be extended as described above to accommodate slower op amps. Most op amps, including the LT1006 and LT1413 single supply op amps, can be made to settle well even with the minimum settling windows of 6 $\mu$ s (“+” input) which occur at the maximum clock rate of 200kHz.

### Source Resistance

The analog inputs of the LTC1286/LTC1298 look like a 20pF capacitor ( $C_{\text{IN}}$ ) in series with a 500 $\Omega$  resistor ( $R_{\text{ON}}$ ) as shown in Figure 8.  $C_{\text{IN}}$  gets switched between the selected “+” and “-” inputs once during each conversion cycle. Large external source resistors and capacitances

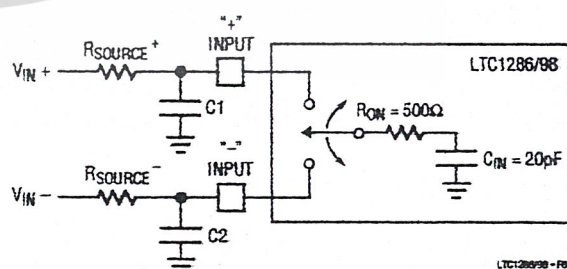


Figure 8. Analog Input Equivalent Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

## APPLICATION INFORMATION

will slow the settling of the inputs. It is important that the overall RC time constants be short enough to allow the analog inputs to completely settle within the allowed time.

### RC Input Filtering

It is possible to filter the inputs with an RC network as shown in Figure 9. For large values of  $C_F$  (e.g.,  $1\mu\text{F}$ ), the capacitive input switching currents are averaged into a net DC current. Therefore, a filter should be chosen with a small resistor and large capacitor to prevent DC drops across the resistor. The magnitude of the DC current is approximately  $I_{DC} = 20\text{pF} \times V_{IN}/t_{CYC}$  and is roughly proportional to  $V_{IN}$ . When running at the minimum cycle time of  $64\mu\text{s}$ , the input current equals  $1.56\mu\text{A}$  at  $V_{IN} = 5\text{V}$ . In this case, a filter resistor of  $75\Omega$  will cause 0.1LSB of full-scale error. If a larger filter resistor must be used, errors can be eliminated by increasing the cycle time.

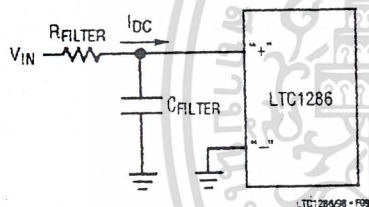


Figure 9. RC Input Filtering

### Input Leakage Current

Input leakage currents can also create errors if the source resistance gets too large. For instance, the maximum input leakage specification of  $1\mu\text{A}$  (at  $125^\circ\text{C}$ ) flowing through a source resistance of  $240\Omega$  will cause a voltage drop of  $240\mu\text{V}$  or 0.2LSB. This error will be much reduced at lower temperatures because leakage drops rapidly (see typical curve of Input Channel Leakage Current vs Temperature).

### REFERENCE INPUTS

The reference input of the LTC1286 is effectively a  $50\text{k}\Omega$  resistor from the time  $\overline{\text{CS}}$  goes low to the end of the conversion. The reference input becomes a high impedance node at any other time (see Figure 10). Since the voltage on the reference input defines the voltage span of the A/D

converter, the reference input should be driven by a reference with low  $R_{OUT}$  (ex. LT1004, LT1019 and LT1021) or a voltage source with low  $R_{OUT}$ .

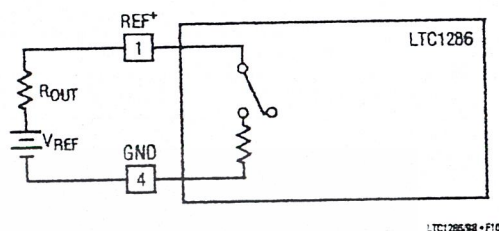


Figure 10. Reference Input Equivalent Circuit

### Reduced Reference Operation

The minimum reference voltage of the LTC1298 is limited to 4.5V because the  $V_{CC}$  supply and reference are internally tied together. However, the LTC1286 can operate with reference voltages below 1V.

The effective resolution of the LTC1286 can be increased by reducing the input span of the converter. The LTC1286 exhibits good linearity and gain over a wide range of reference voltages (see typical curves of Change in Linearity vs Reference Voltage and Change in Gain vs Reference Voltage). However, care must be taken when operating at low values of  $V_{REF}$  because of the reduced LSB step size and the resulting higher accuracy requirement placed on the converter. The following factors must be considered when operating at low  $V_{REF}$  values:

1. Offset
2. Noise
3. Conversion speed (CLK frequency)

#### Offset with Reduced $V_{REF}$

The offset of the LTC1286 has a larger effect on the output code. When the ADC is operated with reduced reference voltage. The offset (which is typically a fixed voltage) becomes a larger fraction of an LSB as the size of the LSB is reduced. The typical curve of Change in Offset vs Reference Voltage shows how offset in LSBs is related to reference voltage for a typical value of  $V_{OS}$ . For example, a  $V_{OS}$  of  $122\mu\text{V}$  which is 0.1LSB with a 5V reference becomes 0.5LSB with a 1V reference and 2.5LSBs with a

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

## APPLICATION INFORMATION

0.2V reference. If this offset is unacceptable, it can be corrected digitally by the receiving system or by offsetting the “-” input of the LTC1286.

### Noise with Reduced $V_{REF}$

The total input referred noise of the LTC1286 can be reduced to approximately 400 $\mu$ V peak-to-peak using a ground plane, good bypassing, good layout techniques and minimizing noise on the reference inputs. This noise is insignificant with a 5V reference but will become a larger fraction of an LSB as the size of the LSB is reduced.

For operation with a 5V reference, the 400 $\mu$ V noise is only 0.33LSB peak-to-peak. In this case, the LTC1286 noise will contribute virtually no uncertainty to the output code. However, for reduced references the noise may become a significant fraction of an LSB and cause undesirable jitter in the output code. For example, with a 2.5V reference this same 400 $\mu$ V noise is 0.66LSB peak-to-peak. This will reduce the range of input voltages over which a stable output code can be achieved by 1LSB. If the reference is further reduced to 1V, the 400 $\mu$ V noise becomes equal to 1.65LSBs and a stable code may be difficult to achieve. In this case averaging multiple readings may be necessary.

This noise data was taken in a very clean setup. Any setup induced noise (noise or ripple on  $V_{CC}$ ,  $V_{REF}$  or  $V_{IN}$ ) will add to the internal noise. The lower the reference voltage to be used the more critical it becomes to have a clean, noise free setup.

### Conversion Speed with Reduced $V_{REF}$

With reduced reference voltages, the LSB step size is reduced and the LTC1286 internal comparator overdrive is reduced. Therefore, it may be necessary to reduce the maximum CLK frequency when low values of  $V_{REF}$  are used.

## DYNAMIC PERFORMANCE

The LTC1286/LTC1298 have exceptional sampling capability. Fast Fourier Transform (FFT) test techniques are used to characterize the ADC's frequency response, dis-

tortion and noise at the rated throughput. By applying a low distortion sine wave and analyzing the digital output using an FFT algorithm, the ADC's spectral content can be examined for frequencies outside the fundamental. Figure 11 shows a typical LTC1286 plot.

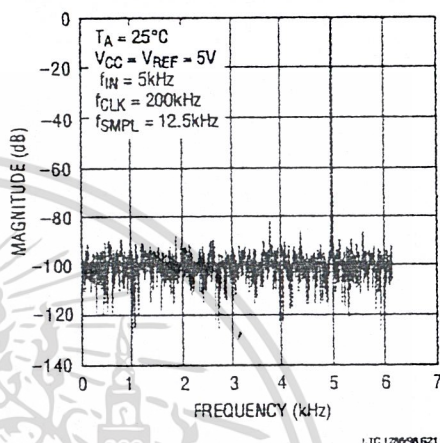


Figure 11. LTC1286 Non-Averaged, 4096 Point FFT Plot

### Signal-to-Noise Ratio

The Signal-to-Noise plus Distortion Ratio (S/N + D) is the ratio between the RMS amplitude of the fundamental input frequency to the RMS amplitude of all other frequency components at the ADC's output. The output is band limited to frequencies above DC and below one half the sampling frequency. Figure 12 shows a typical spectral content with a 12.5kHz sampling rate.

### Effective Number of Bits

The Effective Number of Bits (ENOBs) is a measurement of the resolution of an ADC and is directly related to S/(N+D) by the equation:

$$\text{ENOB} = [S/(N + D) - 1.76]/6.02$$

where S/(N + D) is expressed in dB. At the maximum sampling rate of 12.5kHz with a 5V supply, the LTC1286 maintains above 11 ENOBs at 10kHz input frequency. Above 10kHz the ENOBs gradually decline, as shown in Figure 12, due to increasing second harmonic distortion. The noise floor remains low.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

## APPLICATION INFORMATION

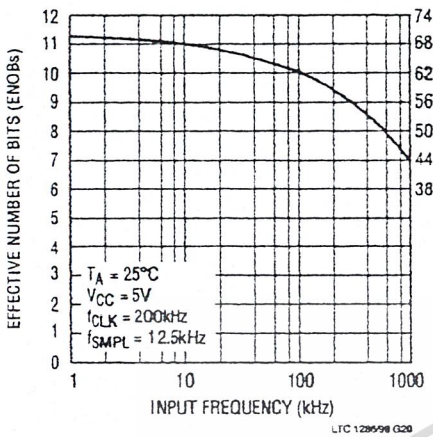


Figure 12. Effective Bits and S/(N + D) vs Input Frequency

### Total Harmonic Distortion

Total Harmonic Distortion (THD) is the ratio of the RMS sum of all harmonics of the input signal to the fundamental itself. The out-of-band harmonics alias into the frequency band between DC and half of the sampling frequency. THD is defined as:

$$\text{THD} = 20 \log \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_N^2}}{V_1}$$

where  $V_1$  is the RMS amplitude of the fundamental frequency and  $V_2$  through  $V_N$  are the amplitudes of the second through the  $N^{\text{th}}$  harmonics. The typical THD specification in the Dynamic Accuracy table includes the 2nd through 5th harmonics. With a 7kHz input signal, the LTC1286/LTC1298 have typical THD of 80dB with  $V_{CC} = 5V$ .

### Intermodulation Distortion

If the ADC input signal consists of more than one spectral component, the ADC transfer function nonlinearity can produce intermodulation distortion (IMD) in addition to THD. IMD is the change in one sinusoidal input caused by the presence of another sinusoidal input at a different frequency.

If two pure sine waves of frequencies  $f_a$  and  $f_b$  are applied to the ADC input, nonlinearities in the ADC transfer function can create distortion products at sum and difference frequencies of  $mf_a \pm nf_b$ , where  $m$  and  $n = 0, 1, 2, 3$ , etc. For example, the 2nd order IMD terms include  $(f_a + f_b)$  and  $(f_a - f_b)$  while 3rd order IMD terms include  $(2f_a + f_b)$ ,  $(2f_a - f_b)$ ,  $(f_a + 2f_b)$ , and  $(f_a - 2f_b)$ . If the two input sine waves are equal in magnitudes, the value (in dB) of the 2nd order IMD products can be expressed by the following formula:

$$\text{IMD}(f_a \pm f_b) = 20 \log \left[ \frac{\text{amplitude}(f_a \pm f_b)}{\text{amplitude at } f_a} \right]$$

For input frequencies of 5kHz and 6kHz, the IMD of the LTC1286/LTC1298 is 73dB with a 5V supply.

### Peak Harmonic or Spurious Noise

The peak harmonic or spurious noise is the largest spectral component excluding the input signal and DC. This value is expressed in dBs relative to the RMS value of a full-scale input signal.

### Full-Power and Full-Linear Bandwidth

The full-power bandwidth is that input frequency at which the amplitude of the reconstructed fundamental is reduced by 3dB for a full-scale input.

The full-linear bandwidth is the input frequency at which the effective bits rating of the ADC falls to 11 bits. Beyond this frequency, distortion of the sampled input signal increases. The LTC1286/LTC1298 have been designed to optimize input bandwidth, allowing the ADCs to undersample input signals with frequencies above the converters' Nyquist Frequency.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

## TYPICAL APPLICATIONS

## MICROPROCESSOR INTERFACES

The LTC1286/LTC1298 can interface directly without external hardware to most popular microprocessor (MPU) synchronous serial formats (see Table 1). If an MPU without a dedicated serial port is used, then 3 or 4 of the MPU's parallel port lines can be programmed to form the serial link to the LTC1286/LTC1298. Included here is one serial interface example and one example showing a parallel port programmed to form the serial interface.

## Motorola SPI (MC68HC11)

The MC68HC11 has been chosen as an example of an MPU with a dedicated serial port. This MPU transfers data MSB first and in 8-bit increments. The  $D_{IN}$  word sent to the data register starts with the SPI process. With three 8-bit transfers, the A/D result is read into the MPU. The second 8-bit transfer clocks B11 through B8 of the A/D conversion result into the processor. The third 8-bit transfer clocks the remaining bits, B7 through B0, into the MPU. The data is right justified into two memory locations. ANDing the second byte with  $0F_{HEX}$  clears the four most significant bits. This operation was not included in the code. It can be inserted in the data gathering loop or outside the loop when the data is processed.

## MC68HC11 Code

In this example the  $D_{IN}$  word configures the input MUX for a single-ended input to be applied to CHO. The conversion result is output MSB-first.

Table 1. Microprocessor with Hardware Serial Interfaces Compatible with the LTC1286/LTC1298

PART NUMBER	TYPE OF INTERFACE
<b>Motorola</b>	
MC6805S2,S3	SPI
MC68HC11	SPI
MC68HC05	SPI
<b>RCA</b>	
CDP68HC05	SPI
<b>Hitachi</b>	
HD6305	SCI Synchronous
HD63705	SCI Synchronous
HD6301	SCI Synchronous
HD63701	SCI Synchronous
HD6303	SCI Synchronous
HD64180	CSI/O
<b>National Semiconductor</b>	
COP400 Family	MICROWIRE <sup>†</sup>
COP800 Family	MICROWIRE/PLUS <sup>†</sup>
NS8050U	MICROWIRE/PLUS <sup>†</sup>
HPC16000 Family	MICROWIRE/PLUS <sup>†</sup>
<b>Texas Instruments</b>	
TMS7002	Serial Port
TMS7042	Serial Port
TMS70C02	Serial Port
TMS70C42	Serial Port
TMS32011*	Serial Port
TMS32020	Serial Port
<b>Intel</b>	
8051	Bit Manipulation on Parallel Port

\* Requires external hardware

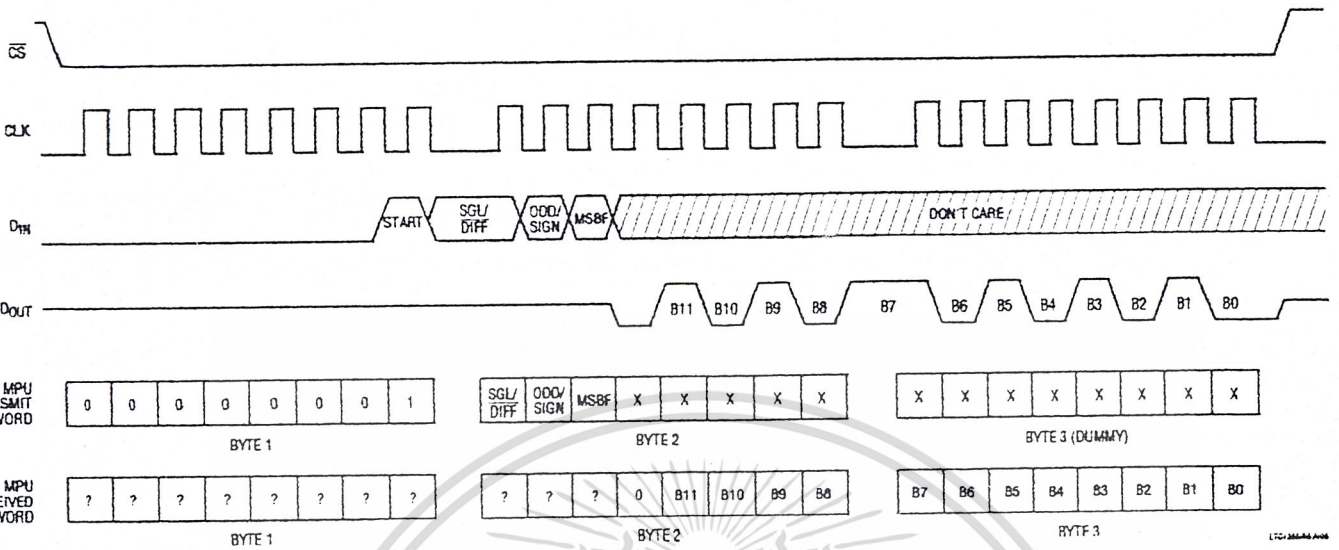
† MICROWIRE and MICROWIRE/PLUS are trademarks of National Semiconductor Corp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

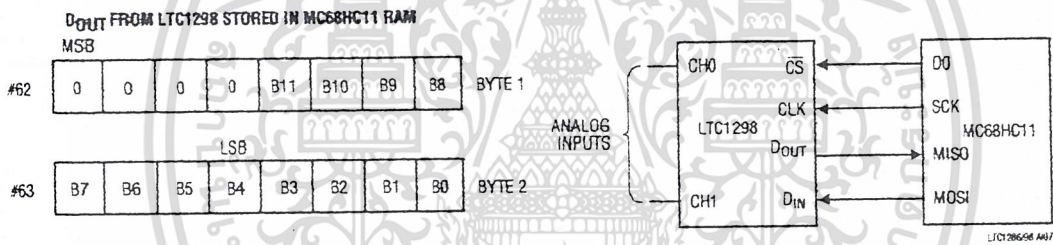
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ออกกฎหมายให้ผิดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำใช้

# TYPICAL APPLICATIONS

Timing Diagram for Interface to the MC68HC11



Hardware and Software Interface to the MC68HC11



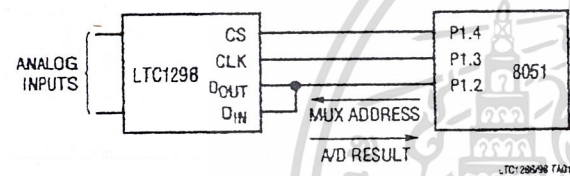
ABEL	MNEMONIC	OPERAND	COMMENTS	LABEL	MNEMONIC	OPERAND	COMMENTS
	LDAA	#\$50	CONFIGURATION DATA FOR SPCR	WAIT1	BPL	WAIT1	CHECK IF TRANSFER IS DONE
	STAA	\$1028	LOAD DATA INTO SPCR (\$1028)		LDAA	\$51	LOAD DIN INTO ACC A FROM \$51
	LDAA	#\$1B	CONFIG. DATA FOR PORT D DDR		STAA	\$102A	LOAD DIN INTO SPI, START SCK
	STAA	\$1009	LOAD DATA INTO PORT D DDR	WAIT2	LDAA	\$1029	CHECK SPI STATUS REG
	LDAA	#\$01	LOAD DIN WORD INTO ACC A		BPL	WAIT2	CHECK IF TRANSFER IS DONE
	STAA	\$50	LOAD DIN DATA INTO \$50		LDAA	\$102A	LOAD LTC1291 MSBs INTO ACC A
	LDAA	#\$A0	LOAD DIN WORD INTO ACC A		STAA	\$62	STORE MSBs IN \$62
	STAA	\$51	LOAD DIN DATA INTO \$51		LDAA	\$52	LOAD DUMMY INTO ACC A FROM \$52
	LDAA	#\$00	LOAD DUMMY DIN WORD INTO ACC A		STAA	\$102A	LOAD DUMMY DIN INTO SPI, START SCK
	STAA	\$52	LOAD DUMMY DIN DATA INTO \$52	WAIT3	LDAA	\$1029	CHECK SPI STATUS REG
	LDX	#\$1000	LOAD INDEX REGISTER X WITH \$1000		BPL	WAIT3	CHECK IF TRANSFER IS DONE
LOOP	BCLR	\$08,X,#\$01	DO GOES LOW (CS GOES LOW)		BSET	\$08,X,#\$01	DO GOES HIGH (CS GOES HIGH)
	LDAA	\$50	LOAD DIN INTO ACC A FROM \$50		LDAA	\$102A	LOAD LTC1291 LSBs IN ACC
	STAA	\$102A	LOAD DIN INTO SPI, START SCK		STAA	\$63	STORE LSBs IN \$63
	LDAA	\$1029	CHECK SPI STATUS REG		JMP	LOOP	START NEXT CONVERSION

# TYPICAL APPLICATIONS

## Interfacing to the Parallel Port of the INTEL 8051 family

The Intel 8051 has been chosen to demonstrate the interface between the LTC1298 and parallel port microprocessors. Normally the  $\overline{CS}$ , CLK and  $D_{IN}$  signals would be generated on 3 port lines and the  $D_{OUT}$  signal read on the 4th port line. This works very well. However, we will demonstrate here an interface with the  $D_{IN}$  and  $D_{OUT}$  of the LTC1298 tied together as described in the SERIAL INTERFACE section. This saves one wire.

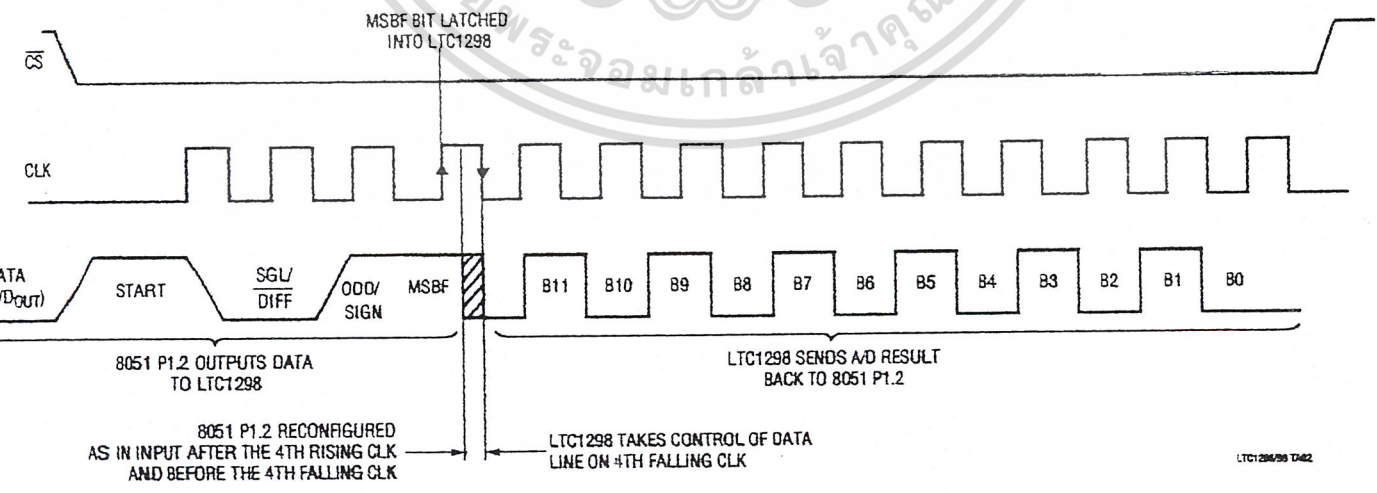
The 8051 first sends the start bit and MUX address to the LTC1298 over the data line connected to P1.2. Then P1.2 is reconfigured as an input (by writing to it a one) and the 8051 reads back the 12-bit A/D result over the same data line.



LABEL	MNEMONIC	OPERAND	COMMENTS
LOOP 1	MOV	A, #FFH	$D_{IN}$ word for LTC1298
	SETB	P1.4	Make sure $\overline{CS}$ is high
	CLR	P1.4	$\overline{CS}$ goes low
	MOV	R4, #04	Load counter
	RLC	A	Rotate $D_{IN}$ bit into Carry
	CLR	P1.3	SCLK goes low
	MOV	P1.2, C	Output $D_{IN}$ bit to LTC1298
LOOP 2	SETB	P1.3	SCLK goes high
	DJNZ	R4, LOOP 1	Next bit
	MOV	P1, #04	Bit 2 becomes an input
	CLR	P1.3	SCLK goes low
	MOV	R4, #09	Load counter
	MOV	C, P1.2	Read data bit into Carry
	RLC	A	Rotate data bit into Acc.
LOOP 3	SETB	P1.3	SCLK goes high
	CLR	P1.3	SCLK goes low
	DJNZ	R4, LOOP 2	Next bit
	MOV	R2, A	Store MSBs in R2
	CLR	A	Clear Acc.
	MOV	R4, #04	Load counter
	MOV	C, P1.2	Read data bit into Carry
LOOP 4	RLC	A	Rotate data bit into Acc.
	SETB	P1.3	SCLK goes high
	CLR	P1.3	SCLK goes low
	DJNZ	R4, LOOP 3	Next bit
	MOV	R4, #04	Load counter
	RRC	A	Rotate right into Acc.
	DJNZ	R4, LOOP 4	Next Rotate
MOV	R3, A	Store LSBs in R3	
SETB	P1.4	$\overline{CS}$ goes high	

### $D_{OUT}$ FROM 1298 STORED IN 8501 RAM

MSB								
R2	B11	B10	B9	B8	B7	B6	B5	B4
LSB								
R3	B3	B2	B1	B0	0	0	0	0



## TYPICAL APPLICATIONS

### A "Quick Look" Circuit for the LTC1286

Users can get a quick look at the function and timing of the LTC1286 by using the following simple circuit (Figure 13).  $V_{REF}$  is tied to  $V_{CC}$ .  $V_{IN}$  is applied to the +IN input and the -IN input is tied to the ground.  $\overline{CS}$  is driven at 1/16 the clock rate by the 74C161 and  $D_{OUT}$  outputs the data. The output data from the  $D_{OUT}$  pin can be viewed on an oscilloscope that is set up to trigger on the falling edge of  $\overline{CS}$  (Figure 14). Note the LSB data is partially clocked out before  $\overline{CS}$  goes high.

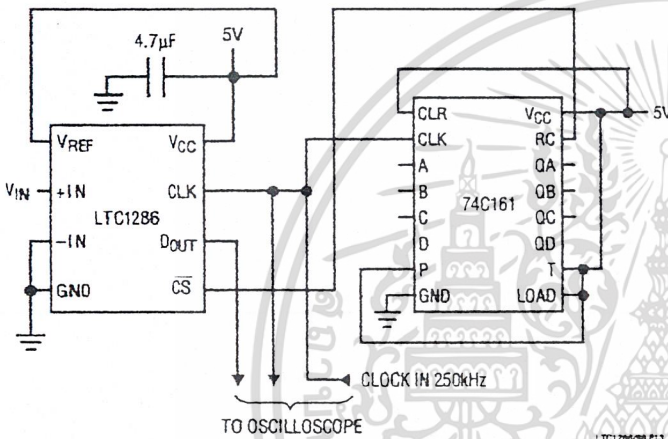


Figure 13. "Quick Look" Circuit for the LTC1286

### Micropower Battery Voltage Monitor

A common problem in battery systems is battery voltage monitoring. This circuit monitors the 10 cell stack of NiCad or NiMH batteries found in laptop computers. It draws only 67µA from the 5V supply at  $f_{SAMPL} = 0.1\text{kHz}$  and 25µA to 55µA from the battery. The 12-bits of resolution of the LTC1286 are positioned over the desired range of 8V to 16V. This is easily accomplished by using the ADC's differential inputs. Tying the -input to the reference gives an ADC input span of  $V_{REF}$  to  $2V_{REF}$  (2.5V to 5V). The resistor divider then scales the input voltage for 8V to 16V.

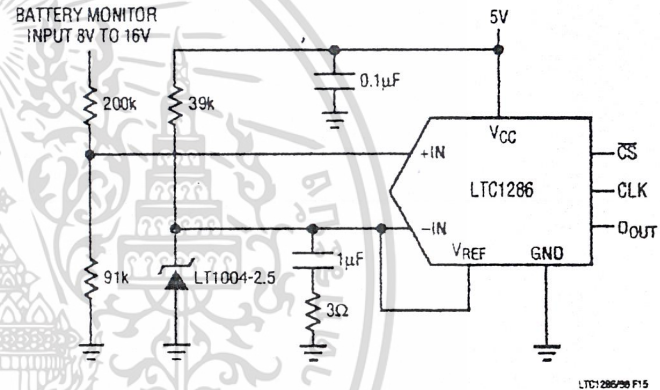


Figure 15. Micropower Battery Voltage Monitor

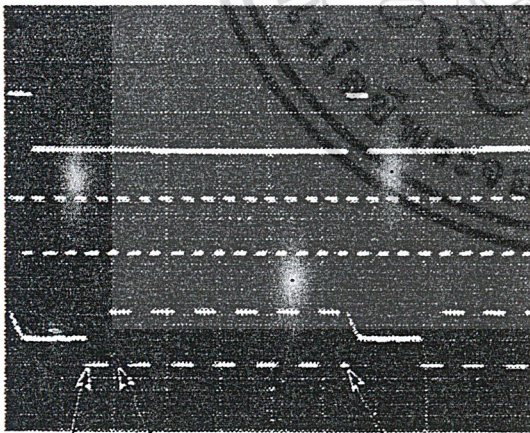
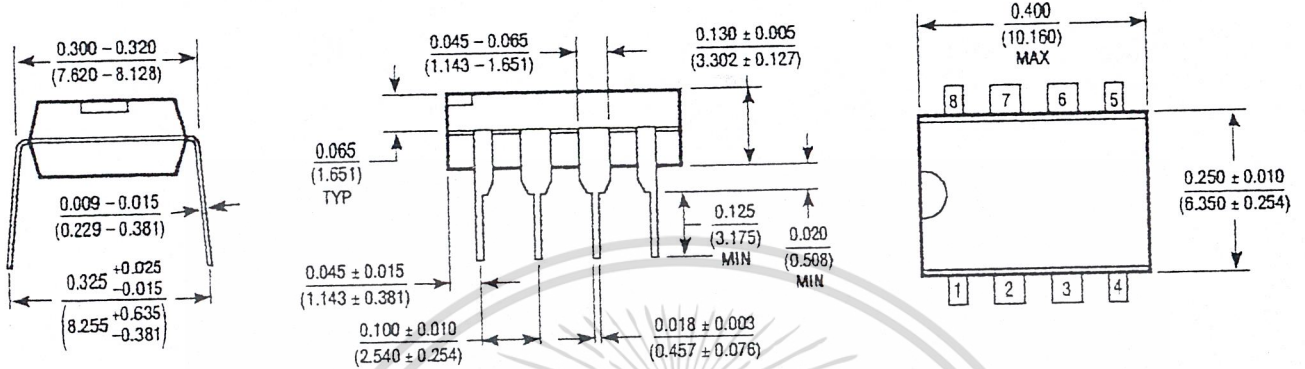


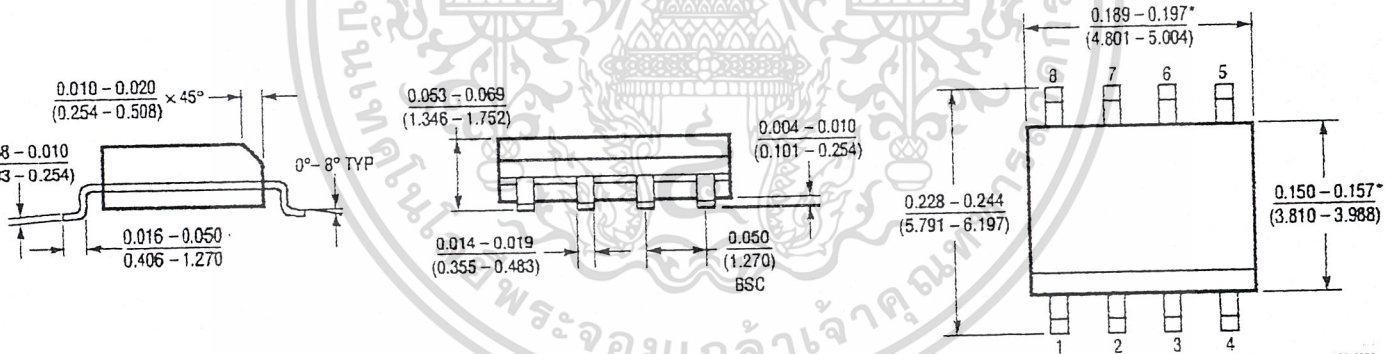
Figure 14. Scope Trace the LTC1286 "Quick Look" Circuit Showing A/D Output 1010101010 (AAA<sub>HEX</sub>)

**PACKAGE DESCRIPTION** Dimensions in inches (millimeters) unless otherwise noted.

**N8 Package  
8-Lead Plastic DIP**



**S8 Package  
8-Lead Plastic SOIC**



\* THESE DIMENSIONS DO NOT INCLUDE MOLD FLASH OR PROTRUSIONS. MOLD FLASH OR PROTRUSIONS SHALL NOT EXCEED 0.006 INCH (0.15mm).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า