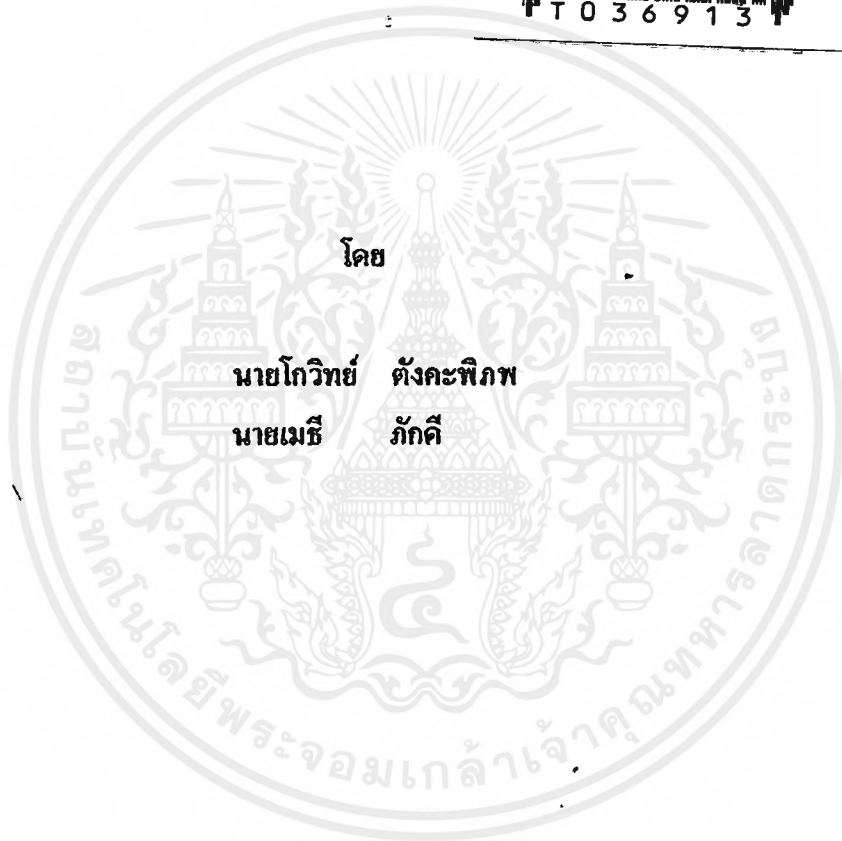


# สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ขอสงวนลิขสิทธิ์สำหรับงานทดลองพื้นฐาน

LOW COST OSCILLOSCOPE



โดย

นายโกวิทย์ ตั้งกะพิกพ  
นายเมธี ภัคคี

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2542

เลขหม.....

เลขทะเบียน 36913

ออกสารนี้เป็นเอกสาร 29 ส.ค. 2548  
วัน, เดือน, ปี.....

การใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

กรุณาแจ้งให้สำนักหอสมุดฯ ทราบเพื่อตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## ออสซิลโลสโคปสำหรับการทดลองขั้นพื้นฐาน

โดย นาย โกวิทช์ ดังคะพิภพ  
นาย เมธี ภักดี  
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ. อรรณสิทธิ์ หล้าสกุล  
ปีการศึกษา 2542

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการเรียนทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ มีความจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องมืออย่างเช่น ออสซิลโลสโคป ( Oscilloscope ) เป็นอย่างมาก เพราะสามารถทำให้ผู้เรียนสามารถศึกษารายละเอียดของรูปคลื่นสัญญาณ ได้แต่เนื่องจากออสซิลโลสโคปมีราคาแพงจึงยากแก่การซื้อหาเป็นเจ้าของได้

ดังนั้นปริญาานิพนธ์เล่มนี้จึงนำเสนอเรื่องของออสซิลโลสโคปสำหรับการทดลองขั้นพื้นฐาน ซึ่งเป็นออสซิลโลสโคปที่มีฟังก์ชันสำหรับการทดลองขั้นพื้นฐาน และที่สำคัญคือมีราคาถูก ออสซิลโลสโคปนี้ประกอบด้วยส่วนของฮาร์ดแวร์ที่ทำงานในลักษณะของดิจิตอลออสซิลโลสโคป คือมีการสุ่มและแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล ( A/D Converter ) เพื่อนำมาแสดงผลบนจอมอนิเตอร์ที่เขียนขึ้นโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เคลไฟ 4 ( Delphi 4 ) การทำงานของออสซิลโลสโคปจะถูกควบคุมโดยผ่านหน้าจอโดยใช้เมาส์ ( Mouse ) หรือคีย์บอร์ด ( Keyboard ) รวมทั้งการแสดงผล

## LOW COST OSCILLOSCOPE

**By** MR.KOWIT TANGKAPHIPHOP  
MR.MAETEE PAKDEE  
**Advisor** ASST.PROF ATTASIT LASAKUL  
**Year** 1999

### Abstract

The one equipment that very important for experimental and circuit development is Oscilloscope. This equipment gives a capability of viewing and recognition the shape of signal in time domain. But the high performance of machine has, the expensive of machine are, furthermore some of function is not necessary for fundamental experiment. By this reason, the Low cost oscilloscope while still has the necessary function is required for fundamental experimental.

In this thesis the Low cost oscilloscope for fundamental experimental is presented . This kind of oscilloscope is a digital oscilloscope. It is used with personal computer, which means user can save/load data for processing at any time they want. The GUI (Graphic User Interface) system is designed in order to make this machine become easy-controller machine for user.

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ อรรถสิทธิ์ หล้าสกุล เป็นอย่างสูงที่กรุณาถ่ายทอดความรู้ และดูแลเอาใจใส่ในทุกเรื่อง ขอขอบคุณที่กรุณาให้คำปรึกษา และจัดหาอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้จนทำให้โครงการนี้เสร็จลุล่วงไปด้วยดี ขอขอบคุณรุ่นพี่วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ห้อง 3R/2 ที่ให้คำปรึกษา เป็นอย่างดีเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรม

ผู้จัดทำ.

นาย โกวิทย์ คังคะพิภพ

นาย เมธิ ภัคดี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

หน้า	
บทคัดย่อ	A
ABSTRACT	B
กิตติกรรมประกาศ	C
สารบัญ	D
สารบัญรูป	F
สารบัญตาราง	G
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	2
2.1 การทำงานของดิจิทัลออสซิลโลสโคป	2
2.2 ขอบเขตการวัด	4
2.3 การรุ่มตัวอย่างของออสซิลโลสโคป	8
2.4 ขั้นตอนหลังการรุ่มตัวอย่าง	11
2.5 การเก็บข้อมูลของออสซิลโลสโคป	12
2.6 การแปลงสัญญาณอนาลอกไปเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบแฟลช	12
2.7 การอินเตอร์เฟสกับคอมพิวเตอร์	14
บทที่ 3 รายละเอียดเกี่ยวกับโครงการออสซิลโลสโคปสำหรับงานทดลองพื้นฐาน	21
3.1 ภาคอินพุท	22
3.2 ส่วนควบคุมรีเลย์	23
3.3 ส่วนของสัญญาณนาฬิกา	24
3.4 ภาค A/D และส่วนอินเตอร์เฟส	24
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	
4.1 วัตถุประสงค์ของการทดลอง	27
4.2 ทฤษฎีพื้นฐาน	27
4.3 วิธีการทดลอง	27
4.4 ผลการทดลอง	28

**4.5 สรุปผลการทดลอง**

41

**บทที่ 5 สรุปวิจารณ์ผลการทดลอง**

42

**เอกสารอ้างอิง****ภาคผนวก**

- ก. วงจรของโครงการ
- ข. ราชทองแดง
- ค. คว่ำชีท (Data Sheet)
- ง. โปรแกรมที่ใช้งาน
- จ. การใช้งานโปรแกรม



## สารบัญรูปภาพ

เรื่อง	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงบล็อกลายวงจรของคิวิตอลสตอเรจอสซิด โดส โคป	3
รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะของการเกิดเอเลียส	5
รูปที่ 2.3 ทฤษฎีการสอดแทรก	7
รูปที่ 2.4 แสดงการสุ่มแบบเวลาจริง	9
รูปที่ 2.5 เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบต่างๆ	10
รูปที่ 2.6 แสดงการควอนไทซิ่ง โดยการใช้วงจร A/D CONVERTER	11
รูปที่ 2.7 วงจรพื้นฐานของ FLASH A/D	13
รูปที่ 2.8 ตำแหน่งขาต่อในเครื่อง IBM PC	15
รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกลายวงจรของโครงการงาน	21
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรภาคอินพุทของวงจร	22
รูปที่ 3.3 แสดงวงจรในส่วนควบคุมรีเลย์	23
รูปที่ 3.4 แสดงวงจรในส่วนของสัญญาณนาฬิกา	24
รูปที่ 3.5 วงจรในภาค A/D และ INTERFACE	25
รูปที่ 3.6 โฟลชาร์ทของโปรแกรม	26
รูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณไซน์ความถี่ 200 Hz จากการวัดจากคิวิตอลสตอเรจอสซิด โดส โคป และออสซิลโลสโคปสำหรับการทดลองพื้นฐาน	28
รูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 200 Hz จากการวัดจากคิวิตอล สตอเรจอสซิด โดส โคป และออสซิลโลสโคปสำหรับการทดลองพื้นฐาน	29
รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณฟันเลื่อยความถี่ 200 Hz จากการวัดจากคิวิตอลสตอเรจอสซิด โดส โคป และออสซิลโลสโคปสำหรับการทดลองพื้นฐาน	30
รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณไซน์ความถี่ 1000 Hz จากการวัดจากคิวิตอลสตอเรจอสซิด โดส โคป และออสซิลโลสโคปสำหรับการทดลองพื้นฐาน	31
รูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 1000 Hz จากการวัดจากคิวิตอล สตอเรจอสซิด โดส โคป และออสซิลโลสโคปสำหรับการทดลองพื้นฐาน	32
รูปที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณฟันเลื่อยความถี่ 1000 Hz จากการวัดจากคิวิตอลสตอเรจอสซิด โดส โคป และออสซิลโลสโคปสำหรับการทดลองพื้นฐาน	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณไซน์ความถี่ 20000 Hz จากการวัดจากคิจิตอลออสซิลโลสโคป และออสซิลโลสโคปสำหรับการทดลองพื้นฐาน	34
รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 20000 Hz จากการวัดจากคิจิตอลออสซิลโลสโคป และออสซิลโลสโคปสำหรับการทดลองพื้นฐาน	35
รูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณฟันเลื่อยความถี่ 20000 Hz จากการวัดจากคิจิตอลออสซิลโลสโคป และออสซิลโลสโคปสำหรับการทดลองพื้นฐาน	36
รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณไซน์ความถี่ 30000 Hz จากการวัดจากคิจิตอลออสซิลโลสโคป และออสซิลโลสโคปสำหรับการทดลองพื้นฐาน	37
รูปที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 30000 Hz จากการวัดจากคิจิตอลออสซิลโลสโคป และออสซิลโลสโคปสำหรับการทดลองพื้นฐาน	38
รูปที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณฟันเลื่อยความถี่ 30000 Hz จากการวัดจากคิจิตอลออสซิลโลสโคป และออสซิลโลสโคปสำหรับการทดลองพื้นฐาน	39

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แรงดันเอาต์พุตเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงแรงดันของอนาล็อก	13
ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าผิดพลาดจากการวัดด้วยฮอตชิต โดส โคป 2 ชนิด	40



## บทที่ 1

### บทนำ

ออสซิลโลสโคปเป็นเครื่องมือวัดที่มีความสำคัญระดับหนึ่งในการออกแบบ สร้างหรือการซ่อมแซมวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ออสซิลโลสโคปทำให้ผู้ใช้ทราบถึงรูปร่างลักษณะ ตลอดจนขนาดของสัญญาณไฟฟ้าที่ทำการวัด โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชาโครงการงาน 2 ที่ทำต่อเนื่องจากภาคการศึกษาที่ผ่านมา

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นผลจากการศึกษา เพื่อออกแบบสร้างออสซิลโลสโคปราคาถูกขึ้น ที่มีเป้าหมายให้แสดงลักษณะและขนาดของสัญญาณไฟฟ้า บนจอแสดงผลของคอมพิวเตอร์ได้ และมีฟังก์ชันที่จำเป็นสำหรับการทดลองขั้นพื้นฐานที่ง่ายต่อการใช้งาน และที่สำคัญคือมีราคาถูก

ในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เริ่มจากการรวบรวมรายละเอียดเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับออสซิลโลสโคป และการคำนวณบางช่วงพอสังเขป เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาเพิ่มเติมหรือออกแบบให้ได้ออสซิลโลสโคปที่มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

#### วัตถุประสงค์ของโครงการ

เนื่องด้วยปัจจุบันการเรียนทางด้านอิเล็กทรอนิกส์มีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องใช้ออสซิลโลสโคปเพื่อใช้สำหรับวัด และดูขนาด รูปร่างของสัญญาณแต่ด้วยข้อจำกัดทางด้านราคาทำให้ไม่สามารถซื้อมาใช้เป็นของตนเองได้ ทั้ง ๆ ที่มีฟังก์ชันที่ไม่จำเป็นหลายอย่างที่ไม่ต้องใช้หากเราสามารถฟังก์ชันเหล่านั้นลงได้โดยที่ประสิทธิภาพของออสซิลโลสโคปยังคงเดิมจะทำให้เราสามารถลดต้นทุนลงได้และสามารถเป็นเจ้าของออสซิลโลสโคปได้

ซึ่งในปัจจุบันนักศึกษาที่เรียนทางด้านวิศวกรรมเป็นผู้ที่มีความรู้ทางด้านนี้เป็นอย่างไรก็สามารถนำความรู้ที่มาช่วยวิเคราะห์ และสร้างออสซิลโลสโคปนี้ได้ซึ่งถ้าหากทำได้จะช่วยให้เราประหยัดเป็นอย่างมากซึ่งมีความสามารถพอสังเขปดังนี้

- มีขนาดเล็ก สามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก
- ใช้งาน ได้สะดวกมีเฉพาะฟังก์ชันที่จำเป็นเท่านั้น
- มีค่าที่สามารถวัดได้ค่าหนึ่งและสามารถพัฒนาได้
- ความเร็วขึ้นอยู่กับวงจรแปลงอนาลอกเป็นดิจิทัลที่ใช้
- จัดเก็บข้อมูลด้วยฟลอปปีดิสก์ ( Floppy Disk ) ได้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องและควรทราบ ไม่ว่าจะเป็นทฤษฎีเกี่ยวกับการทำงาน และ หลักการของดิจิตอลออสซิลโลสโคป การเชื่อมต่อและการคำนวณอัตราการเชื่อมต่อ ขอบเขตของการวัดและการคุมตัวอย่าง ณ ค่าเวลาแบบเวลาจริง

#### หลักการของดิจิตอลสทอเรจออกซิลโลสโคป

ดิจิตอลสทอเรจออกซิลโลสโคป (Digital Storage Oscilloscope) ได้รับการออกแบบให้มีขีดความสามารถในการตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ ซึ่งไม่สามารถทำได้ในออสซิลโลสโคปแบบเดิม ๆ ที่มีอยู่ อาทิเช่นการเก็บข้อมูลของสัญญาณที่วัดได้ เพื่อนำมาวิเคราะห์ในภายหลัง การวิเคราะห์รูปคลื่นอย่างละเอียดโดยการจุ่มรูปคลื่นส่วนที่ต้องการ การจัดสัญญาณที่เกิดขึ้นเพียงชั่วขณะหนึ่ง การทำปริทริกเกอร์ (Pretrigger) และการตรวจจับสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงทางความถี่อย่างรวดเร็วหรือช้าเกินไป ซึ่งไม่สามารถตรวจจับได้ด้วยอนาลอกสโคปแบบปกติ

จุดสำคัญของสโคปแบบนี้อยู่ที่วิธีการในการเก็บข้อมูล วิธีการเก็บข้อมูลและวิธีการทางดิจิตอลที่นำมาใช้โดยปกติแล้ว ข้อมูลที่ถูกเก็บเอาไว้สามารถนำไปใช้บันทึกลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ได้และยังสามารถต่อพ่วงพล็อตเตอร์ (Plotter) หรือพรินเตอร์ (Printer) ได้ด้วย

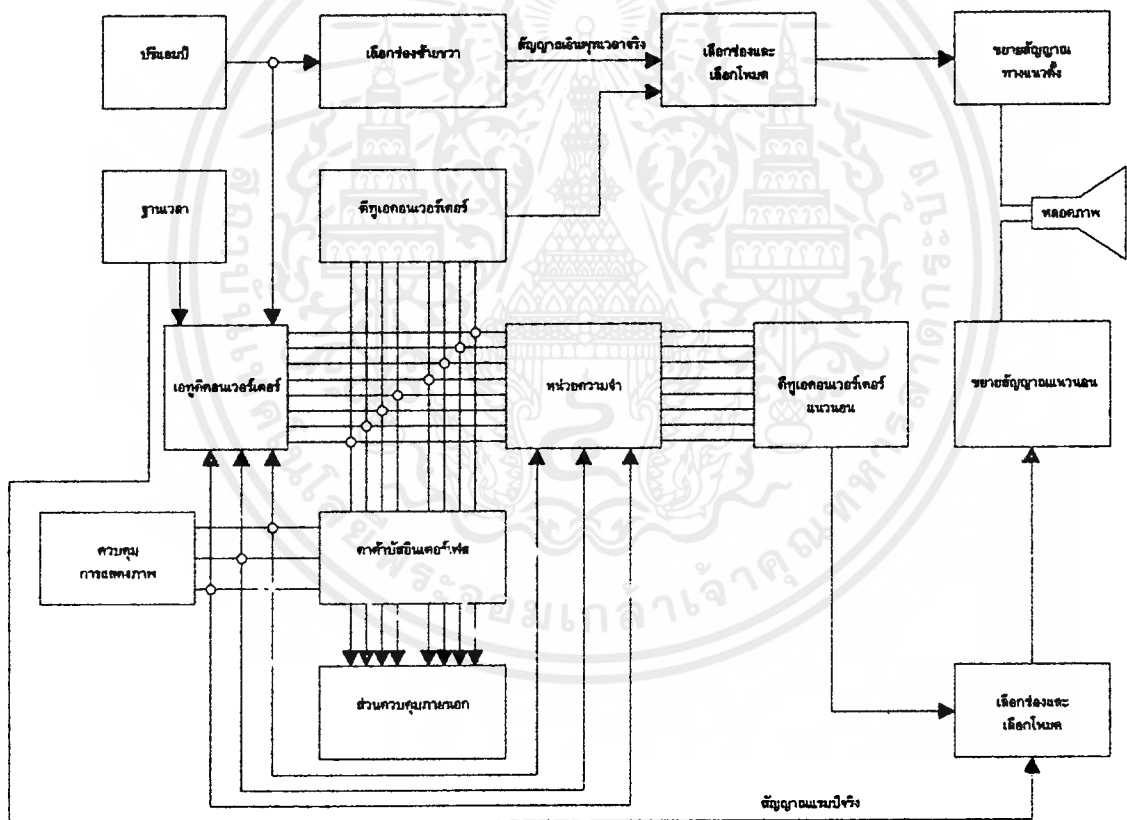
#### 2.1 การทำงานของดิจิตอลสทอเรจออกซิลโลสโคป

สัญญาณอนาลอกและดิจิตอลนั้นมีการนำมาเปรียบเทียบกันอยู่เสมอ ในเรื่องของออสซิลโลสโคปก็เช่นเดียวกันสทอเรจสโคปนั้นถูกประดิษฐ์คิดขึ้นมาทั้งแบบอนาลอกและดิจิตอลสำหรับอนาลอกสทอเรจสโคปนั้นมีวิธีการเก็บบันทึกรูปคลื่นแบบอนาลอก นั่นคือ การใช้หลอดสทอเรจ (Storage CRT) ซึ่งหลอดนี้มีความสามารถในการทำให้สัญญาณที่เกิดขึ้นเพียงชั่วขณะแสดงผลบนจอได้ 1 ชั่วโมงหรือมากกว่าโดยวิธีการควบคุมแรงไฟและอิเล็กตรอนภายในหลอด แต่การใช้หลอดดังกล่าว จะมีอายุการใช้งานเพียง 1,000 ชั่วโมงเท่านั้น ซึ่งหากนำไปใช้แสดงผลตามปกติก็จะใช้งานได้ยาวนานกว่า

ส่วน (DSO) ดิจิตอลสทอเรจสโคปนั้นจะมีวิธีการเก็บบันทึกข้อมูลด้วยระบบดิจิตอล ข้อมูลจะถูกบันทึกลงในหน่วยความจำแบบดิจิตอล ซึ่งเมื่อเทียบกับแบบอนาลอกแล้วแบบอนาลอกจะเก็บรูปคลื่นด้วยอุปกรณ์ แต่แบบดิจิตอลจะเก็บรูปคลื่นด้วยวงจร นี่คือนี่สิ่งที่ต่างกัน

สำหรับ DSO จะมีขบวนการในการทำงานอยู่ด้วยกัน 3 ช่วงใหญ่ๆ คือช่วงของการสุ่มตัวอย่างและการแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลช่วงของการเก็บข้อมูลและสุดท้ายคือช่วงของการแสดงผลค่าต่างๆ

เริ่มด้วยการสุ่มค่าตัวอย่างสัญญาณที่เข้ามาเพื่อให้ได้จำนวนของจุดบนสัญญาณเหล่านี้จากนั้นจะเป็นขั้นตอนการนำค่าที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างมาแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล ด้วยวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital Converter) ซึ่งหากเป็นวงจรที่ใช้สัญญาณดิจิทัล 8 บิต ก็จะได้ระดับของสัญญาณที่แปลงออกมา 2 บิต ก็จะได้ระดับของสัญญาณที่แปลงของสัญญาณที่แปลงออกมาก 2 หรือ 256 ระดับ



รูปที่ 2.1 แสดงบล็อกโคจรแกรมของดิจิทัลสโตเรจออกสซิโดสโคป

ขั้นตอนที่กล่าวมาจะถูกควบคุมความเร็วในการทำงานที่ผ่านมาด้วยฐานเวลา (Time base) เดียวกันซึ่งเป็นฐานเวลาระบบดิจิทัลที่มีความเที่ยงตรงสูงมาก และจะใช้เป็นเวลาอ้างอิงในการทำงานของวงจรซึ่งโดยปกติแล้วค่าฐานเวลาจะมีหน่วยเป็น MS/s หรือจำนวนจุดต่อวินาที ค่าที่เอกสแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลแล้วจะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการแสดงผลของดิจิทัลตอสตอเรจออกสิจิตโลสโคป จะอาศัยการทำงานแบบอนาลอก ดังนั้นในช่วงของการแสดงผลจึงต้องแปลงสัญญาณดิจิทัลไปเป็นสัญญาณอนาลอก ( Digital to Analog Converter ) เสียก่อน เพื่อให้ได้สัญญาณควบคุมอิเล็กทรอนิกส์ทางแนวตั้งและแนวนอน

## 2.2 ขอบเขตการวัด

ทุกสิ่งทุกอย่างย่อมมีขีดจำกัดในตัวของมันเอง เมื่อเรานำตังนั้นมาใช้งานเกินความสามารถของมัน ผลที่ได้ก็จะไม่ถูกต้องสมบูรณ์ ดิจิตอลสตอเรจออกสิจิตโลสโคปก็เช่นเดียวกัน เมื่อดิจิทัลสตอเรจออกสิจิตโลสโคปถูกสร้างมาด้วยขบวนการทางดิจิทัล ในอนาลอกสโคปหรือดิจิทัลออสซิลโลสโคปแบบทั่ว ๆ ไป จะเห็นว่าผู้ผลิตจะกำหนดขอบเขตการวัดเป็นค่าความถี่สูงสุดที่เครื่องสามารถทำการได้ เช่น 20MHz ,60MHz ,100Mhz ,150MHz เป็นต้น

สำหรับดิจิทัลออสซิลโลสโคปนั้น ขอบเขตการวัดนอกจากสามารถบอกเป็นค่าความถี่สูงสุดที่เครื่องสามารถทำการวัดได้แล้ว ยังต้องบอกค่าอัตราการสุ่มตัวอย่างข้อมูลควบคู่ไปด้วยโดยปรกติแล้วจะมีค่าเป็นล้านครั้งต่อวินาที

เริ่มด้วยค่าอัตราการสุ่มตัวอย่างข้อมูลจะชี้ให้เห็นถึงความละเอียดและคุณภาพที่ปรากฏบนจอ ซึ่งประกอบมาจากจุดที่ได้จากสุ่มตัวอย่างรูปคลื่นที่วัด ถ้าจำนวนจุดที่ได้มีจำนวนมากภาพที่ได้ก็จะมี ความถูกต้องสมบูรณ์มาก การสูญเสียจุดจากการสุ่มตัวอย่างไปเพียงเล็กน้อยในบางรูปคลื่นมากด้วย ส่วนความถี่ที่ที่บอกมานั้นก็ยังคงเป็นขอบเขตการวัดความถี่สูงสุดของดิจิทัลออสซิลโลสโคป ในลักษณะเดียวกันกับอนาลอกสโคป

ถ้าหากเราต้องการจะรู้ว่ารูปคลื่นที่ปรากฏจอ นั้นมีความละเอียดแค่ไหน ก็สามารถทำได้ด้วยการคำนวณแบบง่าย ๆ ตามสูตรที่ว่า

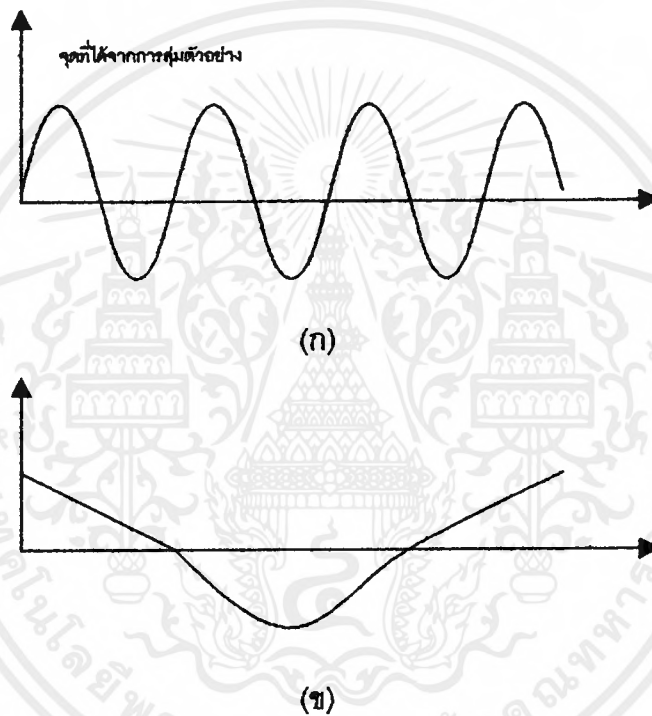
$$\text{จำนวนจุดต่อหนึ่งรูปคลื่น} = \frac{\text{อัตราการสุ่มตัวอย่างของดิจิทัลสตอเรจออกสิจิตโลสโคป}}{\text{ค่าความถี่ที่ทำการวัด}}$$

ตัวอย่างเช่น ดิจิตอลสตอเรจออกสิจิตโลสโคปมีอัตราการสุ่มตัวอย่าง 50 MS/s ใช้วัดสัญญาณที่มีความถี่ 500 kHz ดังนั้นจะได้ว่า

$$\text{จำนวนจุดต่อหนึ่งรูปคลื่น} = \frac{50MS / s}{500kHz} = 100$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าภาพที่แสดงบนจอในหนึ่งรูปคลื่นจะเกิดจากการเรียงกันของจุดจำนวน 100 จุด แต่ถ้าหากความถี่ที่ใช้วัดคลื่นเป็น 10 MHz ที่อัตราการสุ่มตัวอย่างเดิม ความละเอียดของภาพจะมีเพียง 5 จุดเท่านั้นในหนึ่งรูปคลื่น ซึ่งจากทั้ง 2 กรณี ทำให้สรุปได้ว่า เมื่อนำมาวัดค่าสัญญาณที่มีความถี่ต่ำ ๆ จะทำให้ความละเอียดของภาพสูง แต่เมื่อนำมาวัดที่ความถี่สูงๆ แล้วจะให้ภาพที่มีความละเอียดชัดเจนน้อยลง



รูปที่ 2.2 แสดงลักษณะการเกิดเอเลียส

- (ก) สัญญาณอินพุทเมื่อมีการสุ่มตัวอย่างต่ำเกินไป
- (ข) เมื่อแสดงผลเกิดเป็นสัญญาณเอเลียส

ปัญหาอีกอย่างหนึ่งซึ่งเกิดขึ้นกับดิจิทัลออสซิลโลสโคป คือ การที่สัญญาณที่จะทำการวัดมีความถี่สูงมากๆ เมื่อมีการสุ่มตัวอย่างสัญญาณดังกล่าว แล้วนำมาสร้างให้ปรากฏบนจออีกครั้ง ผลที่ได้บนจอจะเป็นภาพที่ต่างไปจากสัญญาณที่วัดจริง เรียกว่า สัญญาณเอเลียส (Alias Signal) ที่เกิดจากอัตราการสุ่มต่ำกว่าความถี่สัญญาณที่วัด โดยดูจาก ตัวอย่างในรูปที่ 2.2 ในการใช้งานควรจะพยายามหลีกเลี่ยงอย่าให้เกิดสัญญาณเอเลียสขึ้น เพราะว่าสัญญาณเอเลียสเป็นรูปคลื่นที่มีความถี่ต่างไปจากคลื่นจริงมาก ซึ่งไม่สามารถนำไปวิเคราะห์ได้

การทำให้รูปคลื่นที่ปรากฏขึ้นบนจอมีความสมบูรณ์ถูกต้องนั้น จำนวนจุดที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างต้องมากกว่า 2 เท่าของความถี่ที่วัดนั้นใน 1 รูปคลื่น และเมื่อทำการตรวจวัดขอบขาขึ้นและขอบขาดของพัลส์จะต้องได้จำนวนครั้งที่ทำการสุ่มตัวอย่างมากกว่า 10 ครั้งต่อ 1 รูปคลื่น นอกจากการสุ่มตัวอย่างที่ต้องการความเร็วในการทำงานพอสมควรแล้วยังต้องพิจารณาอีกด้วยว่าวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล (ADC – Analog to Digital Converter) นั้น สามารถทำงานได้ด้วยความเร็วขนาดไหนซึ่งเราจะพิจารณากันในหัวข้อต่อไป

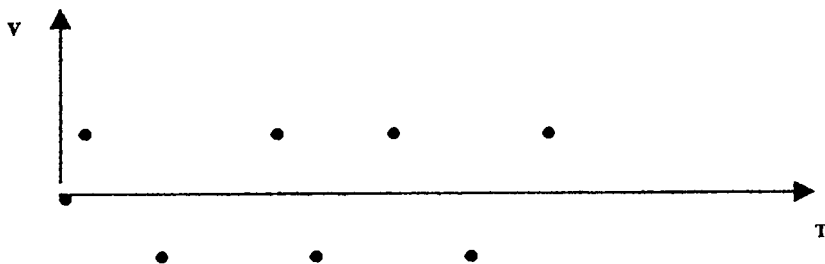
สิ่งที่จะทำให้เรารู้ถึงการวัดของดิจิทัลสโตเรจอสซิดิลอสโคป อีกอย่างหนึ่งก็คือค่าความถี่สูงสุดของสัญญาณที่ดิจิทัลสโตเรจอสซิดิลอสโคป สามารถทำการเก็บข้อมูลได้ ซึ่งเราเรียกว่าค่า USB ( Useful Storage Bandwidth ) USB นี้จะมีค่าเป็นเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับความสามารถในการสุ่มตัวอย่างของดิจิทัลสโตเรจอสซิดิลอสโคปด้วย ซึ่งค่า USB สามารถหาได้จากสูตร

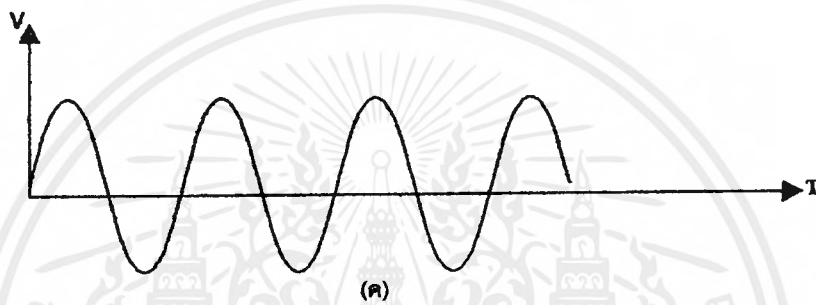
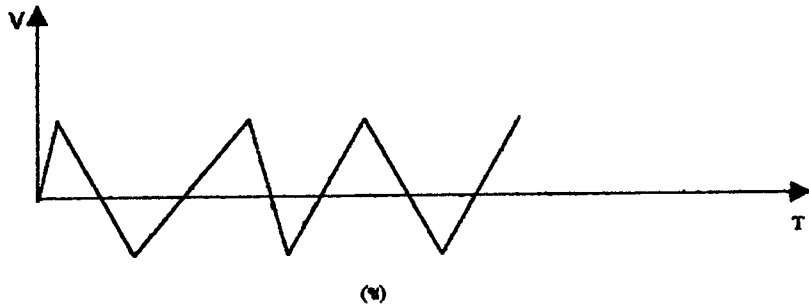
$$USB = \frac{\text{อัตราการสุ่มตัวอย่างสูงสุด}}{25}$$

25

ตัวเลข 25 เป็นจำนวนจุดที่ใช้ในการสร้างภาพบนจอใน 1 รูปคลื่น ซึ่งเป็นค่าที่ใช้โดยทั่วไป

เนื่องจากดิจิทัลสโตเรจอสซิดิลอสโคป ไม่สามารถแสดงรายละเอียดของสัญญาณที่มีความถี่สูงกว่าขีดจำกัดได้มากพอสมควร ดังนั้นจึงไม่มีการคิดค้นวิธีการเพิ่มรายละเอียดของสัญญาณ โดยการสร้างสัญญาณสุ่มตัวอย่างแบบปรกติ ผลที่ได้คือ จะมีจุดเสริมเข้าไปในรูปคลื่นเดิม ภาพที่ได้จะมีความต่อเนื่องสม่ามมากขึ้นและเรียกวธีนี้ว่า “ ทฤษฎีการสอดแทรก “ ( Interpolation methods ) ซึ่งแสดงตัวอย่างการสอดแทรกของสัญญาณดังรูปที่ 2.3





### รูปที่ 2.3 ทฤษฎีการสอดแทรก

- (ก) การแสดงผลแบบจุด
- (ข) การสอดแทรกด้วยวิธีเวกเตอร์
- (ค) การสอดแทรกแบบซายน์

ในรูปที่ 2.3 (ก) จะเป็นการแสดงให้เห็นถึงการสร้างภาพให้ปรากฏบนจอโดยการเรียงจุดที่ได้จากการสุ่มตัวอย่าง

ในรูปที่ 2.3 (ข) จะเป็นการลากเส้นเชื่อมต่อกันระหว่างจุดที่ได้มา ทำให้ได้ภาพที่เป็นเส้นตรงที่เชื่อมต่อกัน 10 เส้นต่อรูปคลื่นซึ่งวิธีการนี้เรียกว่า การสอดแทรกแบบลิเนียร์ (Linear Interpolation) หรือ การแสดงผลแบบเวกเตอร์ (Vector Display) ดังนั้น เมื่อการแสดงผลของรูปคลื่นซายน์ค่า USB จะเป็น

$$USB = \frac{\text{อัตราการสุ่มตัวอย่างสูงสุด}}{10}$$

ในรูปที่ 2.3 (ค) เป็นการสอดแทรกโดยการนำเอาฟังก์ชันซายน์มาคำนวณลากเส้นเชื่อมต่อระหว่างจุด ( sine interpolate ) ซึ่งวิธีการนี้จะใช้จุดเพียง 2.5 จุดต่อรูปคลื่นเท่านั้น ในการแสดงผลดังนั้นค่า USB จะเป็น

$$USB = \frac{\text{อัตราการสุ่มตัวอย่างสูงสุด}}{2.5}$$

ซึ่งทำให้ค่า USB มีค่ามากกว่านั้นเท่ากับว่าขอบเขตของดิจิตอลสแอมเปอเรจออกซิดัลโคปก็ถูกขยายมากไปด้วย

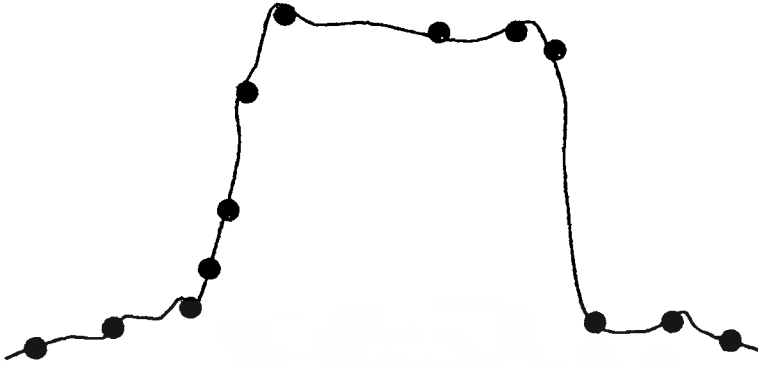
## 2.3 การสุ่มตัวอย่างของออกซิดัลโคป

ดิจิตอลออกซิดัลโคปใช้วิธีการสุ่มตัวอย่าง 2 แบบคือ

### 2.3.1 การสุ่มตัวอย่างแบบเวลาจริง (Real Time Sampling)

จะเกิดการสุ่มตัวอย่างขึ้นทันทีที่มีการจับสัญญาณอินพุตได้ โดยผลที่ได้จะมาจากรูปคลื่นจริงๆ และจะมีความเหมือนกับรูปคลื่นจริงมาก ส่วนมากจะใช้กับสัญญาณที่เกิดขึ้นเพียงชั่วขณะหรือใช้ในการสุ่มตัวอย่างบางส่วนของสัญญาณที่ต้องการนำมาวิเคราะห์เป็นพิเศษ ดังนั้นความเร็วของการสุ่มตัวอย่างแบบนี้จึงต้องมีสูงพอที่จะทำงานในลักษณะดังกล่าวได้ การสุ่มตัวอย่างแบบนี้จะทำงานแบบผ่านครั้งเดียวคือ จะมีการสุ่มตัวอย่างจุดเดียวในการสุ่มตัวอย่างแต่ละครั้ง จึงสามารถนำไปตรวจจับสัญญาณที่เกิดขึ้นเพียงชั่วขณะเช่น แรงไฟกระชาก สัญญาณควบคุมเครื่องกล สัญญาณในลักษณะทางชีววิทยา ฯลฯ ซึ่งจะปรากฏให้เห็นได้ในระยะเวลาที่สั้นมาก การจะใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างจึงต้องใช้แบบที่เมื่อเริ่มสุ่มและสิ้นสุดการสุ่มต้องได้รูปสัญญาณที่เกิดขึ้นรูปที่ 2.5 (ก) จะเห็นการสุ่มตัวอย่างแบบเวลาจริงที่ใช้ในการวัดรูปคลื่นพัลส์หนึ่งลูก

การสุ่มตัวอย่าง ณ เวลาจริงพื้นฐานสัญญาณอินพุตจะถูกสุ่มตัวอย่างและแปลงเชิงตัวเลขระหว่างไซเคิลแรกดังแสดงในรูปที่ 2.4 ตัวเลขที่ผ่านไปจะแสดงในวงกลมเล็ก เทคนิคนี้จะใช้อัตราการสุ่มตัวอย่างที่สูงกว่า 10 เท่าของความถี่สูงสุดของสัญญาณอินพุต



รูปที่ 2.4 แสดงการสุ่มแบบเวลาจริง

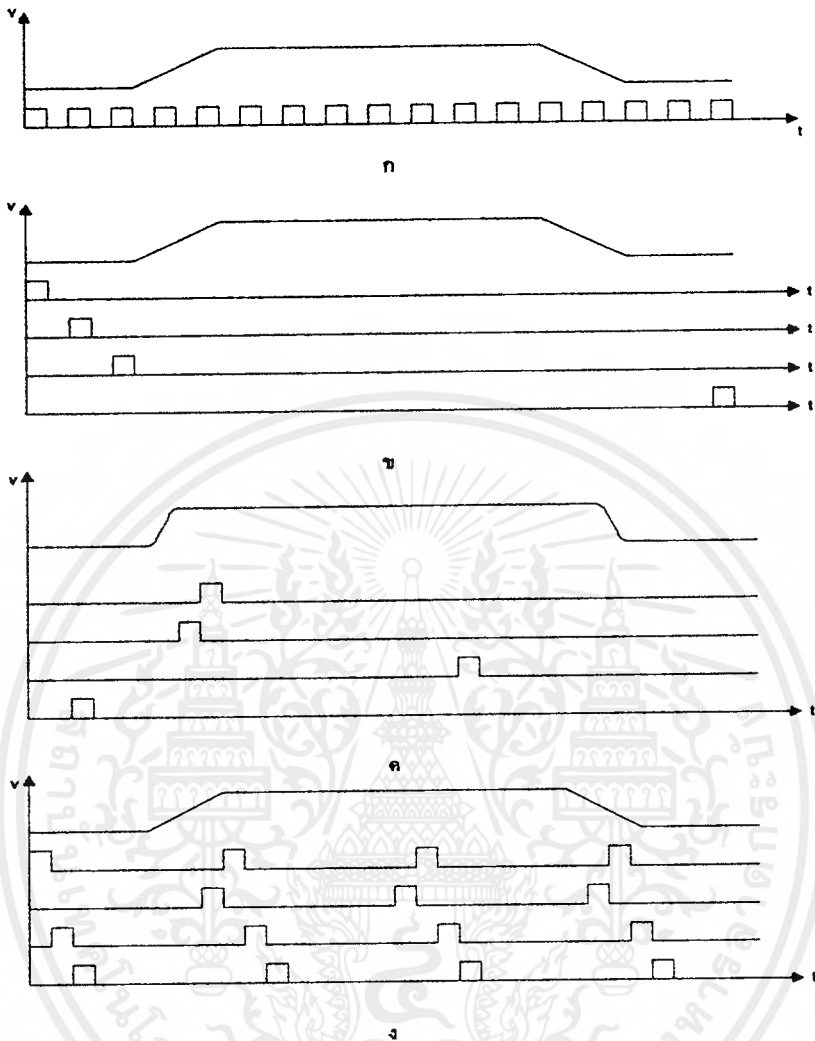
### 2.3.2 การสุ่มตัวอย่างแบบเวลาเสมือน (Equivalent Time)

การสุ่มตัวอย่างแบบนี้โดยมากจะใช้กับสัญญาณที่เกิดขึ้นซ้ำๆ กัน การสุ่มตัวอย่างแบบเวลาเสมือนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดย่อยๆ คือ การสุ่มชนิดลำดับ ( Sequential Sampling ) และการสุ่มชนิดไม่เป็นลำดับ ( Random Sampling )

ในการสุ่มตัวอย่างชนิดลำดับจะเป็นดังรูปที่ 2.5 (ข) ซึ่งการสุ่มตัวอย่างชนิดนี้ในการทำงานหนึ่งครั้งหรือหนึ่งไซเคิลจะต้องได้จุดบนรูปคลื่น 1 จุดแล้วนำไปเก็บไว้ในหน่วยความจำจนกระทั่งหน่วยความจำเต็ม เมื่อนำไปแสดงผลจะเป็นไปตามรูปที่ 2.4 ส่วนการสุ่มตัวอย่างแบบเวลาเสมือนชนิดไม่เป็นลำดับนั้นจะเป็นตามรูปที่ 2.5 (ค) ซึ่งการสุ่มตัวอย่างแบบนี้จะใช้เมื่อมีการทำปริทริกเกอร์ ( Pre Trigger ) เพื่อดูรูปคลื่นที่อยู่หลังจุดทริก ซึ่งการสุ่มตัวอย่างแบบเป็นลำดับจะไม่สามารถทำได้

ในการทำงานหนึ่งไซเคิลจะได้จุดบนรูปคลื่น 1 จุดเช่นกัน แต่จะบันทึกตรงส่วนใดของรูปคลื่นก็ได้ โดยจะทำไปเรื่อยๆ จนหน่วยความจำเต็ม

ในรูปที่ 2.5 (ง) เป็นการสุ่มตัวอย่างแบบไม่เป็นลำดับเช่นกัน แต่จะต่างกันตรงที่ในการทำงานหนึ่งไซเคิลนั้นจะได้หลายจุดบนรูปคลื่น และในการทำงานครั้งต่อไปก็จะได้จุดหลายจุดแต่จะเป็นจุดที่ไม่ซ้ำจุดเดิม ( จุดใดก็ได้ ) การสุ่มตัวอย่างในแบบนี้จะนำไปใช้ประโยชน์เมื่อมีการวิเคราะห์รูปคลื่น โดยการนำเอาข้อมูลที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างแบบนี้มาเปรียบเทียบกับรูปคลื่นแบบอื่นๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการวิเคราะห์รูปคลื่นในการทริกในลักษณะต่างๆ กัน



รูปที่ 2.5 เทคนิคการสุ่มตัวอย่างแบบต่างๆ

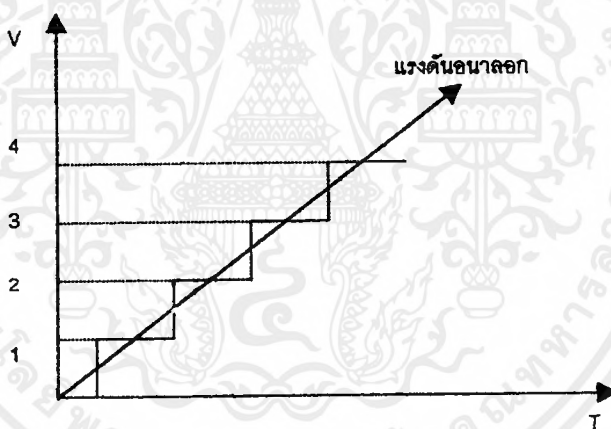
สำหรับดิจิตอลสตอเรจของซิลิโคน ที่มีการใช้การแสดงผลแบบอนาล็อก ซึ่งระบุความสามารถในการวัดได้ 100 MHz ความหมายของ 100 MHz นี้ก็คือความสามารถในการวัดสัญญาณความถี่ 100 MHz แล้วดิจิตอลสตอเรจของซิลิโคนจะแสดงผลในแบบอนาล็อกได้ทันที 100 MHz เฉพาะสำหรับสัญญาณที่เกิดขึ้นซ้ำๆ กัน แต่หากเป็นสัญญาณชั่วขณะเกิดขึ้นแล้วใช้การสุ่มตัวอย่างแบบเวลาจริง แล้วดิจิตอลสตอเรจของซิลิโคนนี้จะสามารถวัดสัญญาณชั่วขณะได้เพียง 10 MHz เท่านั้น

เมื่อคิดเทียบเป็นอัตราส่วนระหว่างการทำงานกับสัญญาณปกติและการทำงานกับสัญญาณชั่วขณะของดิจิตอลสตอเรจของซิลิโคน ก็จะได้เป็น 10:1 และสามารถเพิ่มเป็น 5:1 หรือ 2.5:1 ได้ ซึ่งหมายถึงดิจิตอลสตอเรจของซิลิโคนจะต้องมีการใช้วิธีการสอดแทรก

อย่างมากเลยทีเดียว สาเหตุที่เกิดกรณีดังกล่าวขึ้นนั้นมากจากการที่ความสามารถในการสุ่มตัวอย่าง ถูกกำหนดด้วยสัญญาณนาฬิกาภายใน แต่สัญญาณที่เข้ามาวัดจะเป็นการทำงานแสดงผลแบบอนาล็อก ซึ่งขอบเขตของความถี่จะกว้างมาก นี่เป็นการนำข้อดีของอนาล็อกมาใช้

#### 2.4 ขั้นตอนหลังการสุ่มตัวอย่าง

เมื่อทำการสุ่มตัวอย่างแล้ว ค่าที่ได้จะไม่ทำการแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลในทันทีเนื่องจากค่าที่ได้มาจากการสุ่มตัวอย่างนั้นเป็นค่าที่มีระดับความแตกต่างกันเป็นอย่างมาก ซึ่งในทางปฏิบัติ เราไม่สามารถที่จะแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลได้มากมายขนาดนั้น จึงต้องแบ่งค่าที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างออกเป็นกลุ่มๆ เราเรียกว่า การควอนไทซ์ (Quantizing) ซึ่งการควอนไทซ์นี้จะเป็นการนำค่ามาจากการสุ่มตัวอย่างที่มีค่าใกล้เคียงกันมากอยู่ในกลุ่มเดียวกัน ต่อจากนั้นจะนำค่าตัวเลขมาใช้แทนกลุ่มสัญญาณดังกล่าว



รูปที่ 2.6 แสดงการควอนไทซ์ โดยการใช้วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลคอนเวอร์เตอร์เปลี่ยนแรงดันอนาล็อกเป็นเลขฐานสองที่ระดับต่างๆ

การแบ่งกลุ่มสัญญาณจะมีลักษณะเป็นขั้นบันได ตามรูปที่ 2.6 โดยให้มีการเปลี่ยนแปลงของค่าที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างอยู่ระหว่าง 0-4 โวลต์ และจัดเป็นกลุ่มได้ 4 กลุ่ม คือ ช่วงระดับ 0-1, 1-2, 2-3 และ 3-4 โดยให้สัญญาณที่อยู่ในระดับ 0-1 มีค่า 0.5 แทนกลุ่มนี้ และ 1.5 แทนกลุ่ม 1-2 ระดับ 2.5 แทนกลุ่ม 2-3 และระดับ 3.5 แทนกลุ่ม 3-4 ค่า 0.5 1.5 2.5 และ 3.5 จะนำไปใช้ใน ADC อีกครั้งเพื่อทำเป็นสัญญาณดิจิทัล

เนื่องจากวิธีการควอนไตซ์ดังกล่าวมีโอกาสจะเกิดค่าคลาดเคลื่อนได้ อันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนที่เข้ามาในระบบทำให้ค่าที่ได้ในการจัดกลุ่มผิดไปจากความเป็นจริงได้ และเนื่องจากการควอนไตซ์ซึ่งนั้นประกอบจากวงจรดิจิทัลอิเล็กทรอนิกส์ ดังนั้นจึงเกิดความไม่แน่นอนของผลที่ได้อยู่บ้าง โดยความไม่แน่นอนเหล่านี้จะแสดงค่า บวก ลบ ของบิตสุดท้าย

เมื่อผ่าน ADC แล้ว นอกจากบิตสุดท้ายจะเป็นค่าของความไม่แน่นอนแล้ว บิตอื่นๆ ก็ยังเป็นค่าผิดพลาดที่เกิดจากสัญญาณรบกวนได้ด้วยเหมือนกันแค่สัญญาณดิจิทัลที่ได้ส่วนใหญ่ก็ยังคงมีความเที่ยงตรงอยู่มาก

## 2.5 การเก็บข้อมูลของออสซิลโลสโคป

ความสามารถของออสซิลโลสโคปที่สำคัญมากอย่างหนึ่งคือ ความสามารถในการเก็บข้อมูล ซึ่งสำหรับออสซิลโลสโคปแล้วหน่วยความจำที่สามารถรองรับข้อมูลได้ก็มีมากมาย เช่นเดียวกับคอมพิวเตอร์ทั้งหลาย ดังนั้นจึงเป็นที่แน่นอนว่าหน่วยความจำที่ใช้มีทั้ง RAM (Random Access Memory) และ ROM (Read Only Memory)

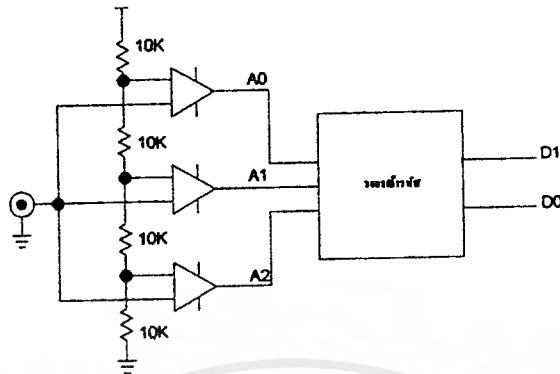
สำหรับ RAM สามารถเก็บข้อมูลที่เป็นปัจจุบันได้อยู่ตลอดเวลา ในขณะที่ ROM นั้นจะเป็นหน่วยความจำถาวร

ในการเก็บข้อมูลแบบ RAM นั้นปรกติจะมีทั้งแบบ CMOS, NMOS ซึ่งแบบต่างๆ เหล่านี้เป็นหน่วยความจำ RAM ซึ่งอยู่ภายในออสซิลโลสโคป และมีขนาดของหน่วยความจำที่จำกัดสำหรับขนาดของหน่วยความจำที่มีใช้ภายในออสซิลโลสโคป จะอยู่ในช่วง 4k ถึง 32k

หน่วยความจำแบบ RAM มีความเร็วกว่าแบบสนามแม่เหล็กด้วยเวลาเข้าถึงข้อมูล 100 นาโนวินาที หรือน้อยกว่านั้น RAM ประกอบด้วยบล็อกรหัสของฟังก์ชัน 2 คล็อก ได้แก่ พื้นที่ในเรลต์ความจำและวงจรติดต่อกับภายนอก (Peripheral interface circuitry)

## 2.6 การแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นดิจิทัลแบบแฟลช (FLASH A/D)

หลักการแบบง่ายที่สุดของการแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัลแบบขนาน แสดงด้วยรูปโดยใช้ตัวเปรียบเทียบ 3 ตัวต่อในลักษณะ “ขนานกัน” มีตัวต้านทานต่อแบ่งแรงดันอ้างอิงไว้กำหนดค่าแรงดันต่ำสุดที่ตัวเปรียบเทียบทั้ง 3 ตัว และยังสามารถทำงานได้แรงดันอ้างอิง ซึ่งอาจจะมีค่าเท่ากับแรงดันสูงสุดของสัญญาณอินพุตที่เป็นอนาล็อกก็ได้



รูปที่ 2.7 วงจรพื้นฐานของ FLASH A/D

อนาลอกอินพุท (โวลต์)	ตัวเปรียบเทียบ			เอาต์พุท	
	A0	A1	A2	D0	D1
0-1	0	0	0	0	0
1-2	1	0	0	0	1
2-3	1	1	0	1	0
3-4	1	1	1	1	1

ตารางที่ 2.1 ค่าของเอาต์พุทเปลี่ยนแปลงไปตามช่วงแรงดันของอนาลอก

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่า ตัวเปรียบเทียบแต่ละตัวจะให้เอาต์พุทเป็น 1 ก็ต่อเมื่อแรงดันอินพุทมีค่าสูงกว่าแรงดันอ้างอิงของตัวมันเปรียบเทียบแต่ละตัว ซึ่งมีค่าแตกต่างกันและถ้าสมมุติให้แรงดันมีค่าอยู่ในช่วง 3 - 4 โวลต์ จะทำให้ตัวเปรียบเทียบทั้ง 3 ตัวให้เอาต์พุทเป็น 1 หมด เอาต์พุทจากตัวเปรียบเทียบทั้งหมดจะส่งไปที่วงจรเข้ารหัส เพื่อทำให้เป็นสัญญาณดิจิทัลในระบบฐานสองต่อไป

รูปวงจรที่ 2.6 จะตอบสนองต่อแรงดันอินพุท (อนาลอก) 4 ระดับด้วยกัน และแต่ละระดับมีความแตกต่างกัน 1 โวลต์ ดังนั้นความละเอียดของวงจรนี้มีขนาด 2 บิต เราสามารถหาความละเอียดของวงจรได้จากจำนวนตัวเปรียบเทียบคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \text{จำนวนเปรียบเทียบ} &= 2^{n-1} \\ \text{เมื่อ } n &= \text{ความละเอียด} \end{aligned}$$

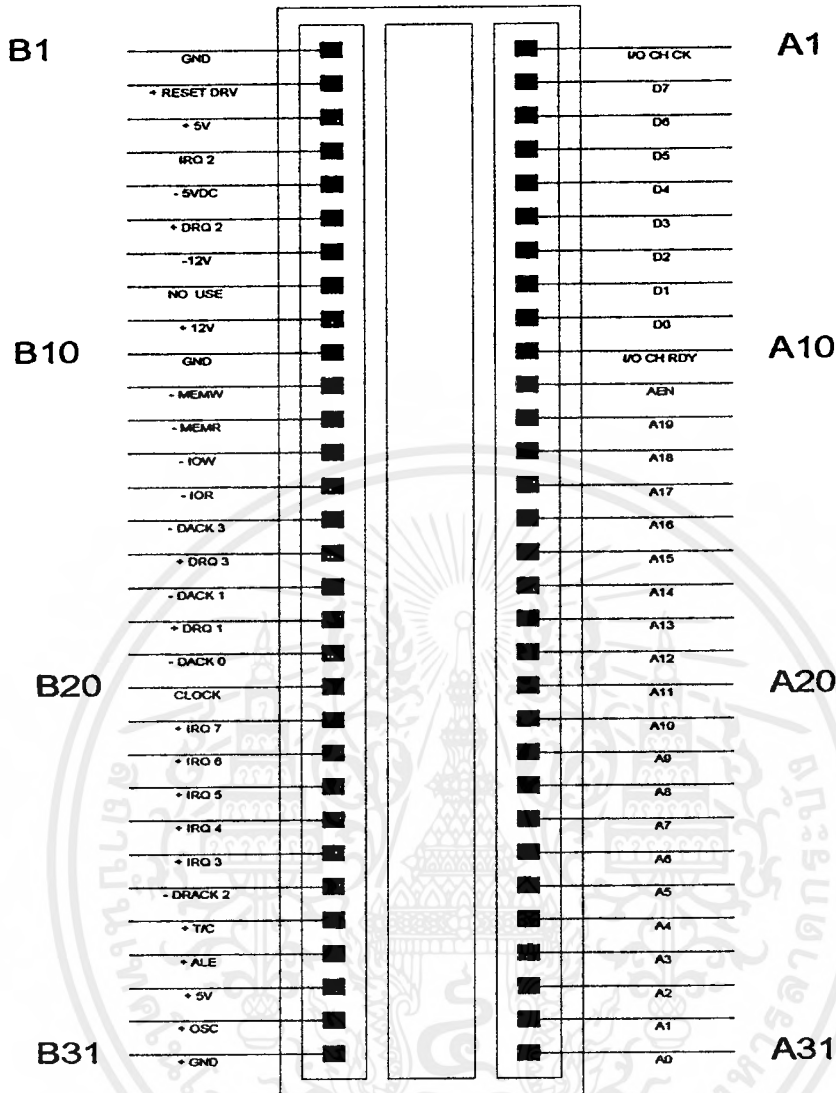
ถ้าต้องการความละเอียดขนาด 8 บิต จะต้องใช้ตัวเปรียบเทียบถึง 255 ตัว (แทนค่า  $n = 8$ ) จากลักษณะการต่อตัวเปรียบเทียบให้ขนานกัน เพื่อให้ระดับอินพุตไปพร้อมกัน เราจึงเรียกวงจรนี้ว่าแปลงสัญญาณอนาลอกไปเป็นดิจิทัลแบบขนาน (Parallel A/D Converter) เนื่องจากมันสามารถตอบสนองต่อสัญญาณอินพุตที่เป็นแบบอนาลอก และแปลงอนาลอกให้เป็นดิจิทัลด้วยความเร็วสูง เราจึงเรียกได้อีกอย่างหนึ่งว่า วงจรแปลงสัญญาณอนาลอกไปเป็นสัญญาณ (ดิจิทัลแบบแฟลช (Flash A/D Converter))

## 2.7 การอินเตอร์เฟสกับคอมพิวเตอร์ IBM PC/AT

### 2.7.1 สัญญาณต่างๆ บนสล็อตของ IBM PC

ภายใน IBM PC ได้มีการออกแบบให้สามารถมีการเพิ่มเติมวงจรรีเฟสเข้าไปในภายหลังได้ โดยผ่านทางสล็อตที่อยู่บนเมนบอร์ด (Main Board) แต่สล็อตจะมีจำนวนขาทั้งสิ้น 62 ขา (ISA BUS) แบ่งออกเป็น 2 ข้าง ๆ ละ 31 ขา ส่วนการเรียกตำแหน่งขาของสล็อตเหล่านี้ จะขึ้นอยู่กับว่าขานั้นอยู่ข้างใด (ซ้ายหรือขวา) ของสล็อต โดยขาที่อยู่ทางด้านซ้ายของสล็อต จะเรียกโดยใช้อักษร "B" นำหน้าตำแหน่งขา เช่น ขา B16 ก็คือขาทางด้านซ้ายของสล็อตขาที่ 16 (นับจากทางด้านซ้ายของเครื่อง) ส่วนขาที่อยู่ทางด้านซ้ายของสล็อตขาที่ 24 (นับจากทางด้านซ้ายของเครื่องเช่นกัน)

แต่ละขาของสล็อตเหล่านี้จะเชื่อมต่อกับเส้นต่าง ๆ บนเมนบอร์ด ทำให้การสร้างวงจรรีเฟสกับ IBM PC สามารถทำได้โดยสะดวก ซึ่งเส้นสัญญาณที่เชื่อมต่อกับขาของสล็อตเหล่านี้ จะประกอบไปด้วย เส้นสัญญาณของบัสแอดเดรส (Address Bus) บัสของข้อมูล (Data Bus) บัสควบคุมการเขียน/การอ่านข้อมูลหรือพอร์ต I/O เส้นสัญญาณสำหรับการขออินเทอร์รัพท์ของ วงจรรีเฟส เส้นสัญญาณสำหรับการขอ DMA สัญญาณฐานเวลา (Timing Signal) ต่าง ๆ ที่ใช้ในระบบ เส้นสัญญาณแสดงการรีเฟรชหน่วยความจำและสัญญาณสำหรับตรวจสอบความผิดพลาด (I/O CHK)



การนับขาของสล็อตแบบ 62 ขา ด้านหลังเครื่อง

### รูปที่ 2.8 ตำแหน่งขาสล็อตในเครื่อง IBM PC

นอกจากเส้นสัญญาณเหล่านี้แล้ว สล็อตบนเมนบอร์ดยังเชื่อมต่อกับแหล่งจ่ายไฟต่าง ๆ ที่ใช้ในระบบอีกด้วย คือ + 5Vdc , - 5Vdc , +12Vdc และ -12Vdc แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับสัญญาณต่าง ๆ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### A0 – A19 (Address Bus : ขา A31 - A12)

ขาสัญญาณทั้ง 20 ขานี้เป็นเอาร์ทพุท ซึ่งใช้สำหรับกำหนดแอดเดรสของหน่วยความจำหรืออุปกรณ์ I/O ที่ ซีพียูต้องการติดต่อด้วย โดยที่สัญญาณ A0 จะมีนัยสำคัญต่ำสุด (Least Significant Bit) สำหรับค่าแอดเดรสบนบัสแอดเดรส A0 – A19 นี้จะถูกกำหนดโดยซีพียู ในระหว่างขบวนการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำหรืออุปกรณ์ I/O แต่ในช่วงขบวนการ DMA นั้น DMA Controller จะเป็นผู้กำหนดค่าแอดเดรสเอง ( ในระหว่างนี้ซีพียูจะถูกตัดออกจากระบบ )

จะเห็นว่าจำนวนเส้นแอดเดรสจะมีอยู่ 20 เส้น ซึ่งสามารถที่จะอ้างแอดเดรสของหน่วยความจำได้ถึง 1 Mbytes แต่อย่างไรก็ตามจะมีแอดเดรสบางแอดเดรสที่ถูกใช้งานโดย IBM PC อยู่ก่อนแล้ว แอดเดรสของหน่วยความจำ RAM บนเมนบอร์ดที่ใช้งานระบบจำนวน 64 Kbytes ( สำหรับ IBM PC/XT จะเป็นจำนวน 256 Kbytes) แต่ละแอดเดรสสำหรับหน่วยความจำ ROM อีก 48 Kbytes ซึ่งถูกจัดในช่วงแอดเดรสบนสุดใน 1 Mbytes คือ 0FC00H จนถึง 0FFFFH ( สำหรับ IBM PC/XT จะเป็น 64 Kbytes)

สำหรับการอ้างแอดเดรสพอร์ต I/O นั้น จะใช้แอดเดรสเพียง 16 เส้น คือ A0 – A15 ซึ่งจะทำให้อ้างแอดเดรสพอร์ตได้ 64 K โดยผ่านทางชุดคำสั่ง IN และ OUT ส่วนเส้นแอดเดรสที่เหลือคือ A16 – A19 นั้นจะไม่ถูกใช้งาน อย่างไรก็ตามใน IBM PC จะใช้แอดเดรสในการอ้างแอดเดรสของพอร์ตเพียง 10 เส้น คือจาก A0 – A9 และค่าแอดเดรสที่ใช้งานจะอยู่ในช่วง 0200H จนถึง 03FFH เท่านั้น

### D0 – D7 (Data Bus : ขา A9 – A2)

ขาสัญญาณนี้จะเป็นแบบ Bi – Directional ซึ่งต่อกับบัสข้อมูลของระบบ เพื่อทำหน้าที่ในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างพอร์ต I/O กับ IBM PC โดยบิต D0 จะมีนัยสำคัญต่ำสุดและบิต D7 จะมีนัยสำคัญสูงสุด

สำหรับในบัสไซเคิลของการเขียนข้อมูลที่สร้างขึ้นโดยซีพียูนั้น ข้อมูลจะถูกส่งออกมาบนบัสข้อมูล ก่อนที่สัญญาณ IOW ( ในกรณีที่ต้องการส่งข้อมูลให้กับพอร์ต ) หรือ MEMW ( ในกรณีที่ต้องการส่งข้อมูลให้กับหน่วยความจำ ) จะเปลี่ยนจากลอจิก “0” ไปเป็น “1” ( ขอบขาขึ้น ) ซึ่งโดยทั่วไปขอบขาขึ้นของสัญญาณ IOW หรือ MEMW นี้ จะถูกเพื่อใช้สั่งให้พอร์ต I/O หรือหน่วยความจำที่มีแอดเดรสตรงกับแอดเดรสนั้นรับข้อมูลไปเก็บไว้

สำหรับในบัสไซเคิลของการอ่านข้อมูลที่สร้างขึ้นโดย ซีพียูนั้นพอร์ต I/O หรือหน่วยความจำที่ถูกอ้างถึงจะต้องส่งข้อมูลออกมาบนบัสข้อมูล ก่อนที่สัญญาณ IOR ( ในกรณีที่ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำ ) จะเปลี่ยนจากลอจิก “0” ไปเป็น “1” ( ขอบขาขึ้น )

**I/O CHRDY ( I/O Channel Ready : ขา A10 )**

ขาสัญญานี้เป็นอินพุทที่ใช้เพิ่มช่วงเวลาในบัสไอซีเกิดในกรณีที่อุปกรณ์ I/O หรือหน่วยความจำที่เกี่ยวข้องกับขบวนการในบัสไอซีที่เกิดขึ้นนั้น ไม่สามารถทำงานทันตามช่วงเวลาปกติของบัสไอซีนั่น ๆ ได้ (ช่วงเวลาของบัสไอซีที่เกิดขึ้นเกี่ยวกับหน่วยความจำใช้ช่วงเวลาเท่ากับช่วงเวลาของคล็อก 5 นาโน หรือ 1.05 usec )

เมื่ออุปกรณ์ I/O หรือ หน่วยความจำต้องการที่จะเพิ่มช่วงเวลาในบัสไอซีให้ยาวนานขึ้นอีกนั้น จะสามารถทำได้โดยการป้อนลอจิก “0” ให้กับขา I/O CHRDY ในช่วงเวลาที่ I/O หรือหน่วยความจำที่ถูกกำหนดนั้น ได้รับสัญญาณจากการรีเฟรชแอดเดรสและสัญญาณ MEMR , MEMW IOR หรือ IOW แอคทีฟ

**IOW ( I/O Write : ขา B13 )**

ขาสัญญานี้เป็นเอาต์พุทแอคทีฟที่ลอจิก “0” ซึ่งถูกสร้างขึ้น โดย 8288 Bus Controller เพื่อใช้แสดงว่าบัสไอซีที่เกิดขึ้นนี้เป็นบัสไอซีของการเขียนข้อมูลลงบนพอร์ท I/O เพื่อให้พอร์ท I/O ที่มีแอดเดรสตรงกันกับแอดเดรสบนบัสแอดเดรสนั้น รับข้อมูลที่อยู่บนบัสข้อมูลไปเก็บไว้ อย่างไรก็ตามเนื่องจากในช่วงเวลาที่สัญญาณ IOW แทนขอขบขาลงในการทำให้พอร์ท I/O ที่เกี่ยวข้องรับข้อมูลไปเก็บไว้ เพื่อให้ข้อมูลบนบัสข้อมูลสมบูรณ์เสียก่อนสำหรับในขบวนการ DMA นั้น DMA – Controller จะทำการสร้างสัญญาณ IOW เอง โดยที่ค่าแอดเดรสที่อยู่บนบัสแอดเดรสจะเป็นค่าแอดเดรสของหน่วยความจำที่พอร์ท I/O ที่ขอ DMA ต้องการจะอ่านข้อมูล

**MEMW (Memory Write : ขา B11)**

ขานี้เป็นเอาต์พุทแอคทีฟที่ลอจิก “0” ซึ่ง 8288 Bus Controller สร้างขึ้นในระหว่างบัสไอซีเกิดในการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำของซีพียู สัญญาณ MEMW นี้จะถูกส่งออกมาเพื่อให้หน่วยความจำที่มีค่าแอดเดรสตรงกับค่าแอดเดรสบนบัสแอดเดรสนั้น ทำการรับข้อมูลที่อยู่บนบัสข้อมูลไปเก็บไว้ โดยทั่วไปหน่วยความจำจะรับข้อมูลไปเก็บไว้ในช่วงขอขบขาลงของสัญญาณ MEMW

สำหรับในระหว่างขบวนการ DMA นั้น 8237A – 5 DMA – Controller จะทำการควบคุมบัสต่าง ๆ ของระบบแทน 8088 และสัญญาณ MEMW จะถูกใช้ในบัสไอซีของการเขียนข้อมูลลงในหน่วยความจำข้อมูลลงในหน่วยความจำ (ข้อมูลถูกส่งจากอุปกรณ์ I/O ไปให้กับหน่วยความจำ)

**AEN ( Address Enable : ขา A11 )**

สัญญาณนี้เป็นเอาต์พุทที่ใช้ในการแสดงว่าบัสไอซีที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาที่สัญญาณ AEN แอคทีฟ ( ลอจิก “1” ) นั้น เป็นบัสไอซีของขบวนการ DMA

สำหรับบนเมนบอร์ดของ IBM PC นั้นจะใช้สัญญาณนี้ในการดิสเอเบิล ( Disable ) 8288 Bus Controller และจะใช้ดิสเอเบิลพอร์ท I/O ต่าง ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับขบวนการ DMA ที่เกิดขึ้นนี้ที่จำเป็นคืองานเช่นนี้ก็เพราะในระหว่างขบวนการ DMA นั้น 8237A-5 จะส่งแอดเดรสของหน่วยความจำออกมาบนบัสแอดเดรส และจะทำให้สัญญาณ IOR หรือ IOW แอคทีฟด้วย ดังนั้นถ้าหากไม่ทำการดิสเอเบิลพอร์ท I/O ที่ไม่เกี่ยวข้องไว้ ก็อาจทำให้พอร์ท I/O ที่มีแอดเดรสตรงกับค่าแอดเดรสบนบัสแอดเดรส ( ซึ่งเป็นแอดเดรสของหน่วยความจำ ) นั้น ทำการอ่านหรือส่งข้อมูลออกมาบนบัสข้อมูลทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้

#### **SMEMR (0), MEMR(I/O) ( System Memory Read, Memory Read )**

ขาสัญญาณเหล่านี้จะเป็นตัวบอกให้หน่วยความจำส่งข้อมูลออกมาที่คาตาบัส แต่สำหรับ AT สัญญาณ SMEMR จะแอคทีฟเมื่อเกิดการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำที่อยู่ภายในขนาด 1 เมกกะไบท์ แรกเท่านั้น ส่วน MEMR สัญญาณนี้ไม่ใช่สัญญาณเดียวกันกับสัญญาณ MEMR ใน XT มันจะแอคทีฟก็ในทุกๆ ขบวนการอ่านข้อมูลที่เกิดขึ้น ไม่ว่าจะอยู่ในช่วงหน่วยความจำ 1 เมกกะไบท์แรกหรือไม่

#### **IOR (IO Read )**

เป็นขาสัญญาณที่บอกให้อุปกรณ์ I/O ที่ต่ออยู่ทำการส่งข้อมูลเข้ามาที่คาตาบัส

#### **RESET DRV (Reset Driver )**

เป็นขาสัญญาณที่แอคทีฟตอนเริ่มแรกๆ ที่เริ่มจ่ายสัญญาณไฟให้กับระบบเพื่อใช้ในการรีเซต CPU และอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบคอมพิวเตอร์รวมทั้งอุปกรณ์ I/O ที่ต่ออยู่ด้วย

#### **MEM CS16 (Memory 16 Chip Select )**

เป็นขาสัญญาณที่ใ้บอกระบบให้ทราบว่าต้องการรับส่งข้อมูลกับหน่วยความจำที่ละ 16 บิต ถ้าไม่ป้อนสัญญาณนี้การรับส่งข้อมูลจะทำเหมือน XT คือ ทำการรับส่งทีละ 8 บิต สองครั้งเพื่อให้ได้ข้อมูลขนาด 16 บิต

#### **I/O CS16 (Memory 16 Chip Select )**

เป็นขาสัญญาณที่ใ้บอกระบบให้ทราบว่าต้องการรับส่งข้อมูลกับอุปกรณ์ I/O ทีละ 16 บิต ถ้าไม่ป้อนสัญญาณนี้การรับส่งข้อมูลจะทำเหมือน XT คือ ทำการรับส่งทีละ 8 บิต สองครั้งเพื่อให้ได้ข้อมูลขนาด 16 บิต

#### **OVS (Zero Wait State )**

การแอคทีฟของขาสัญญาณนี้จะบังคับไม่ให้เกิดการสร้างสัญญาณ Wait State ขึ้นได้จะต้องขึ้นอยู่กับสัญญาณนี้ เช่นการทำงานในขบวนการอ่านเขียนข้อมูลขนาด 16 บิต โดยใช้ Wait

State ทำโดยการสร้างสัญญาณ OWS จากสัญญาณการตีโค้ดแอดเดรส และสัญญาณที่ใช้ในการอ่านหรือเขียน หรือลดการ Wait State ในกระบวนการและเขียนข้อมูลขนาด 8 บิตให้เหลือเพียง 2 Wait State ทำได้โดยการใช้สัญญาณ OWS แอคทีฟหลังจากสัญญาณอ่านและเขียนข้อมูลไปแล้ว 1 คล็อก โดยปรกติการขับสัญญาณนี้ควรใช้สังเกตที่มีเอ๊าท์พุท เป็นแบบ Open Collector ที่ทนกระแสได้ 20 mA (Sinking Current)

#### CLK (System Clock)

สัญญาณคล็อกที่ใช้จะมีความถี่ประมาณ 6 MHz หรือรุ่นใหม่ๆ อาจมีความถี่สูงถึง 15 MHz โดยปรกติขาสัญญาณนี้มีควิตซ์ไชเคิล 50%

#### OSC (Oscillator)

เป็นขาสัญญาณที่มีความถี่สูง คือ 14.318 MHz ความถี่ของสัญญาณนี้จะมีความคงที่เสมอและไม่อิงโครนัสกับสัญญาณอื่นๆ ในระบบดังนั้นจึงไม่ควรนำสัญญาณนี้ไปใช้เป็นสัญญาณคล็อกของอุปกรณ์ที่รวมกับระบบ

#### IRQ2 – IRQ7 (Interrupt Request)

เป็นขาสัญญาณอินเทอร์รัพท์ CPU สำหรับ IBM PC/AT ถ้าดับความสำคัญของสัญญาณ IRQ เป็นดังนี้คือ 9,10,11,12,14,15,3,4,5,6 และ 7 โดย IRQ2 มีลำดับความสำคัญมากที่สุดและรองๆ ลงไปคือ IRQ 3,4,5,6,7

โดยปรกติกาสัญญาณนี้จะมีสถานะเป็น 0 เสมอถ้าต้องการอินเทอร์รัพท์ CPU ให้ส่งพัลส์ที่มีลอจิก 1 ให้กับมันโดยไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงคาบเวลาของพัลส์ ทั้งนี้เพราะระบบของ IBM ตัวอินเทอร์รัพท์คอนโทรลเลอร์จะถูกโปรแกรมให้ทำการตรวจสอบสัญญาณอินเทอร์รัพท์โดยใช้ขอบขาลงของสัญญาณนี้

#### DRQ1 – DRQ3 (DMA Request)

เป็นขาสัญญาณที่ขอใช้สำหรับทำขบวนการ DMA โดยที่ DRQ0 มีลำดับความสำคัญมากที่สุด และสำหรับขาสัญญาณ DRQ7 จะมีความสำคัญน้อยที่สุดการขอทำ DMA ทำได้โดยการใช้สัญญาณที่ขานี้มีค่าเป็นลอจิก 1 แล้วรอนจนกระทั่งได้รับการตอบสนองการทำ DMA จาก CPU โดยการตรวจสอบสัญญาณ DACK ที่ส่งมา

#### DACK-3 (DMA Acknowledge)

เป็นสัญญาณตอบสนองการทำ DMA ของอุปกรณ์ I/O ทราบว่าการทำขบวนการ DMA นั้นได้รับการตอบสนองแล้ว

**REFRESH (MEMORY REFRESH)** มีหน้าที่ทำการรีเฟรชหน่วยความจำ

## MASTER

ขาสัญญานี้จะใช้ร่วมกับ DMA Request ในการเข้าควบคุมระบบบัส ในขบวนการ DMA โดยที่ตัว DMA คอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณ DMA Request แล้วรอ จนกระทั่งได้รับการตอบสนองโดยสัญญาณ DACK เกิดการแอกทีฟขึ้น แล้วจึงส่งสัญญาณนี้ให้กับ CPU จะทำให้แอกเคอเรสบัต คาต้าบัต และคอนโทรลบัต เข้าสู่สถานะไครสเตจ หรือไฮอิมพีแดนซ์ หลังจากนั้นตัว DMA คอนโทรลเลอร์จะดีแวงรออีกหนึ่งคาบสัญญาณคล็อกก่อนที่จะเข้าควบคุมบัสต่างๆ และจะต้องรออีก 2 ไครเคลิต ก่อนที่จะทำการอ่านหรือเขียนข้อมูลช่วงเวลาที่ยัญญานี้แอกทีฟไม่วควรเกิน 15 mS มิฉะนั้นข้อมูลในหน่วยความจำจะสูญหายไปได้เนื่องจากขาสัญญานรีเฟรชหน่วยความจำ

## POWER SUPPLY

ส่วนของเพาเวอร์ซัพพลายจะประกอบด้วย

Ground	ขาสัญญานี้ต่ออยู่กับระบบกราวด์ของระบบเรกูเลเตอร์
+5V	ขาสัญญานี้ต่ออยู่กับไฟ DC เรกูเลเตอร์ +5V
-5V	ขาสัญญานี้ต่ออยู่กับไฟ DC เรกูเลเตอร์ -5V
+12V	ขาสัญญานี้ต่ออยู่กับไฟ DC เรกูเลเตอร์ +12V
-12V	ขาสัญญานี้ต่ออยู่กับไฟ DC เรกูเลเตอร์ -12V

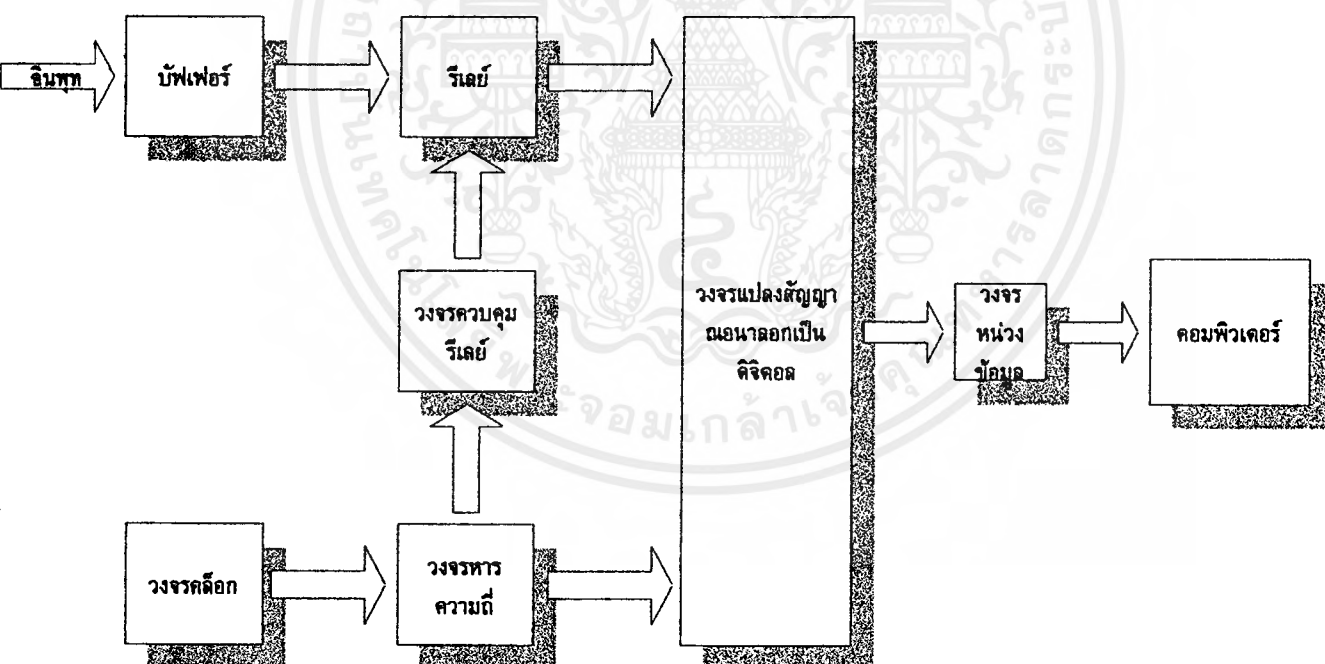
### บทที่ 3

#### รายละเอียดเกี่ยวกับโครงการอัตโนมัติสำหรับงานทดลองขั้นพื้นฐาน

โครงการประกอบด้วยส่วนต่างๆ ซึ่งแบ่งเป็นส่วนที่สำคัญ 4 ส่วนดังนี้ ดังนี้

1. ภาคอินพุท ( Input )
2. ส่วนควบคุม ( Relay Control )
3. ส่วนสัญญาณนาฬิกา ( Clock )
4. ภาควงจรแปลงสัญญาณอนาลอก ไปเป็นสัญญาณดิจิทัลและส่วนของการอินเตอร์เฟส ( Analog to Digital Converter and Interface )

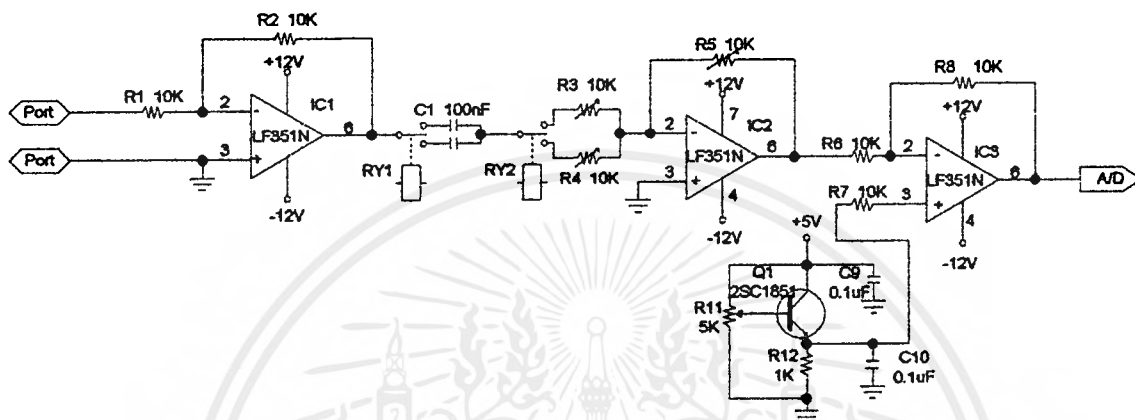
#### บล็อกไดอะแกรมของโครงการ



รูปที่ 3.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของโครงการ

## หลักการทํางานของโครงงาน

### 3.1 ภาคอินพุท (Input)



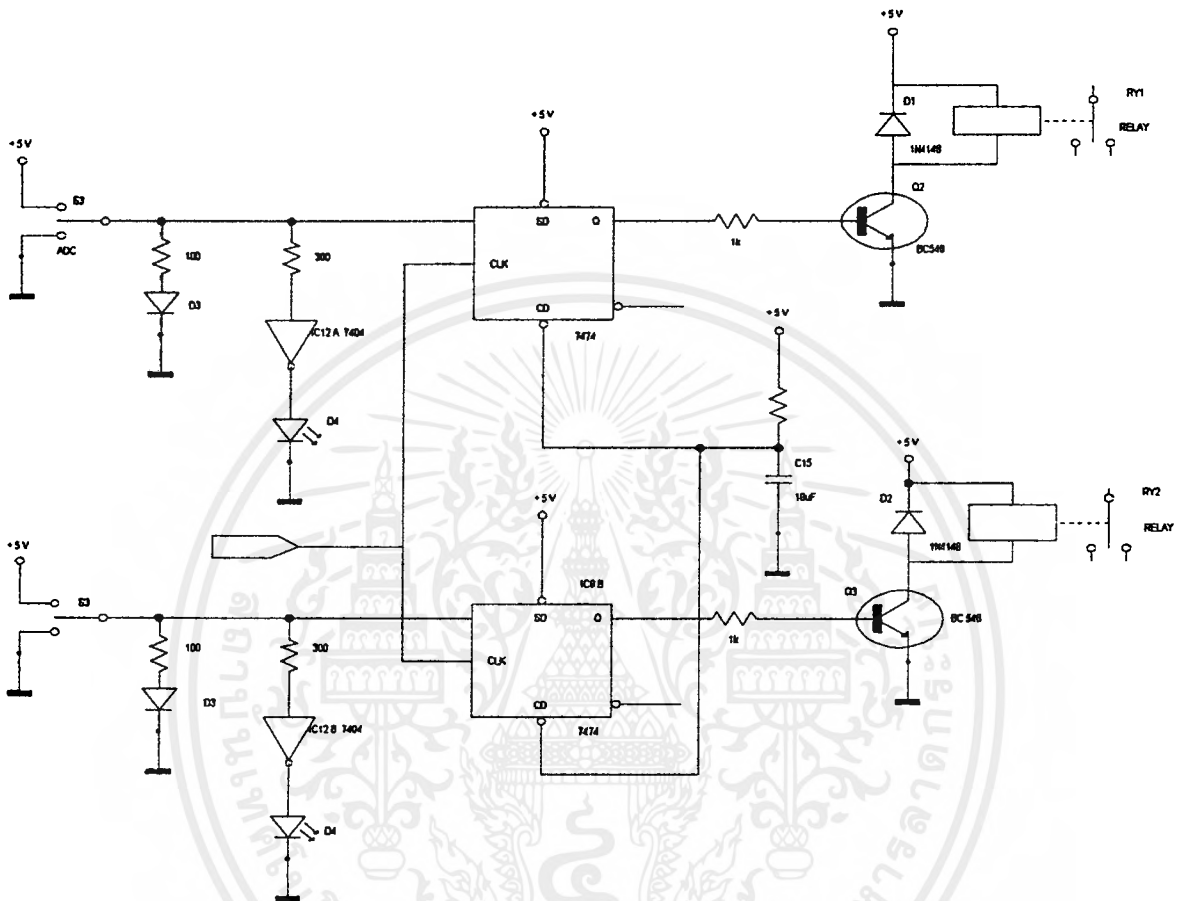
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรภาคอินพุทของวงจร

เมื่อมีสัญญาณอินพุทที่เข้ามายังส่วนอินพุทของวงจร สัญญาณจะผ่านเข้ามาที่ IC1 LF351N ซึ่งทำหน้าที่เป็นวงจรบัฟเฟอร์ (buffer) และกลับเฟสของสัญญาณจากนั้น รีเลย์ตัวที่ 1 จะทำหน้าที่เลือกที่จะทำการวัดสัญญาณในแบบที่เป็น AC หรือ DC โดยมีตัวเก็บประจุตัวที่ 1 ทำหน้าที่กั้นแรงดันไฟ DC ไว้ และมีรีเลย์ตัวที่ 2 ทำหน้าที่เลือกย่านของอัตราขยายของ IC2 โดยมีอัตราขยาย 1 เท่า และ 0.5 เท่า ตามสูตร

$$A_v = -\frac{R_f}{R_i}$$

ซึ่งจะทำให้สามารถวัดแรงดันได้สูงสุด 5V และ 10V ตามลำดับ โดยมีซีเนอร์ไดโอด (Zener Diode : DZ1) ทำหน้าที่จำกัดแรงดันที่จะเข้าสู่ IC3 ไม่ให้เกิน 3 โวลท์

### 3.2 ส่วนควบคุมรีเลย์ (Relay Control)

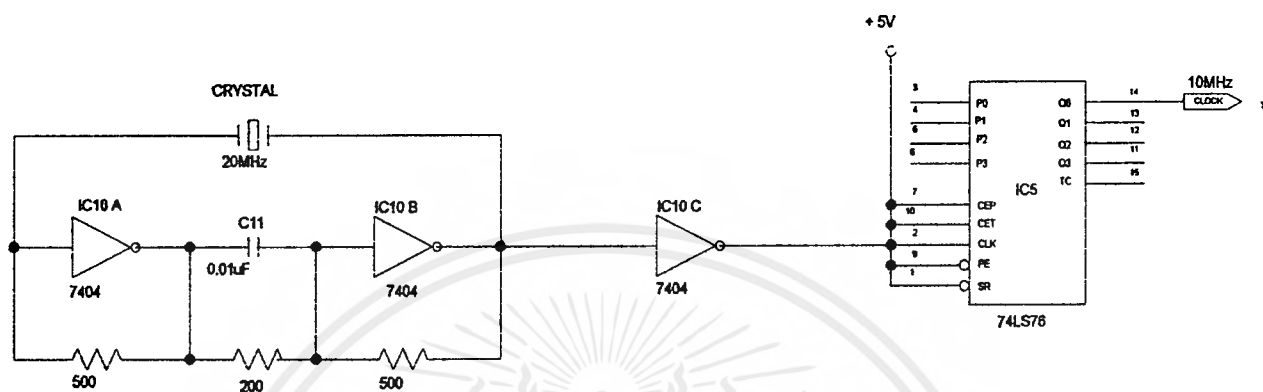


รูปที่ 3.3 แสดงวงจรในส่วนควบคุมรีเลย์

ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของรีเลย์ในการเลือกย่านการวัดสัญญาณ AC หรือ DC และทำหน้าที่เลือกย่านอัตราขยาย โดยใช้ IC9 ซึ่งเป็นไอซี D Flip Flop โดยทำการเลือกอินพุตของ D Flip Flop ให้เป็น 1 หรือ 0

IC9 จะทำการขับทรานซิสเตอร์ตัวที่ 2 ( Transister : TR2 ) และ ทรานซิสเตอร์ตัวที่ 3 ( Transister : TR3 ) ของในแต่ละส่วนเพื่อทำการควบคุมรีเลย์ในแต่ละตัว

### 3.3 ส่วนของสัญญาณนาฬิกา (Clock)

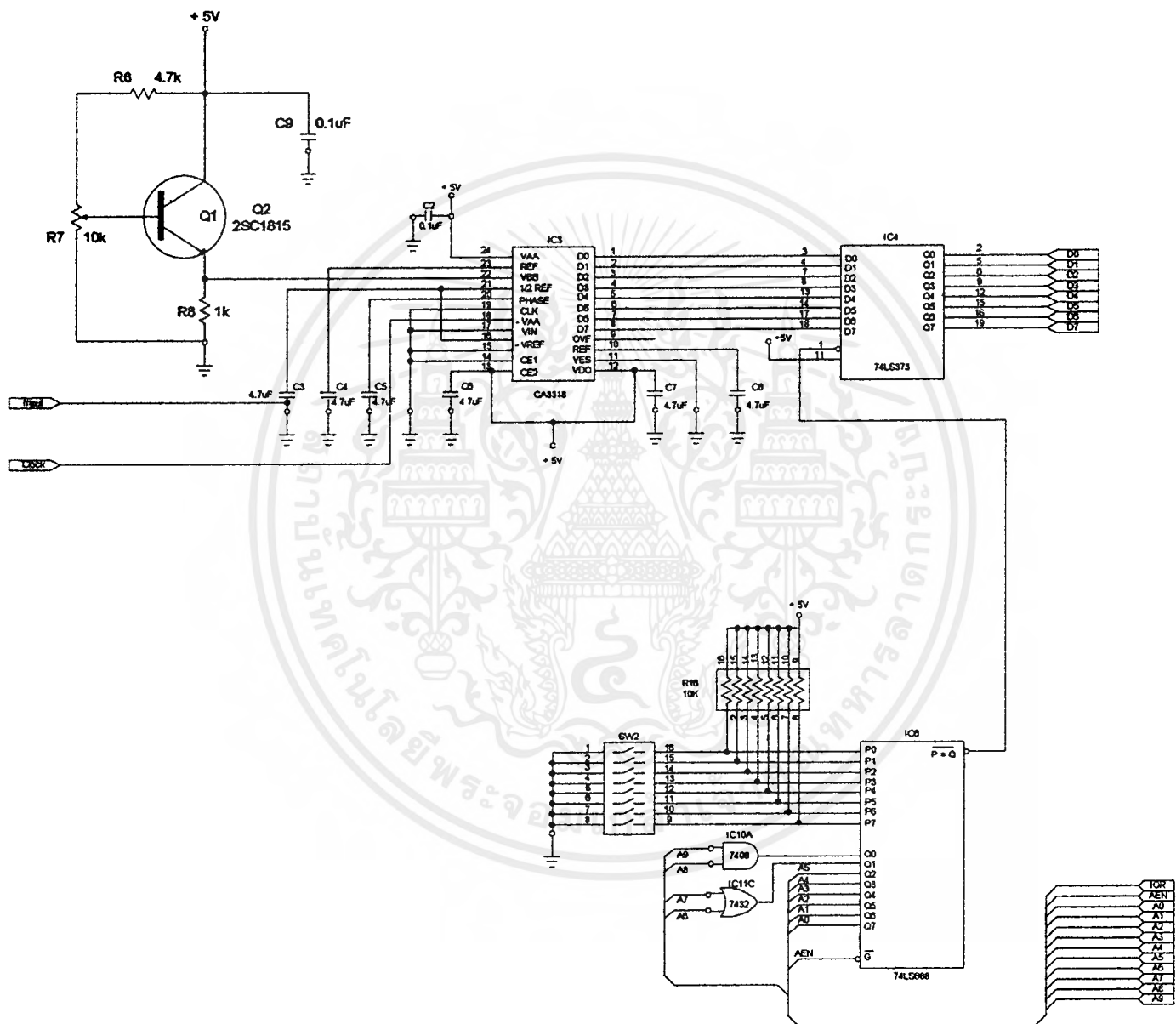


รูปที่ 3.4 แสดงวงจรในส่วนของสัญญาณนาฬิกา

จากวงจรใช้วงจรออสซิลเลเตอร์ผลิตความถี่ที่ 20 MHz และใช้ IC5 ทำหน้าที่หารความถี่ลงเหลือ 10 MHz

### 3.4 ภาควงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัลและส่วนของการอินเตอร์เฟซ (Analog to Digital Converter and Interface)

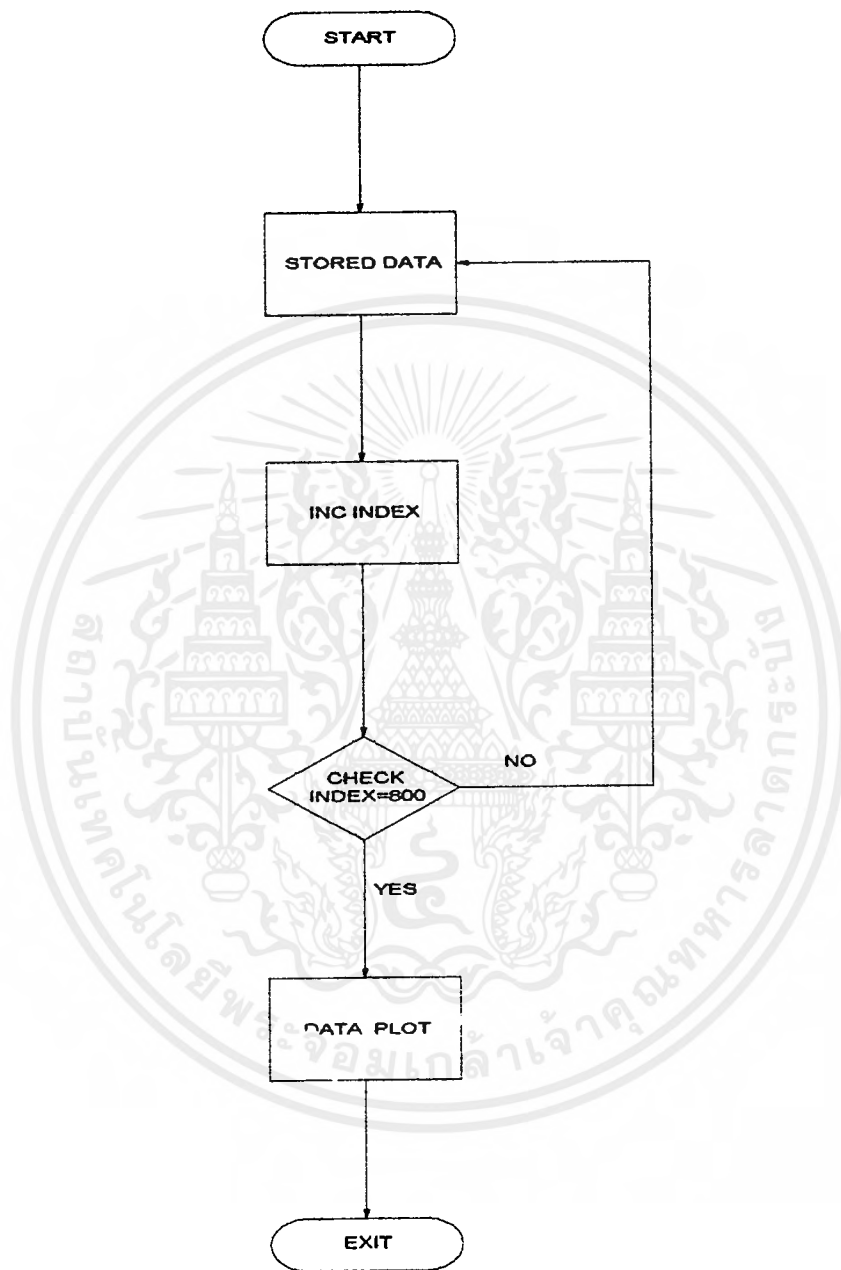
สัญญาณอนาล็อกจากภาคอินพุทจะถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลโดย IC3 ซึ่งเป็นไอซี A/D แบบแฟลช โดยใช้ความถี่แซมปลิง 10 MHz และส่วนสัญญาณดิจิทัลที่แปลงได้ให้กับ IC4 เพื่อทำการแลทซ์ข้อมูลไว้ โดยให้เครื่องคอมพิวเตอร์รับข้อมูลเข้ามาทาง D0 ที่แอดเดรส 301H และเมื่อรับสัญญาณเข้ามาแล้วจะทำการอ่านข้อมูลมาจาก IC4 เพื่อนำไปแสดงผลบนจอภาพ



รูปที่ 3.5 วงจรภาค A/D และ INTERFACE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การออกแบบโปรแกรม



รูปที่ 3.6 โฟลชาร์ทของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดสอบและผลการทดลอง

#### วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. เพื่อทดสอบการทำงานของโครงงาน
2. เพื่อศึกษา และหาคุณสมบัติจริงของโครงงาน
3. เพื่อทดสอบและวิเคราะห์สัญญาณในแบบต่างๆ ทั้งที่เป็นสัญญาณชานซ์ สัญญาณสี่เหลี่ยม สัญญาณฟันเลื่อย
4. เพื่อเปรียบเทียบสัญญาณจากออสซิลโลสโคปจริง กับสัญญาณที่วัดได้จากโครงงาน

#### ทฤษฎีพื้นฐาน

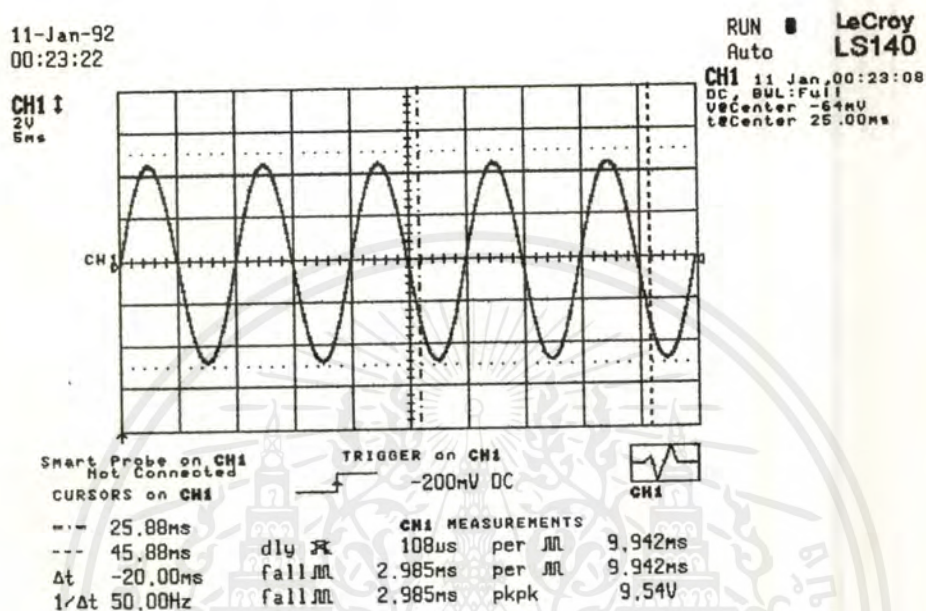
ออสซิลโลสโคปสำหรับงานทดลองขั้นพื้นฐานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นเครื่องมือสำหรับใช้ในงานทดลองขั้นพื้นฐานที่มีการใช้งานในบางฟังก์ชันและใช้วัดสัญญาณในช่วงความถี่ที่ไม่สูงมากนัก ลักษณะการทำงานของออสซิลโลสโคปนี้มีหลักการทำงานเป็นแบบดิจิทัลซึ่งสามารถศึกษาได้ในบทที่ 2 มีย่านความถี่ในการทำงานที่ 20Hz – 20KHz โดยใช้การชมป์ถึงสัญญาณแบบเวลาจริง ลักษณะของการชมป์แบบเวลาจริงนี้คือการนำสัญญาณที่ได้มาไปแสดงผลทันทีแบบจุดต่อจุดโดยไม่จำเป็นต้องใช้การเก็บข้อมูลไว้ในหน่วยความจำแล้วนำมาแสดงผลซึ่งสามารถลดต้นทุนในส่วนนี้ได้

#### วิธีการทดลอง

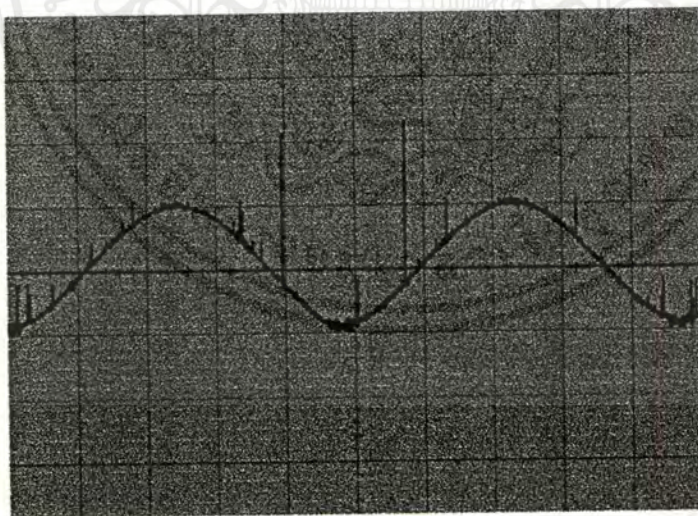
วิธีการทดลองที่ใช้จะใช้การวัดรูปสัญญาณจากฟังก์ชันเจนเนอเรเตอร์ ( Function Generator ) โดยใช้ออสซิลโลสโคปจริงวัดรูปสัญญาณออกมาเปรียบเทียบกับรูปสัญญาณที่วัดได้จากออสซิลโลสโคปสำหรับงานทดลองพื้นฐานนี้ โดยขณะที่วัดรูปสัญญาณนั้นจะต้องใช้สัญญาณที่มีความถี่เดียวกันความถี่ที่ไว้วัดเพื่อเปรียบเทียบนี้ใช้ความถี่ที่ 500Hz, 1KHz, 20KHz และ 30KHz

## ผลการทดลอง

## 1. ป้อนสัญญาณไซน์ความถี่ 200 Hz วัฏรูปสัญญาณได้ดังนี้



ก)



ข)

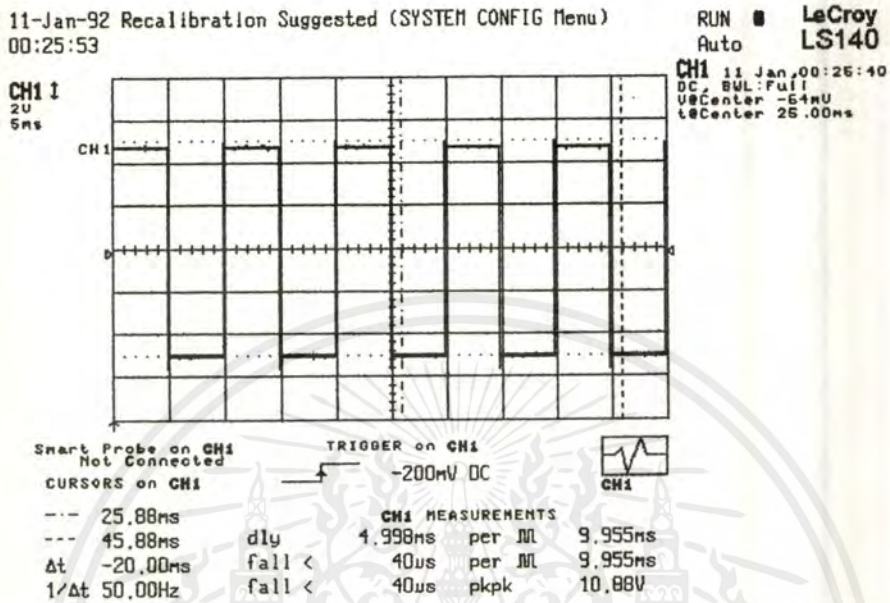
รูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณไซน์จากการวัดจากคิวิตคอลลออสซิลโลสโคปและออสซิลโลสโคปสำหรับการทดลองพื้นฐาน

ก) ปรับความถี่ 200 Hz , Time/Div 5mS, Volt/Div 2V

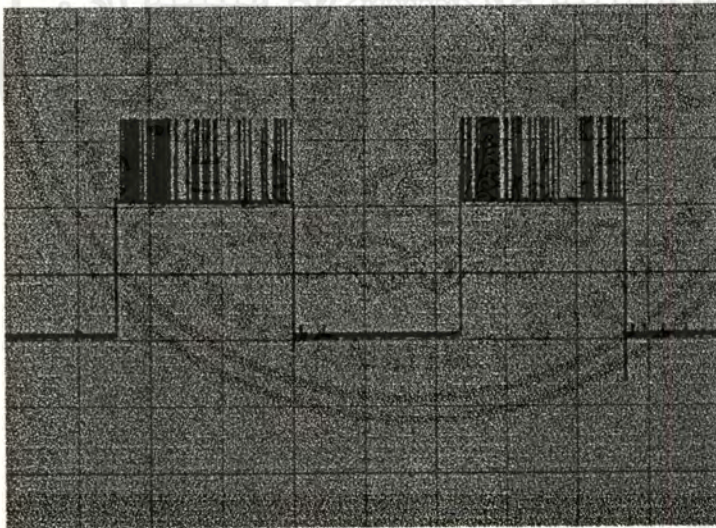
ข) ปรับความถี่ 200 Hz , Time/Div 1mS, Volt/Div 1V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2. ป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 200 Hz วัฏรูปสัญญาณได้ดังนี้



ก)



ข)

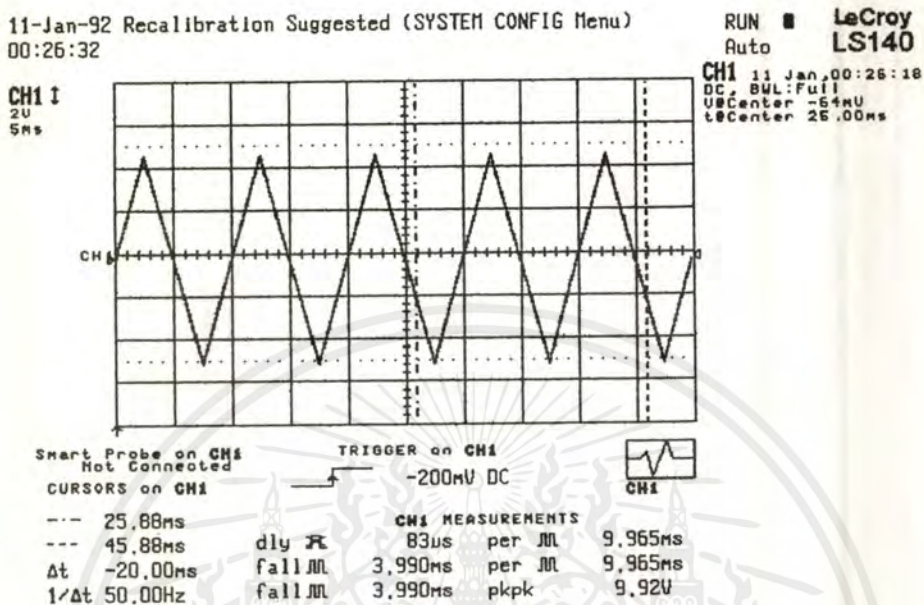
รูปที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณสี่เหลี่ยมจากการวัดจากดิจิตอลออสซิลโลสโคปและออสซิลโลสโคปสำหรับการทดลองพื้นฐาน

ก) ปรับความถี่ 200 Hz , Time/Div 5mS, Volt/Div 2V

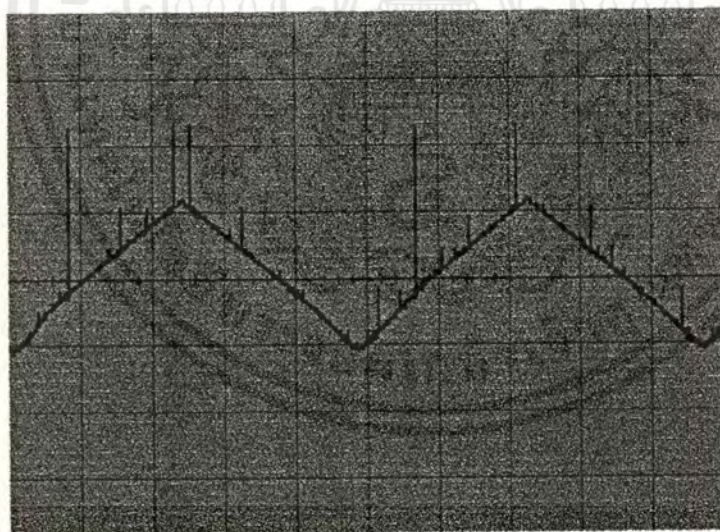
ข) ปรับความถี่ 200 Hz , Time/Div 1mS, Volt/Div 1V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ป้อนสัญญาณฟันเลื่อยความถี่ 200 Hz วัฏรูปสัญญาณได้ดังนี้



ก)

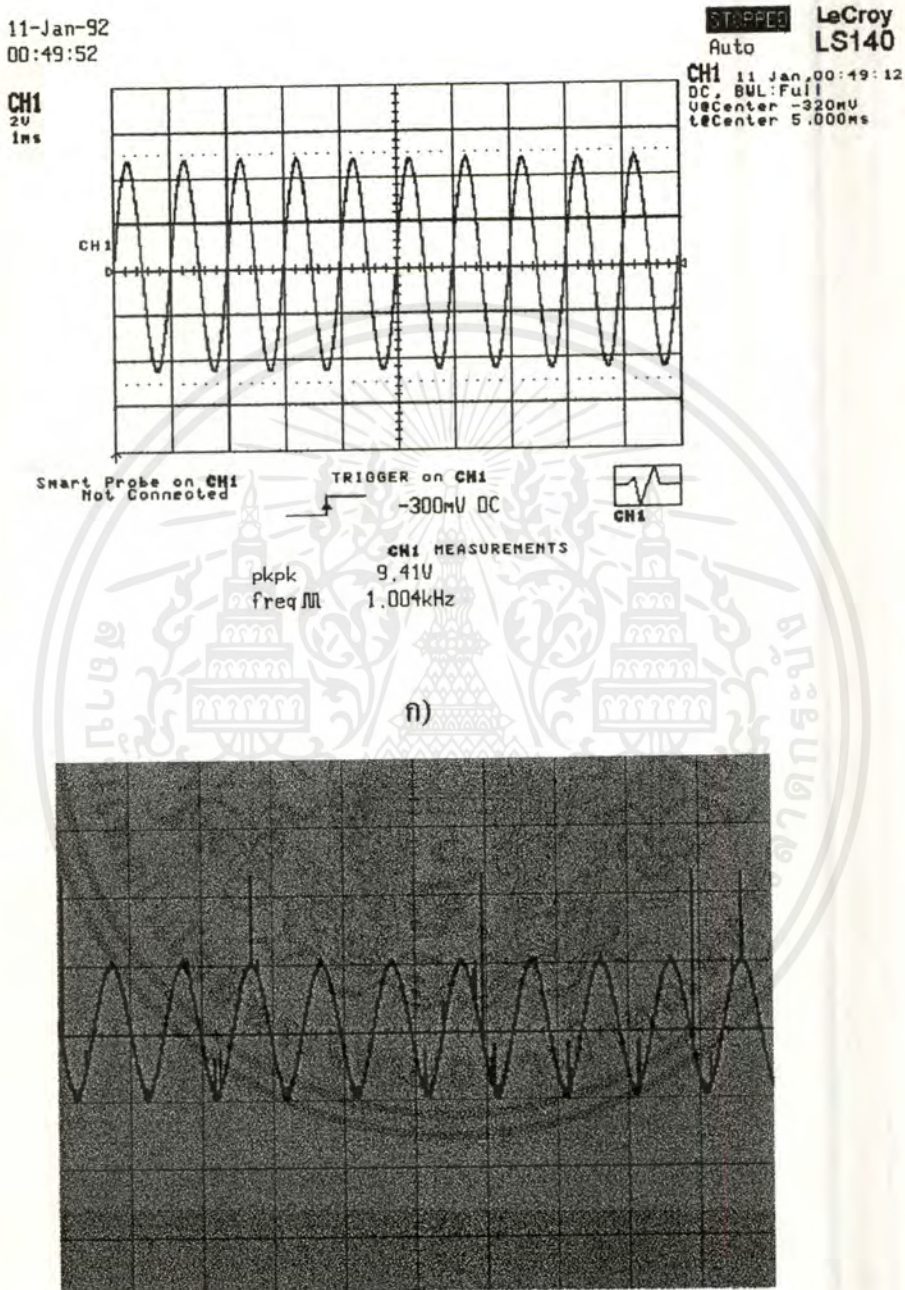


ข)

รูปที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณฟันเลื่อยจากการวัดจากดิจิตอลออสซิลโลสโคปและออสซิลโลสโคปสำหรับการทดลองพื้นฐาน

- ก) ปรับความถี่ 200 Hz, Time/Div 5ms, Volt/Div 2V
- ข) ปรับความถี่ 200 Hz, Time/Div 1ms, Volt/Div 1V

4. ป้อนสัญญาณความถี่ 1000 Hz วัตถุประสงค์นี้



ข)

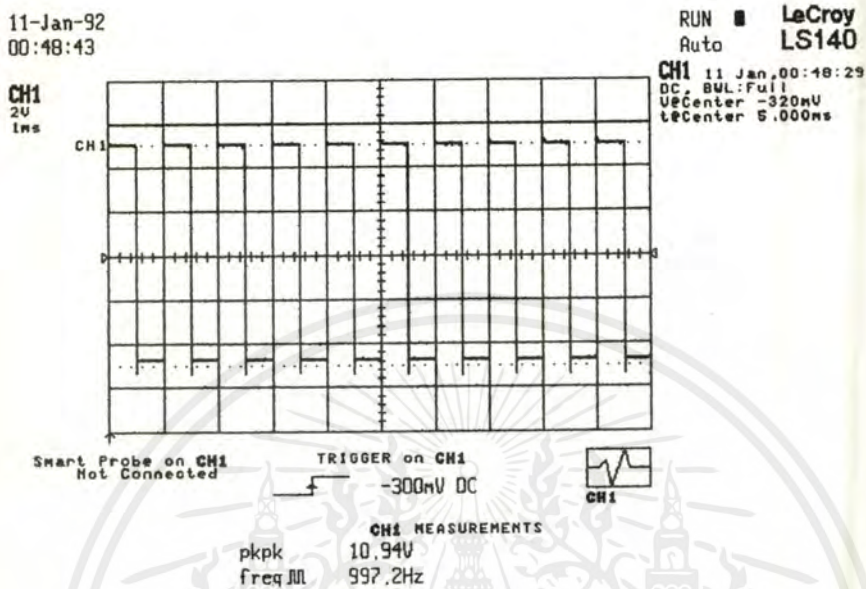
รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบที่ขบสัญญาณขาอินจากการวัดจากคิจิตตอลออสซิลโลสโคปและออกซิจดโลสโคปสำหรับการทดลองพื้นฐาน

ก) ปรับความถี่ 1000 Hz , Time/Div 1mS, Volt/Div 2V

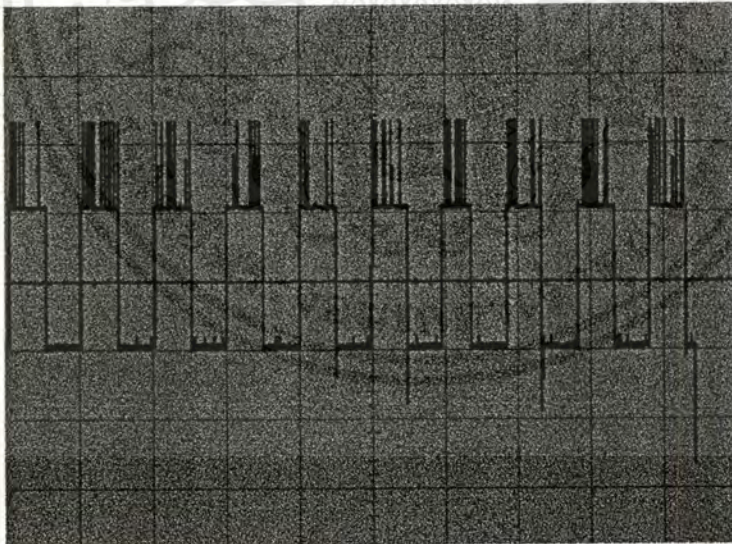
ข) ปรับความถี่ 1000 Hz , Time/Div 1mS, Volt/Div 1V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 1000 Hz วัตถุประสงค์สัญญาณได้ดังนี้



ก)



ข)

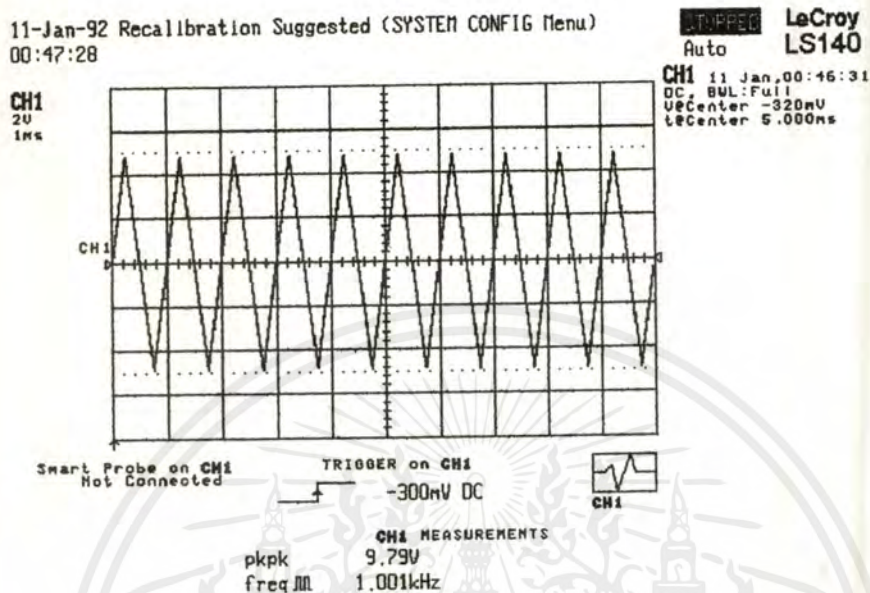
รูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณสี่เหลี่ยมจากการวัดจากคิจิตตอลอสซิลโลสโคปและออสซิลโลสโคปสำหรับการทดลองพื้นฐาน

ก) ปรับความถี่ 1000 Hz , Time/Div 1mS, Volt/Div 2V

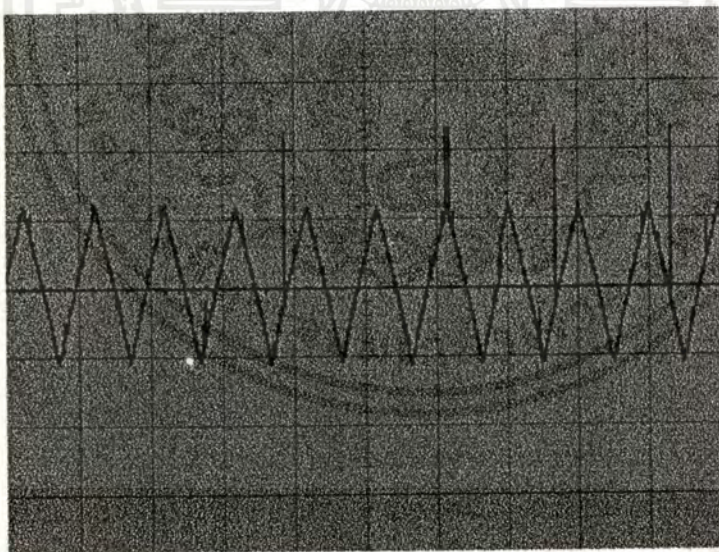
ข) ปรับความถี่ 1000 Hz , Time/Div 1mS, Volt/Div 1V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 6. ป้อนสัญญาณพื้นถี่ความถี่ 1000 Hz วัตรูปสัญญาณได้ดังนี้



ก)



ข)

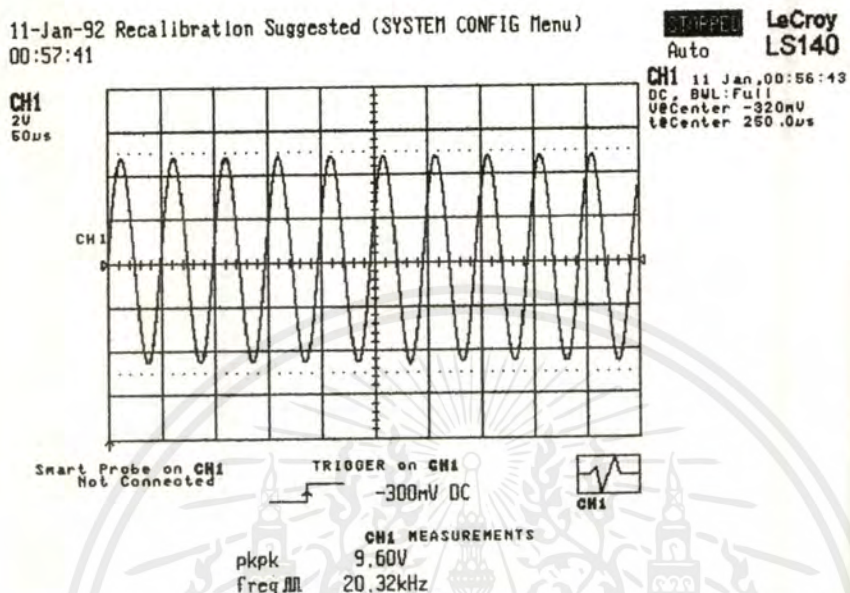
รูปที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณพื้นถี่จากการวัดจากคิจิตดอของซิลโดสโคปและออกซิลโดสโคปสำหรับการทดลองพื้นฐาน

ก) ปรับความถี่ 1000 Hz , Time/Div 1mS, Volt/Div 2V

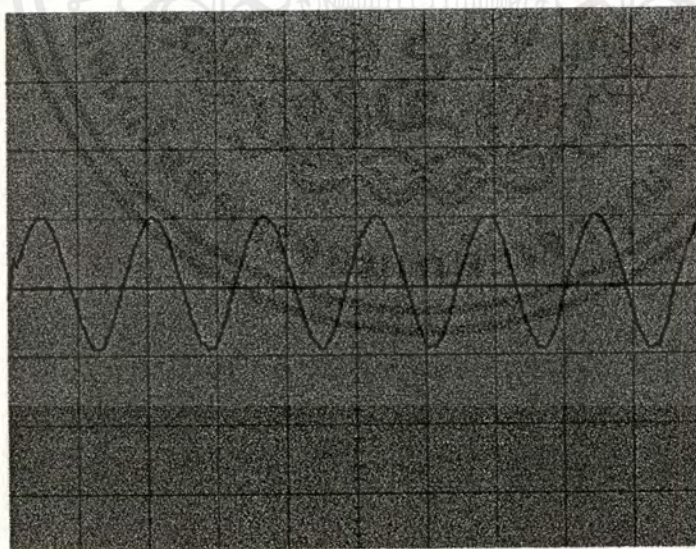
ข) ปรับความถี่ 1000 Hz , Time/Div 1mS, Volt/Div 1V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7. ป้อนสัญญาณความถี่ 20000 Hz วัตถุประสงค์ดูได้ดังนี้



ก)



ข)

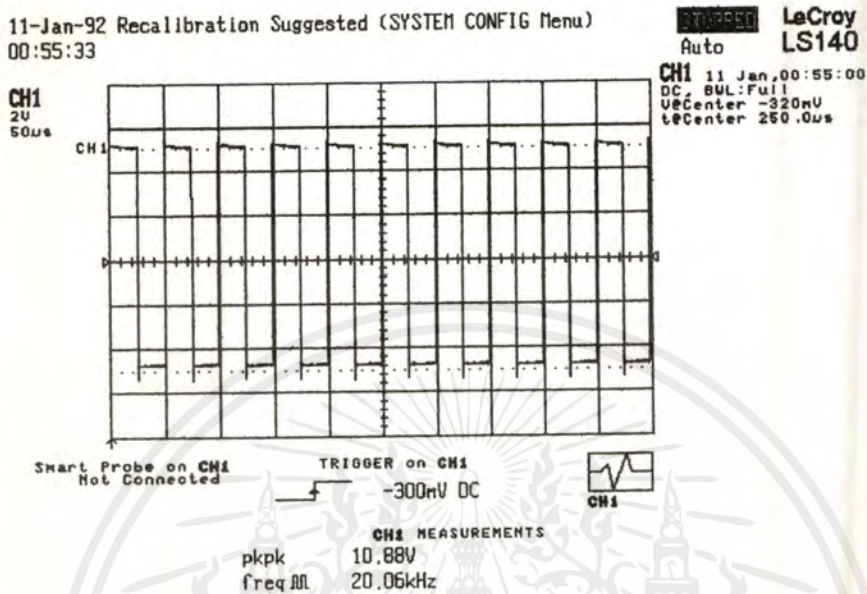
รูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณขาอินพุตจากการวัดจากคิวิตอลออกสซิดไลสโคปและออกสซิดไลสโคปสำหรับการทดลองพื้นฐาน

ก) ปรับความถี่ 20000 Hz, Time/Div 50uS, Volt/Div 2V

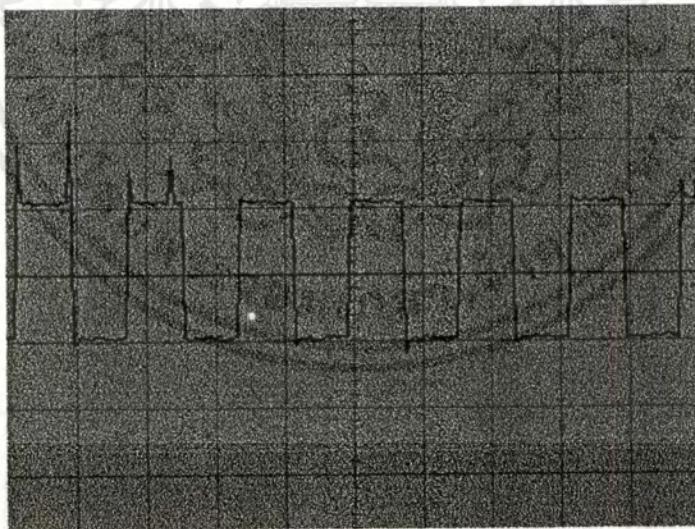
ข) ปรับความถี่ 20000 Hz, Time/Div 30uS, Volt/Div 1V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 8. ป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 20000 Hz วัฏรูปสัญญาณได้ดังนี้



ก)



ข)

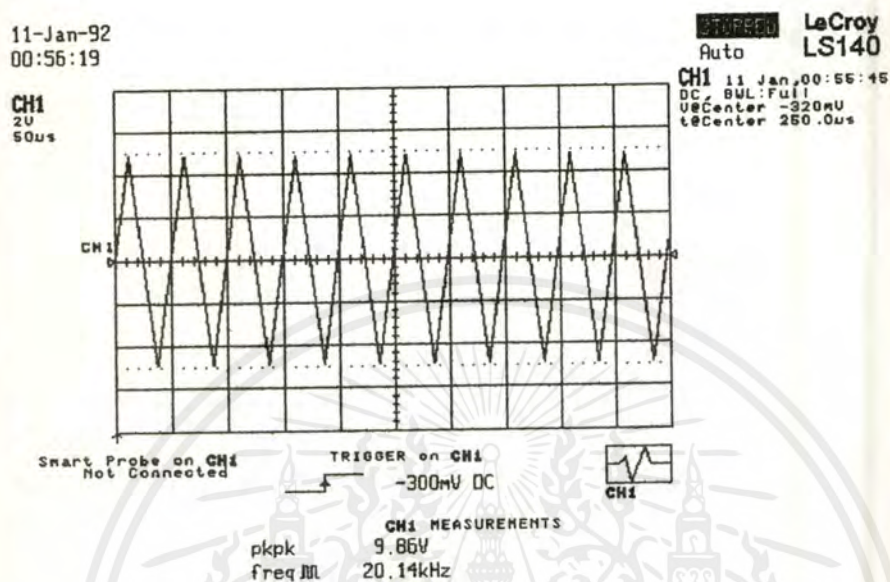
รูปที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณสี่เหลี่ยมจากการวัดจากคิจิตตอลอตซิลโลสโคปและออกซิลโลสโคปสำหรับการทดลองพื้นฐาน

ก) ปรับความถี่ 20000 Hz , Time/Div 50µs, Volt/Div 2V

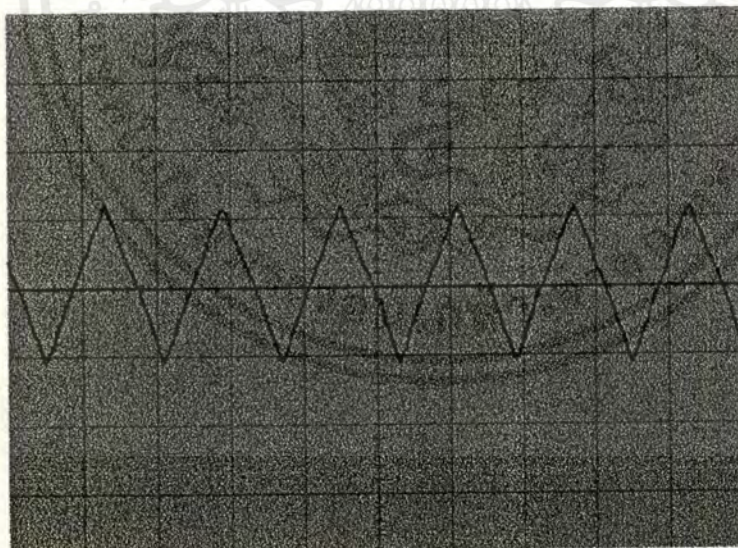
ข) ปรับความถี่ 20000 Hz , Time/Div 30µs, Volt/Div 1V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 9. ป้อนสัญญาณฟันเลื่อยความถี่ 20000 Hz วัฏรูปสัญญาณได้ดังนี้



ก)



ข)

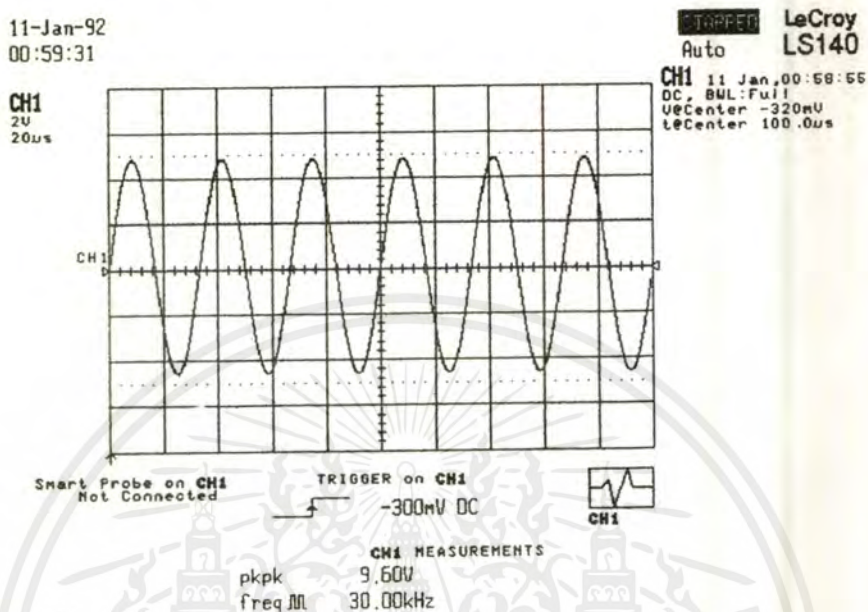
รูปที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบเขยสัญญาณฟันเลื่อยจากการวัดจากคิจิตตอลอดสจิดโลสโคปและออกจิดโลสโคปสำหรับการทดลองพื้นฐาน

ก) ปรับความถี่ 20000 Hz , Time/Div 50µs, Volt/Div 2V

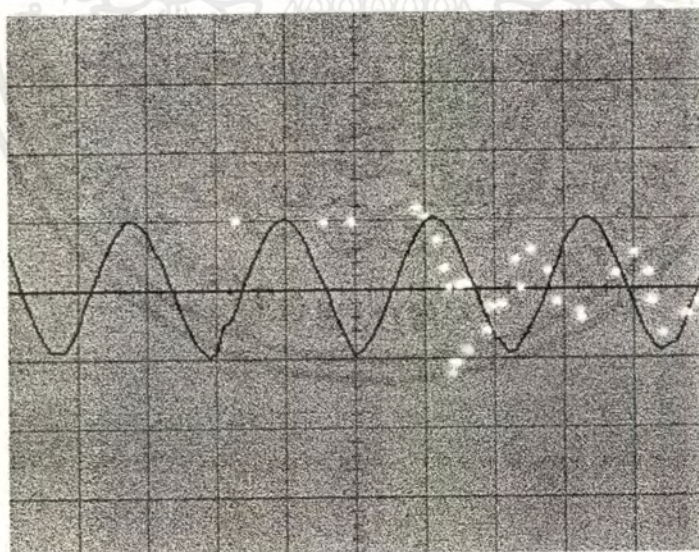
ข) ปรับความถี่ 20000 Hz , Time/Div 30µs, Volt/Div 1V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 10. ป้อนสัญญาณชานความถี่ 30000 Hz วัฏรูปสัญญาณได้ดังนี้



ก)



ข)

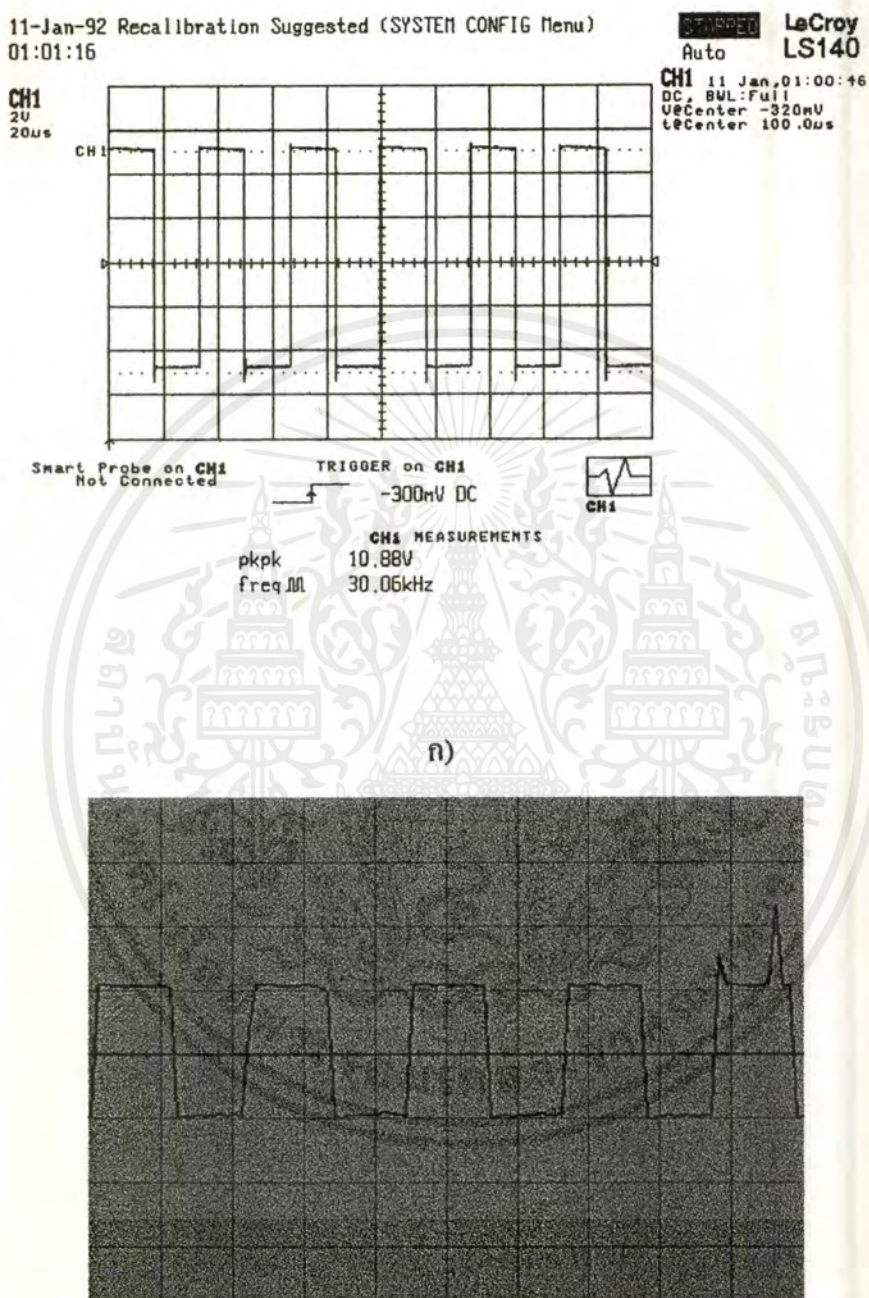
รูปที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณพื่นถี่จากการวัดจากคิจิตอลออสซิลโลสโคปและออสซิลโลสโคปสำหรับการทดลองพื้นฐาน

ก) ปรับความถี่ 30000 Hz , Time/Div 20uS, Volt/Div 2V

ข) ปรับความถี่ 30000 Hz , Time/Div 15uS, Volt/Div 1V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 11. ป้อนสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ 30000 Hz วัตถุประสงค์ดูสัญญาณได้ดังนี้



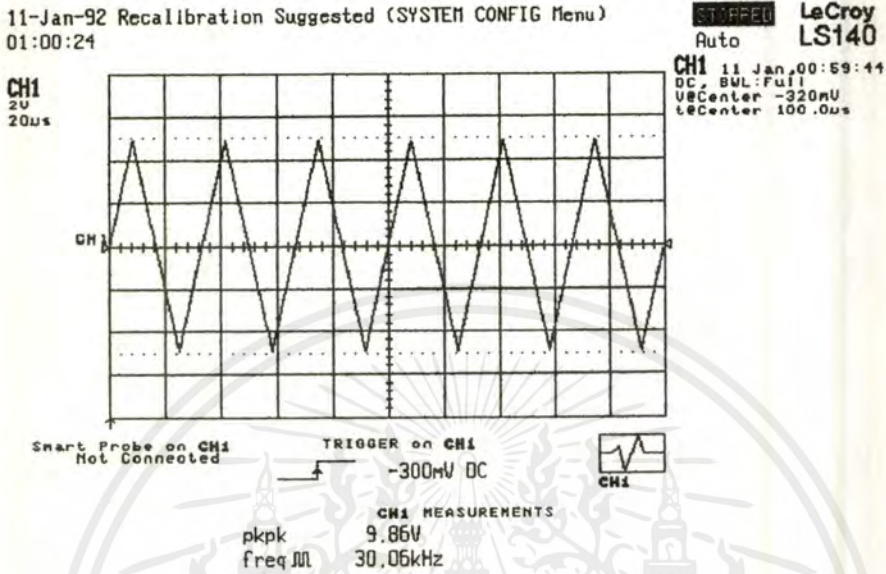
รูปที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณพื่นเดือนจากการวัดจากคิิจิตคอลอดสจิดโลสโคปและออดสจิดโลสโคปสำหรับการทดลองพื้นฐาน

ก) ปรับความถี่ 30000 Hz , Time/Div 20uS, Volt/Div 2V

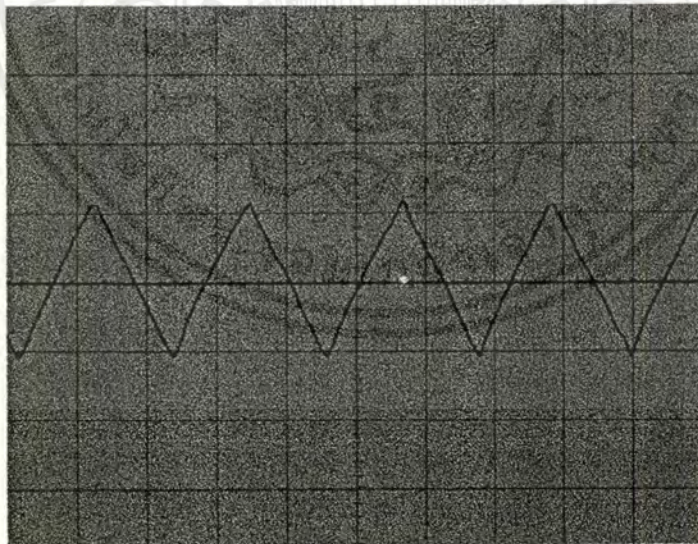
ข) ปรับความถี่ 30000 Hz , Time/Div 15uS, Volt/Div 1V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 12. ป้อนสัญญาณพื้นถี่ความถี่ 30000 Hz วัฏรูปสัญญาณได้ดังนี้



ก)



ข)

รูปที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบสัญญาณพื้นถี่จากการวัดจากคิติดอตออกซิดโลสโคปและออกซิดโลสโคปสำหรับการทดลองพื้นฐาน

ก) ปรับความถี่ 30000 Hz , Time/Div 20uS, Volt/Div 2V

ข) ปรับความถี่ 30000 Hz , Time/Div 15uS, Volt/Div 1V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ตารางบันทึกผลการทดลอง

ความถี่ (Hz)	เครื่องมือวัด					
	ออสซิลโลสโคปดิจิตอล(35MHz)			โปรแกรมออสซิลโลสโคป(20KHz)		
	สัญญาณ/ช่อง	Time/Div	%ผิดพลาด	สัญญาณ/ช่อง	Time/Div	%ผิดพลาด
100	10	1mS	0	10	1mS	0
200	5	1mS	0	5	1mS	0
1000	5	0.2mS	0	5	0.2mS	0
	2	0.5mS	0	2	0.5mS	0
	1	1mS	0	1	1mS	0
5000	10	20uS	0	10	20uS	0
	4	50uS	0	4	50uS	0
	2	0.1mS	0	2	0.1mS	0
	1	0.2mS	0	1	0.2mS	0
	0.4	0.5mS	0	0.4	0.5mS	0
	0.2	1mS	0	0.2	1mS	0
20000	5	10uS	0	5	10uS	0
	2.5	20uS	0	2.5	20uS	0
	1	50uS	0	1	50uS	0
	0.4	0.1mS	0	0.4	0.1mS	0
30000	3.4	10uS	1.96	3.4	10uS	1.96
	1.6	20uS	4.16	1.6	20uS	4.16
	0.6	50uS	11.11	0.6	50uS	11.11
	0.4	0.1mS	16.66	0.4	0.1mS	16.66

ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าผิดพลาดของออสซิลโลสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองวัดสัญญาณที่ความถี่ต่างๆ โดยใช้เครื่องมือ 2 ชนิด คือ คิวคิตออสซิลโลสโคป และออสซิลโลสโคปสำหรับงานทดลองพื้นฐานนั้นปรากฏผลการทดลองดังที่แสดงไว้แล้วใน ส่วนของผลการทดลอง ซึ่งจากการเปรียบเทียบรูปสัญญาณกันแล้วนั้นแสดงให้เห็นว่าโครงการ ออสซิลโลสโคปสำหรับงานทดลองขั้นพื้นฐานนี้ให้ผลที่มีความถูกต้อง ใกล้เคียงกับสัญญาณที่วัด จากคิวคิตออสซิลโลสโคปที่วัดในย่านความถี่เดียวกัน โดยใช้การปรับ Time/Division ย่านเดียวกัน สำหรับ Time/Division ย่านอื่นนั้นจะให้ผลที่มีค่าคลาดเคลื่อนออกไปจากเดิมเล็กน้อย



## บทที่ 5

### สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

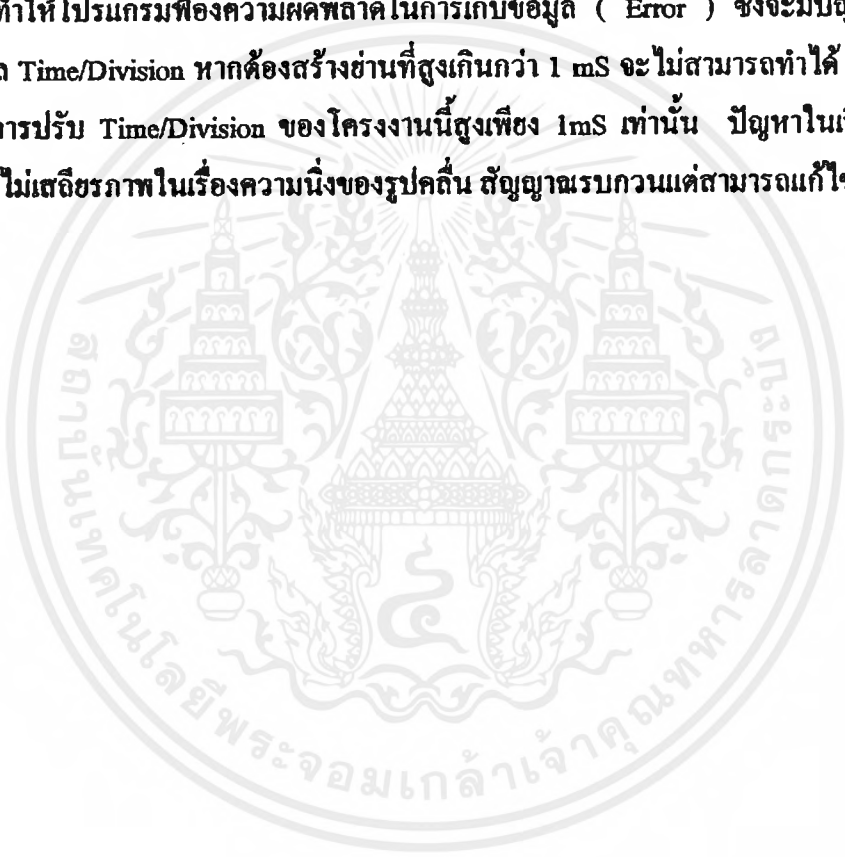
ในครั้งแรกของการทำโครงการชิ้นนี้ลักษณะของวงจรและซอฟต์แวร์ที่ใช้งานนั้นมีขนาดเล็กมากเพื่อให้ตรงกับวัตถุประสงค์หลักของโครงการ วงจรประกอบไปด้วยส่วนของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัล ส่วนของการอินเตอร์เฟสกับเครื่องคอมพิวเตอร์ และโปรแกรมที่ใช้เขียนด้วยโปรแกรมภาษาแอสเซมบลี (Assembly) ที่ไม่คุ้นเคยซึ่งเมื่อทำการทดลองจริงๆ แล้วโครงการแบบที่ 1 นี้ไม่สามารถทำงานได้ตามที่ต้องการ เพราะปัญหาทางด้านของอุปกรณ์ที่ใช้งานในวงจร A/D ซึ่งใช้ไอซีเบอร์ ADC 0809 ไม่ทำงานจึงมีการเปลี่ยนแปลงวงจรใหม่ทั้งหมดเพื่อประสิทธิภาพที่ดีกว่า รวมถึงเปลี่ยนแปลงทางด้านของซอฟต์แวร์ที่ใช้เขียนโปรแกรมด้วยวงจรในแบบที่ 2 ที่มีการเปลี่ยนแปลงใหม่นั้นประกอบไปด้วยส่วนวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกไปเป็นสัญญาณดิจิทัลที่ใช้ไอซีเบอร์ CA 3318 ที่มีประสิทธิภาพดีกว่า และยังสามารถทำงานได้ในย่านความถี่ที่สูงถึง 15 MHz ส่วนอินเตอร์เฟสกับเครื่องคอมพิวเตอร์ ส่วนของหน่วยความจำที่เพิ่มเติมขึ้น และโปรแกรมที่ใช้เขียนซอฟต์แวร์ที่เปลี่ยนมาใช้โปรแกรมวิซวลเบสิกในตอนแรกแต่ด้วยความสามารถของโปรแกรมที่จำกัดทางด้านของการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการอินเตอร์เฟสกับเครื่องคอมพิวเตอร์ เพราะไม่สามารถหาโปรแกรมในส่วนนั้นได้ ประกอบกับคนที่โปรแกรมมีผู้นิยมใช้น้อย จึงเปลี่ยนมาใช้โปรแกรมเดฟไฟซึ่งเป็นที่ยอมรับในหมู่นักศึกษาที่ทำโครงการทางด้านนี้กันมากกว่าวงจรในแบบที่ 2 นี้มีข้อเสียคือ มีขนาดใหญ่กว่าวงจรในแบบแรกมากเพราะส่วนของหน่วยความจำที่เพิ่มขึ้น และที่สำคัญคือราคาที่เพิ่มขึ้นจากเดิมมาก ในส่วนของปัญหาที่พบจากการทำงานโดยใช้โปรแกรมในแบบที่ 2 นี้คือความยากในส่วนของหน่วยความจำที่ต้องเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมการเก็บข้อมูล และในการที่จะนำข้อมูลนั้นไปแสดงผลบนจอแสดงผลทำให้ต้องมีการเปลี่ยนแปลงวงจรกันอีกครั้งเพราะถ้าหากดำเนินงานกันต่อไปโครงการนี้อาจจะไม่สำเร็จตามเวลาที่กำหนด วงจรในแบบที่ 3 มีขนาดเล็กน้อยกว่าเดิมเพราะได้ตัดส่วนของหน่วยความจำออกไป โดยวิธีการที่นำมาใช้กับวงจรในส่วนนี้คือ ใช้การพล็อตรูปสัญญาณแบบการสุ่มด้วยเวลาจริงโดยจะพล็อตสัญญาณแบบจุดต่อจุดซึ่งเขียนโปรแกรมควบคุมได้ง่ายกว่าและที่สำคัญคือตรงตามวัตถุประสงค์หลักของโครงการเป็นสำคัญสรุปโดยรวมแล้วโครงการนี้สามารถทำงานได้ในระดับหนึ่งที่มีความถูกต้องและให้ผลที่ใกล้เคียงกับบอสซิลโลสโคปของจริงถึงแม้โปรแกรมจะบกพร่องไปในส่วนใดก็ตามแต่ก็สามารถทำงานได้ในระดับที่น่าพอใจได้ ซึ่งหากมีการพัฒนาอีกต่อไปปัญหาต่างๆ ที่พบอาจจะหมดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และได้ผลงานที่มีคุณภาพ ราคาถูกเหมาะกับการใช้งานในการทดลองพื้นฐานทั่วไปทางด้านอิเล็กทรอนิกส์

### ปัญหาที่พบอยู่และพัฒนาต่อไป

คือข้อจำกัดของโปรแกรมในการที่จะเขียนให้โปรแกรมสามารถเก็บจำนวนจุดของข้อมูลเพื่อนำมาพล็อตเป็นรูปสัญญาณนั้นสามารถเก็บข้อมูลแบบจุดได้เพียง 8500 จุดเท่านั้นเพราะหากเกินกว่านี้จะทำให้โปรแกรมฟ้องความผิดพลาดในการเก็บข้อมูล ( Error ) ซึ่งจะมีปัญหาเกี่ยวกับการสร้างแชนเนล Time/Division หากต้องสร้างย่านที่สูงเกินกว่า 1 mS จะไม่สามารถทำได้ จึงเป็นเหตุผลให้มีขานการปรับ Time/Division ของโครงการนี้สูงเพียง 1mS เท่านั้น ปัญหาในเรื่องของรูปสัญญาณที่ยังไม่เสถียรภาพในเรื่องความนิ่งของรูปคลื่น สัญญาณรบกวนแต่สามารถแก้ไขที่วงจรได้



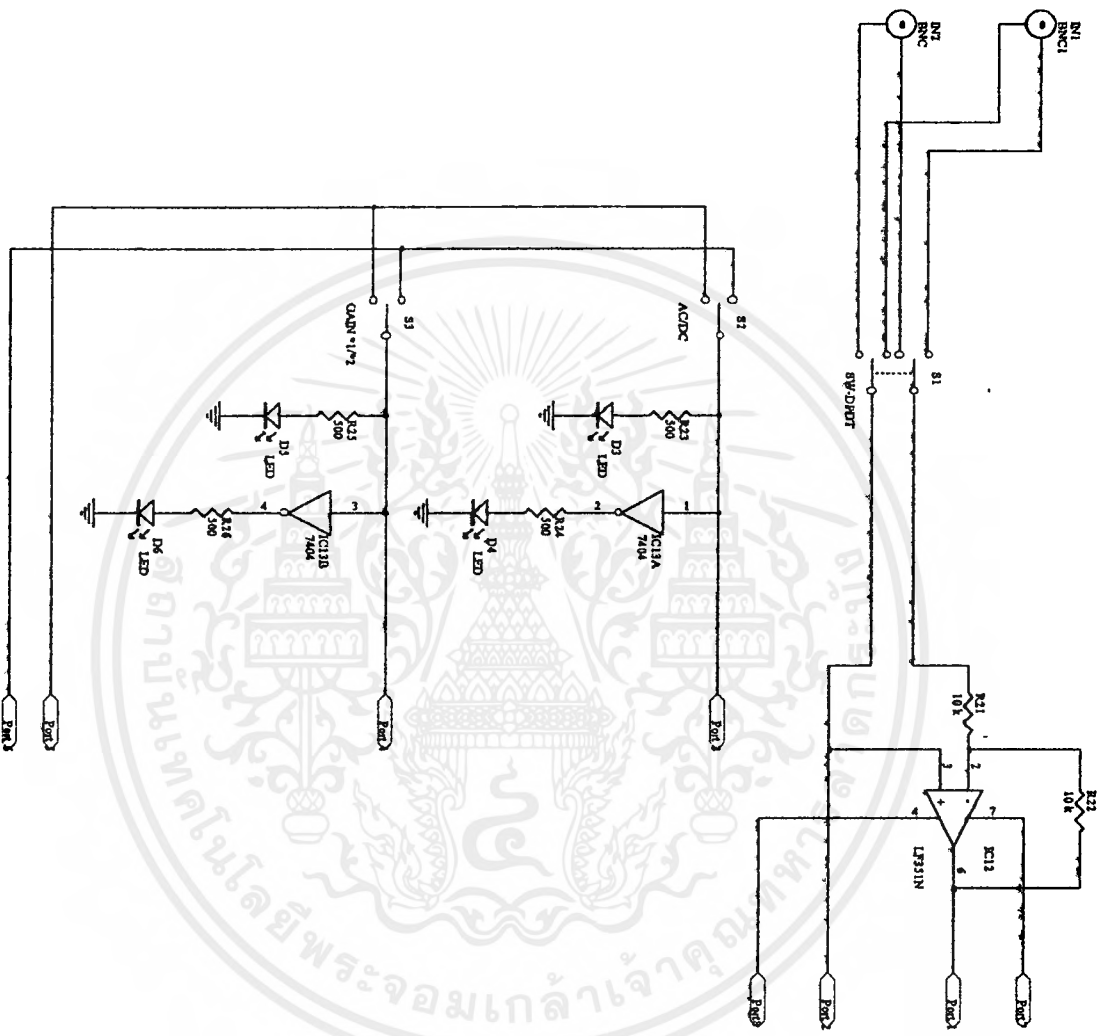
## เอกสารอ้างอิง

1. “การอินเทอร์เฟซ IBM/PC” ธาณินทร์ ถาวรศาสนวงศ์, ทินกร คึก
2. “คู่มือการเขียนโปรแกรม Delphi 4” กนก กุสุมาลย์นุญต, ไกรวุฒิ มั่นเสถียรสิน
3. “คู่มือการเขียนโปรแกรมด้วย Delphi 4.0” จักรพงษ์ สุขประเสริฐ, กนกพร ภาวสุทธิกุล  
ตัจจะ จรัสรุ่งรวีร
4. ฉันทพัฒน์ ธรรมเจริญ, จริญญา ปิ่นทอง : “เครื่องวิเคราะห์สเปคตรัมควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ :  
หลักการทํางาน” วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยี  
อิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2538
5. พงศ์ศักดิ์ ปาละสุทธิกุล, ชุทธศิลป์ สุขสมบัติ : “ระบบเก็บภาพสำหรับงานประมวลผล  
ภาพ” วิทยานิพนธ์สำหรับปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยี  
อิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2541
6. กฤษณะ นิลสกุล, อาทร คุ่มฉา : “สโคปการ์ด 2” โครงการสำหรับปริญญาวิศวกรรม  
ศาสตรบัณฑิต สาขาอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาด  
กระบัง ปีการศึกษา 2541



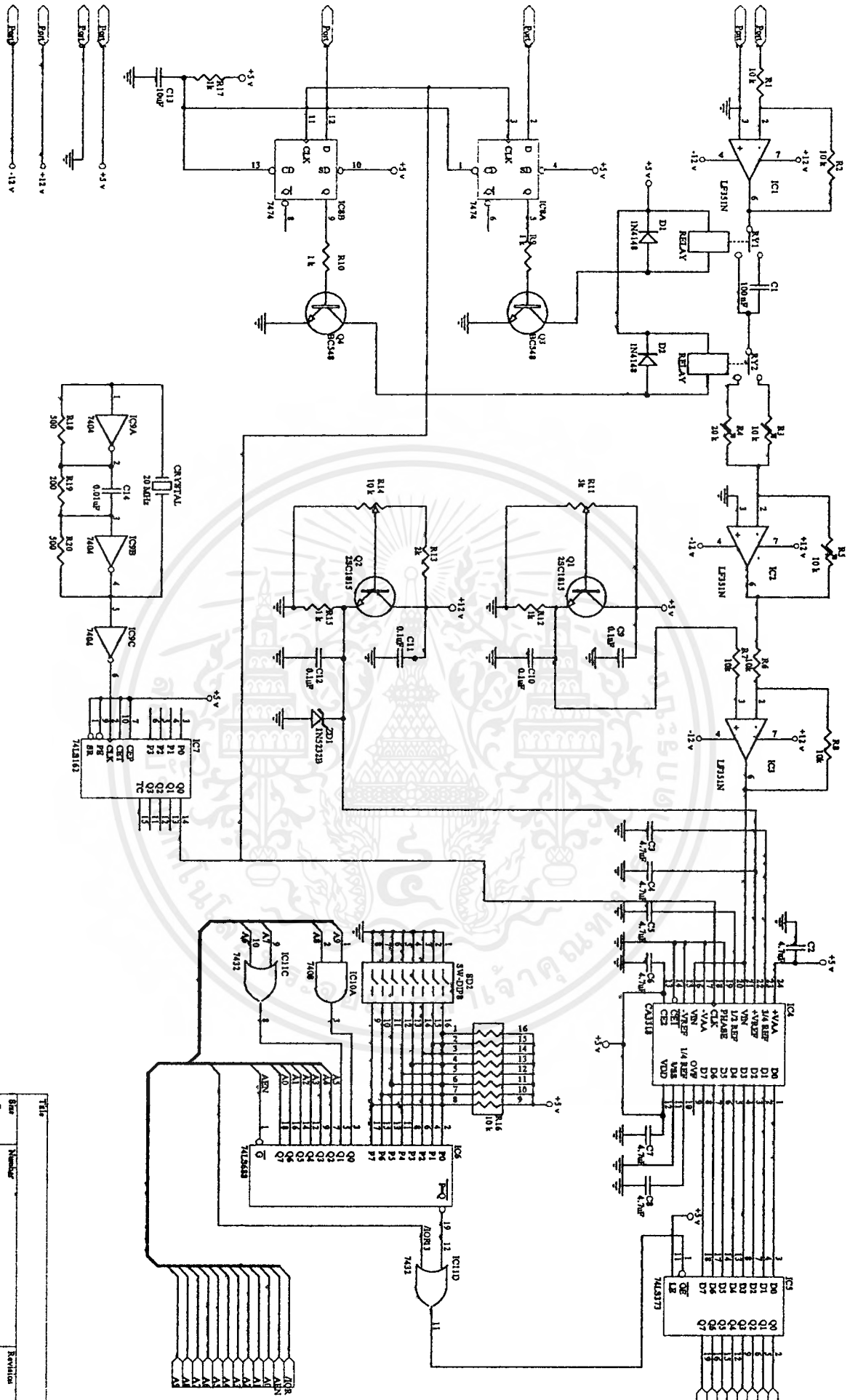
**ก. วงจรของโครงการ**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Title		Date	
B		B	
Name		No.	
D.A. 10/10/10		10/10/10	
Circuit No.		Design No.	
Circuit No.		Design No.	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ผนวกกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



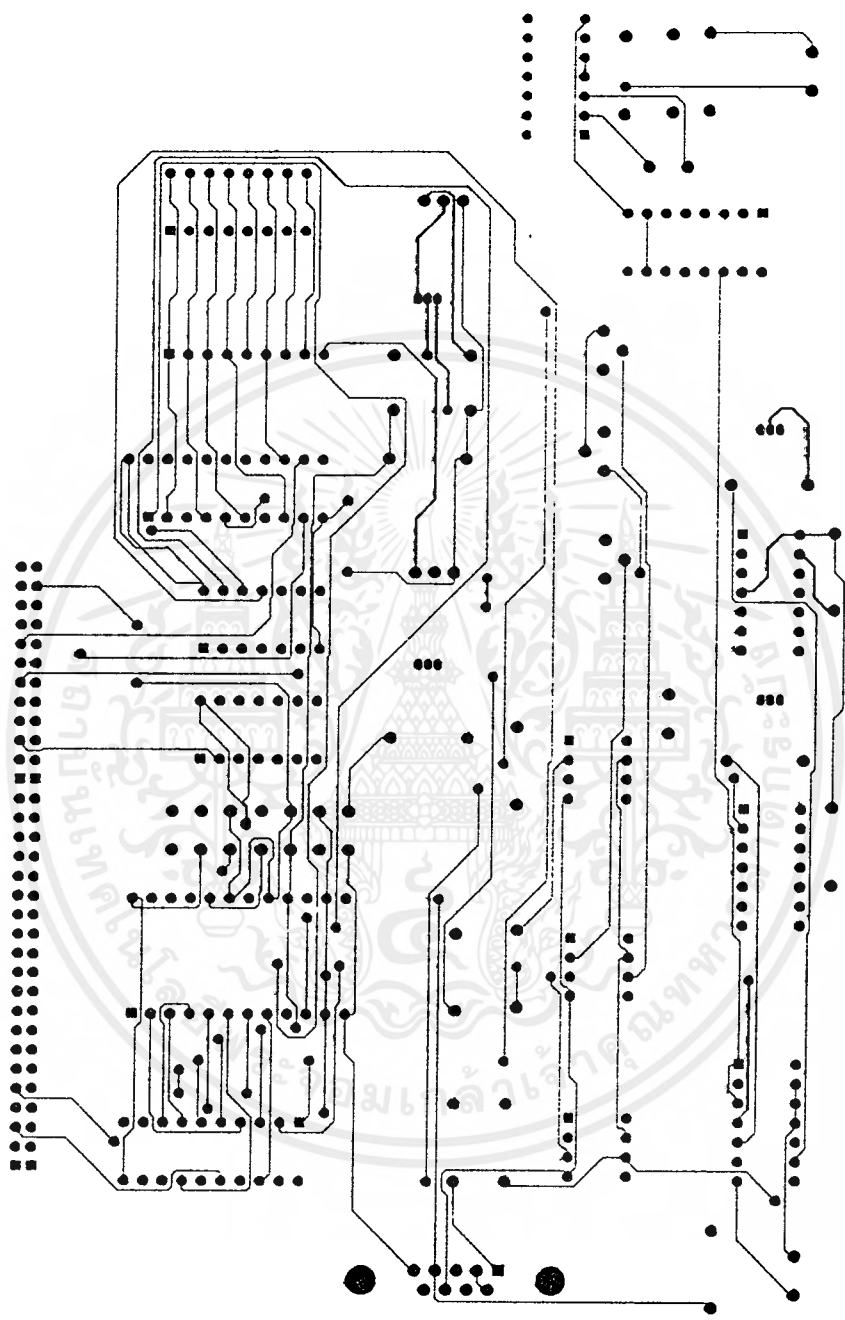
Title	Size	Number	Revision
Part: 74-APR-7000	B		
File: C:\VDOCU\PROJECT\7001			
Drawn By:			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
 วิศวกรรมไฟฟ้า ทั้งสิ้น ยกเว้นที่พิมพ์ให้ชัดเจนและต้องยังอิงเงงเง ของเอกสารทุกครั้งที่มีการแก้ไข

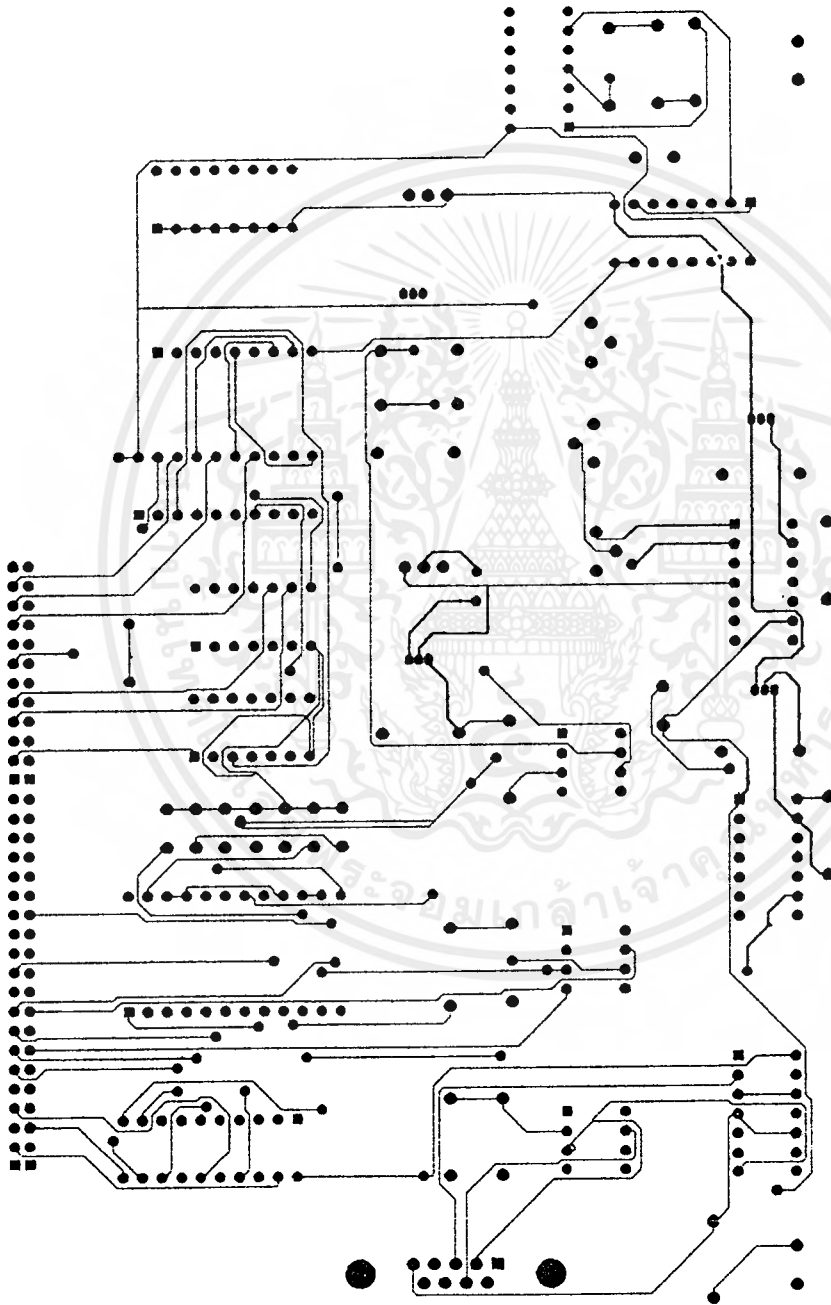


**บ. ฉายทองแดง**

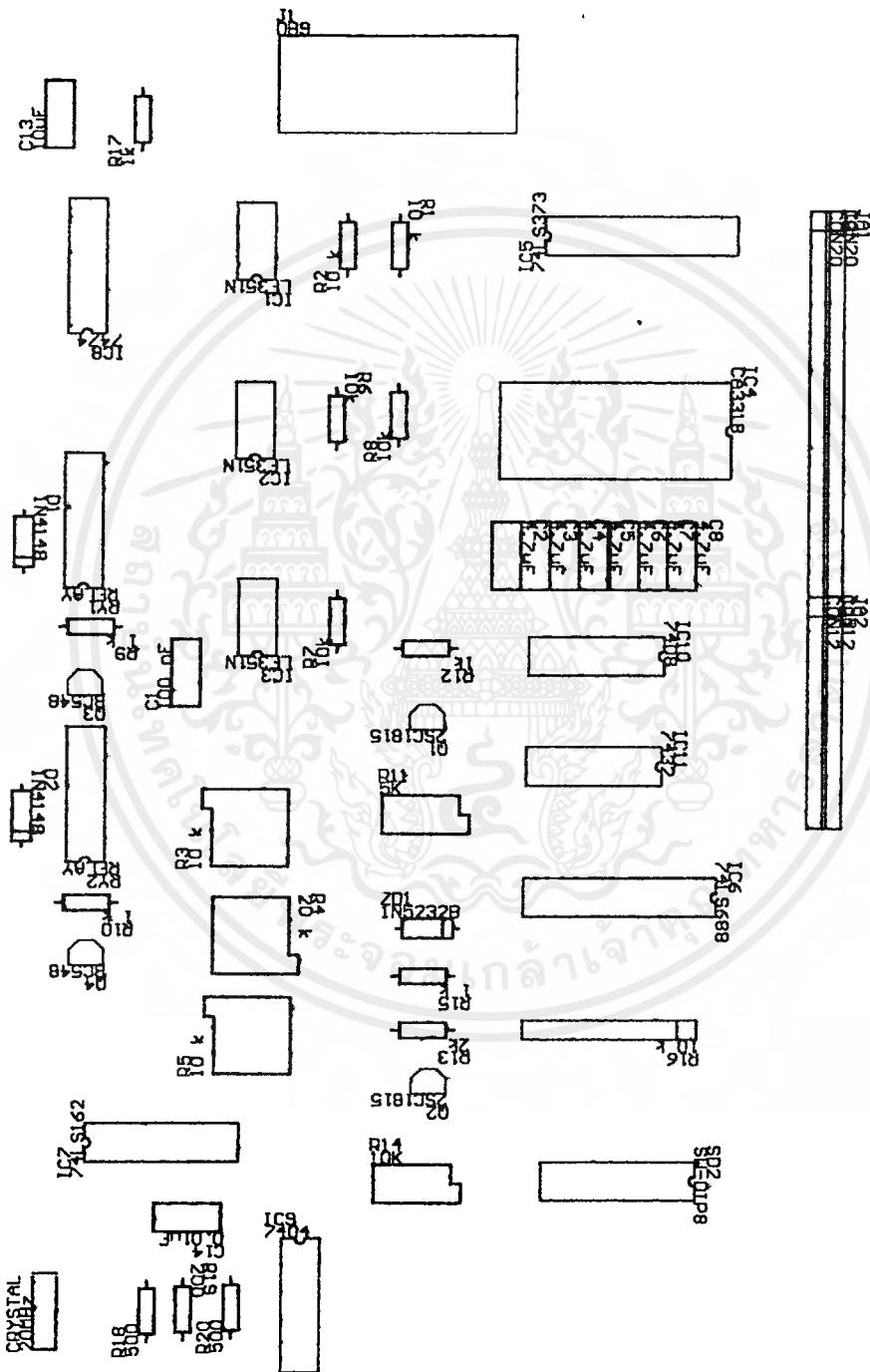
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



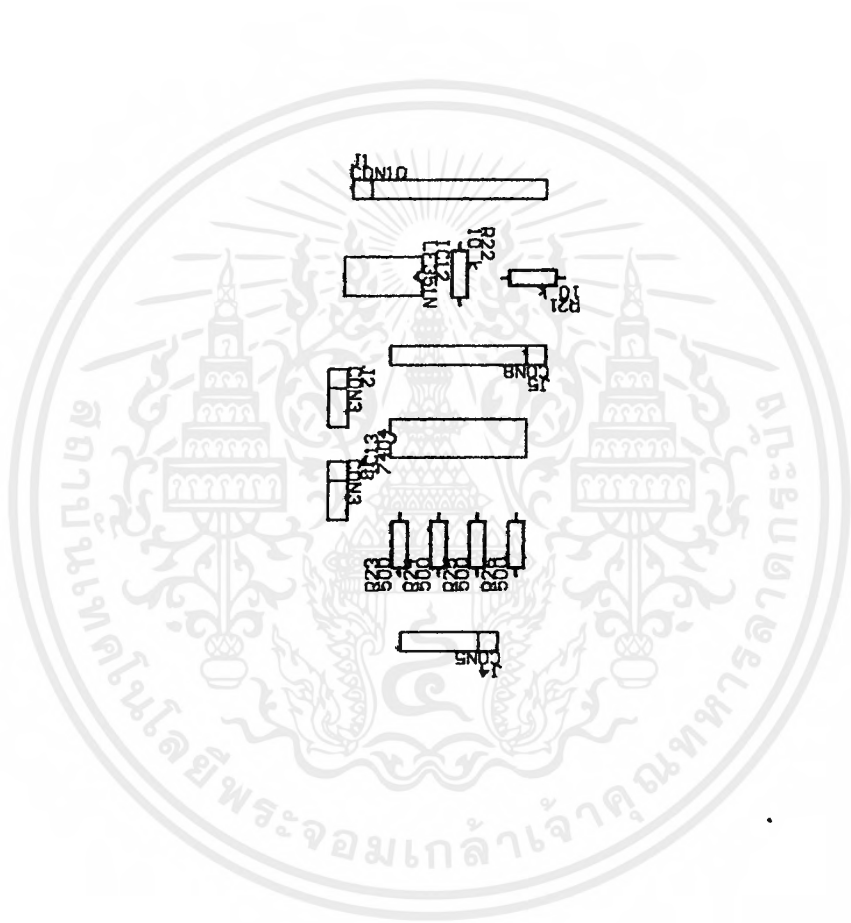
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ค. คำศัพท์ (Data Sheet)**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

August 1997

### Features

- CMOS Low Power with SOS Speed (Typ)..... 150mW
- Parallel Conversion Technique
- 15MHz Sampling Rate (Conversion Time)..... 67ns
- 8-Bit Latched Three-State Output with Overflow Bit
- Accuracy (Typ).....  $\pm 1$  LSB
- Single Supply Voltage ..... 4V to 7.5V
- 2 Units In Series Allow 9-Bit Output
- 2 Units in Parallel Allow 30MHz Sampling Rate

### Applications

- TV Video Digitizing (Industrial/Security/Broadcast)
- High Speed A/D Conversion
- Ultrasound Signature Analysis
- Transient Signal Analysis
- High Energy Physics Research
- General-Purpose Hybrid ADCs
- Optical Character Recognition
- Radar Pulse Analysis
- Motion Signature Analysis
- $\mu$ P Data Acquisition Systems

### Description

The CA3318 is a CMOS parallel (FLASH) analog-to-digital converter designed for applications demanding both low power consumption and high speed digitization.

The CA3318 operates over a wide full scale input voltage range of 4V up to 7.5V with maximum power consumption depending upon the clock frequency selected. When operated from a 5V supply at a clock frequency of 15MHz, the typical power consumption of the CA3318 is 150mW.

The intrinsic high conversion rate makes the CA3318 ideally suited for digitizing high speed signals. The overflow bit makes possible the connection of two or more CA3318s in series to increase the resolution of the conversion system. A series connection of two CA3318s may be used to produce a 9-bit high speed converter. Operation of two CA3318s in parallel doubles the conversion speed (i.e., increases the sampling rate from 15MHz to 30MHz).

256 paralleled auto balanced voltage comparators measure the input voltage with respect to a known reference to produce the parallel bit outputs in the CA3318.

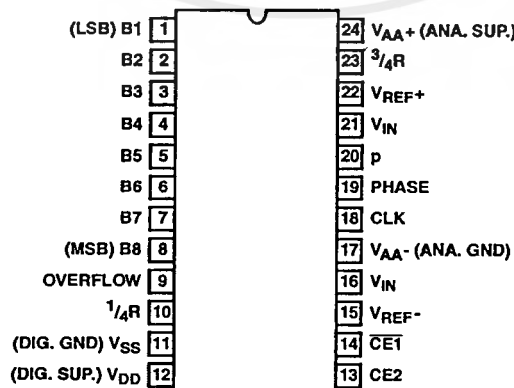
255 comparators are required to quantize all input voltage levels in this 8-bit converter, and the additional comparator is required for the overflow bit.

### Ordering Information

PART NUMBER	LINEARITY (INL, DNL)	SAMPLING RATE	TEMP. RANGE (°C)	PACKAGE	PKG. NO.
CA3318CE	$\pm 1.5$ LSB	15MHz (67ns)	-40 to 85	24 Ld PDIP	E24.6
CA3318CM	$\pm 1.5$ LSB	15MHz (67ns)	-40 to 85	24 Ld SOIC	M24.3
CA3318CD	$\pm 1.5$ LSB	15MHz (67ns)	-40 to 85	24 Ld SBDIP	D24.6

### Pinout

CA3318  
(PDIP, SBDIP, SOIC)  
TOP VIEW



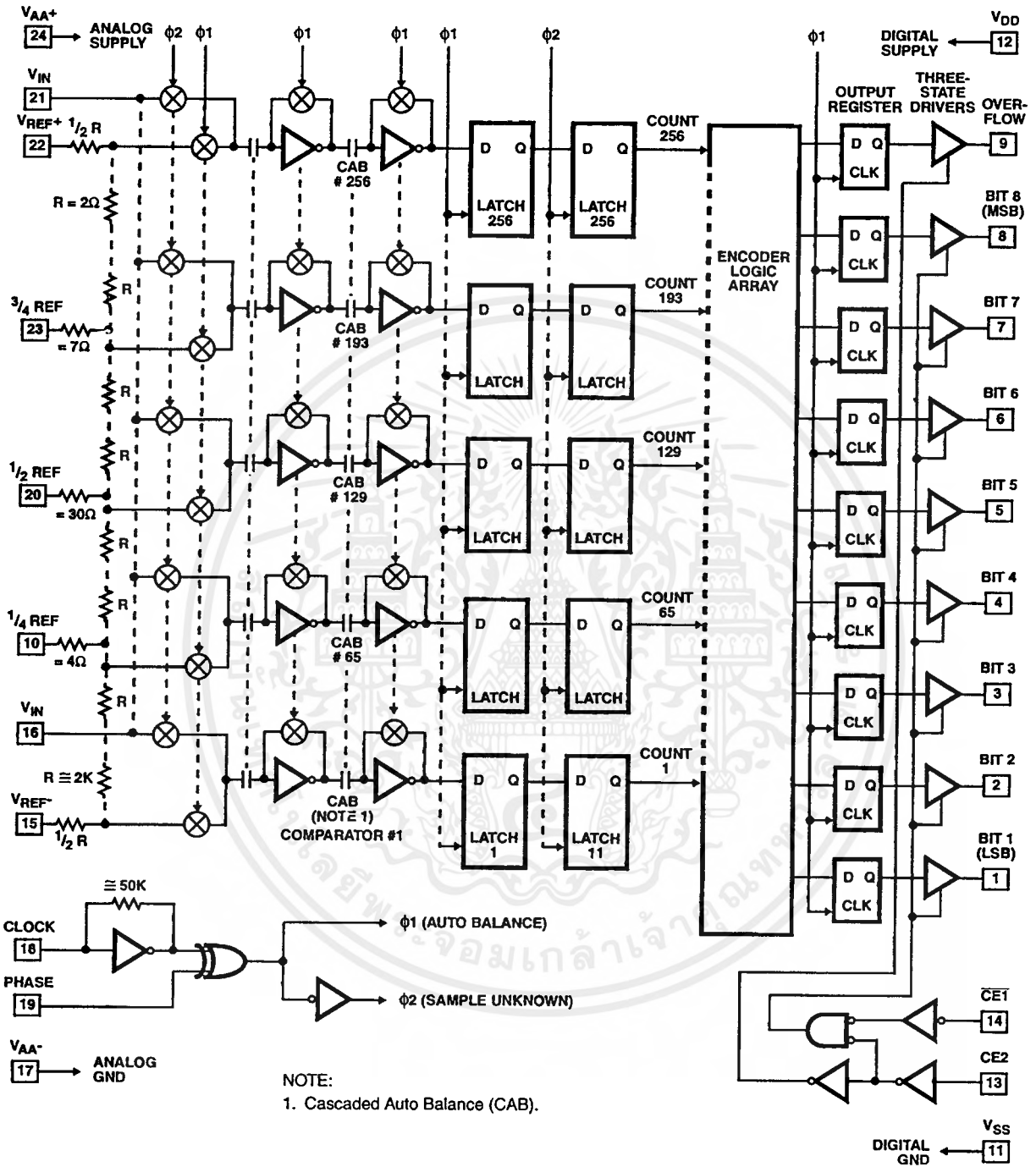
CAUTION: These devices are sensitive to electrostatic discharge; follow proper IC Handling Procedures.  
http://www.intersil.com or 407-727-9207 | Copyright © Intersil Corporation 1999

File Number **3103.1**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อ 4-9 ศึกษาด้านนั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CA3318

Functional Block Diagram



## CA3318

### Absolute Maximum Ratings

DC Supply Voltage Range ( $V_{DD}$ or $V_{AA+}$ )	-0.5V to +8V (Referenced to $V_{SS}$ or $V_{AA-}$ Terminal, Whichever is More Negative)
Input Voltage Range	
CE2 and $\overline{CE1}$	$V_{AA-} - 0.5V$ to $V_{DD} + 0.5V$
Clock, Phase, $V_{REF-}$ , $1/2$ Ref.	$V_{AA-} - 0.5V$ to $V_{AA+} + 0.5V$
Clock, Phase, $V_{REF+}$ , $1/4$ Ref.	$V_{SS} - 0.5V$ to $V_{DD} + 0.5V$
$V_{IN}$ , $3/4$ REF, $V_{REF+}$	$V_{AA-} - 0.5V$ to $V_{AA+} + 7.5V$
Output Voltage Range, Bits 1-8, Overflow (Outputs Off)	$V_{SS} - 0.5V$ to $V_{DD} + 0.5V$
DC Input Current	$\pm 20mA$
Clock, Phase, $\overline{CE1}$ , CE2, $V_{IN}$ , Bits 1-8, Overflow	

### Thermal Information

Thermal Resistance (Typical, Note 1)	$\theta_{JA}$ ( $^{\circ}C/W$ )	$\theta_{JC}$ ( $^{\circ}C/W$ )
SBDIP Package	60	22
PDIP Package	60	N/A
SOIC Package	75	N/A
Maximum Junction Temperature		
Ceramic Package		175 $^{\circ}C$
Plastic Packages		150 $^{\circ}C$
Maximum Storage Temperature Range		-65 $^{\circ}C$ to 150 $^{\circ}C$
Maximum Lead Temperature (Soldering 10s)		265 $^{\circ}C$ (SOIC - Lead Tips Only)

### Operating Conditions

Operating Voltage Range ( $V_{DD}$ or $V_{AA+}$ )	4V (Min) to 7.5V (Max)
Recommended $V_{AA+}$ Operating Range	$V_{DD} \pm 1V$
Recommended $V_{AA-}$ Operating Range	$V_{SS} \pm 1V$
Operating Temperature Range ( $T_A$ )	-40 $^{\circ}C$ to 85 $^{\circ}C$

**CAUTION:** Stresses above those listed in "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. This is a stress only rating and operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of this specification is not implied.

#### NOTE:

- $\theta_{JA}$  is measured with the component mounted on an evaluation PC board in free air.

### Electrical Specifications

At 25 $^{\circ}C$ ,  $V_{AA+} = V_{DD} = 5V$ ,  $V_{REF+} = 6.4V$ ,  $V_{REF-} = V_{AA-} = V_{SS}$ , CLK = 15MHz,  
All Reference Points Adjusted, Unless Otherwise Specified

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>SYSTEM PERFORMANCE</b>					
Resolution		8	-	-	Bits
Integral Linearity Error		-	-	$\pm 1.5$	LSB
Differential Linearity Error		-	-	+1, -0.8	LSB
Offset Error, Unadjusted	$V_{IN} = V_{REF-} + 1/2$ LSB	-0.5	4.5	6.4	LSB
Gain Error Unadjusted	$V_{IN} = V_{REF+} - 1/2$ LSB	-1.5	0	1.5	LSB
<b>DYNAMIC CHARACTERISTICS</b>					
Maximum Input Bandwidth	(Note 1) CA3318	2.5	5.0	-	MHz
Maximum Conversion Speed	CLK = Square Wave	15	17	-	MSPS
Signal to Noise Ratio (SNR) $= \frac{RMS_{Signal}}{RMS_{Noise}}$	$f_S = 15MHz$ , $f_{IN} = 100kHz$	-	47	-	dB
	$f_S = 15MHz$ , $f_{IN} = 4MHz$	-	43	-	dB
Signal to Noise Ratio (SINAD) $= \frac{RMS_{Signal}}{RMS_{Noise+Distortion}}$	$f_S = 15MHz$ , $f_{IN} = 100kHz$	-	45	-	dB
	$f_S = 15MHz$ , $f_{IN} = 4MHz$	-	35	-	dB
Total Harmonic Distortion, THD	$f_S = 15MHz$ , $f_{IN} = 100kHz$	-	-46	-	dBc
	$f_S = 15MHz$ , $f_{IN} = 4MHz$	-	-36	-	dBc
Effective Number of Bits (ENOB)	$f_S = 15MHz$ , $f_{IN} = 100kHz$	-	7.2	-	Bits
	$f_S = 15MHz$ , $f_{IN} = 4MHz$	-	5.5	-	Bits
Differential Gain Error	Unadjusted	-	2	-	%
Differential Phase Error	Unadjusted	-	1	-	%
<b>ANALOG INPUTS</b>					
Full Scale Range, $V_{IN}$ and $(V_{REF+}) - (V_{REF-})$	Notes 2, 4	4	-	7	V
Input Capacitance, $V_{IN}$		-	30	-	pF
Input Current, $V_{IN}$ , (See Text)	$V_{IN} = 5V$ , $V_{REF+} = 5V$	-	-	3.5	mA
<b>REFERENCE INPUTS</b>					
Ladder Impedance		270	500	800	$\Omega$

## CA3318

**Electrical Specifications** At 25°C,  $V_{AA+} = V_{DD} = 5V$ ,  $V_{REF+} = 6.4V$ ,  $V_{REF-} = V_{AA-} = V_{SS}$ , CLK = 15MHz, All Reference Points Adjusted, Unless Otherwise Specified (Continued)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
<b>DIGITAL INPUTS</b>					
Low Level Input Voltage, $V_{OL}$ CE1, CE2	Note 4	-	-	$0.2V_{DD}$	V
Phase, CLK	Note 4	-	-	$0.2V_{AA}$	V
High Level Input Voltage, $V_{IN}$ CE1, CE2	Note 4	$0.7V_{DD}$	-	-	V
Phase, CLK	Note 4	$0.7V_{AA}$	-	-	V
Input Leakage Current, $I_I$ (Except CLK Input)	Note 3	-	$\pm 0.2$	$\pm 5$	$\mu A$
Input Capacitance, $C_I$		-	3	-	pF
<b>DIGITAL OUTPUTS</b>					
Output Low (Sink) Current	$V_O = 0.4V$	4	10	-	mA
Output High (Source) Current	$V_O = 4.5V$	-4	-6	-	mA
Three-State Output Off-State Leakage Current, $I_{OZ}$		-	$\pm 0.2$	$\pm 5$	$\mu A$
Output Capacitance, $C_O$		-	4	-	pF
<b>TIMING CHARACTERISTICS</b>					
Auto Balance Time ( $\phi 1$ )		33	-	$\infty$	ns
Sample Time ( $\phi 2$ )	Note 4	25	-	500	ns
Aperture Delay		-	15	-	ns
Aperture Jitter		-	100	-	ps
Data Valid Time, $t_D$	Note 4	-	50	65	ns
Data Hold Time, $t_H$	Note 4	25	40	-	ns
Output Enable Time, $t_{EN}$		-	18	-	ns
Output Disable Time, $t_{DIS}$		-	18	-	ns
<b>POWER SUPPLY CHARACTERISTICS</b>					
Device Current ( $I_{DD} + I_A$ ) (Excludes $I_{REF}$ )	Continuous Conversion (Note 4)	-	30	60	mA
	Auto Balance ( $\phi 1$ )	-	30	60	mA

**NOTES:**

1. A full scale sine wave input of greater than  $f_{CLOCK}/2$  or the specified input bandwidth (whichever is less) may cause an erroneous code. The -3dB bandwidth for frequency response purposes is greater than 30MHz.
2.  $V_{IN}$  (Full Scale) or  $V_{REF+}$  should not exceed  $V_{AA+} + 1.5V$  for accuracy.
3. The clock input is a CMOS inverter with a 50k $\Omega$  feedback resistor and may be AC coupled with 1V<sub>p-p</sub> minimum source.
4. Parameter not tested, but guaranteed by design or characterization.

### Timing Waveforms

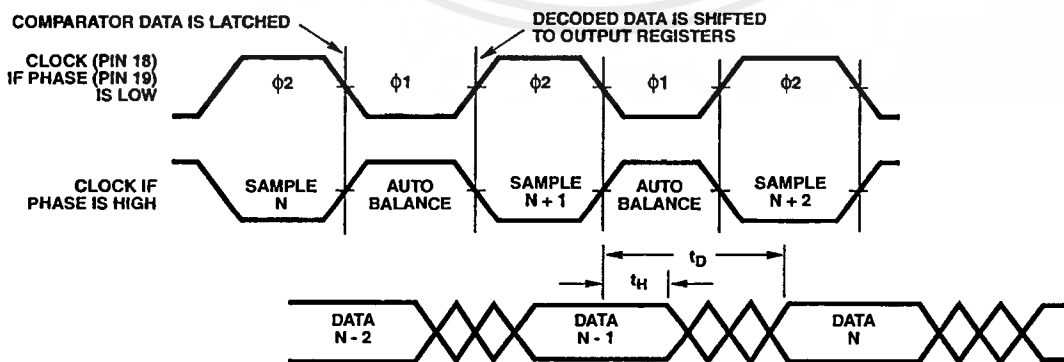


FIGURE 1. INPUT TO OUTPUT TIMING DIAGRAM

Timing Waveforms (Continued)

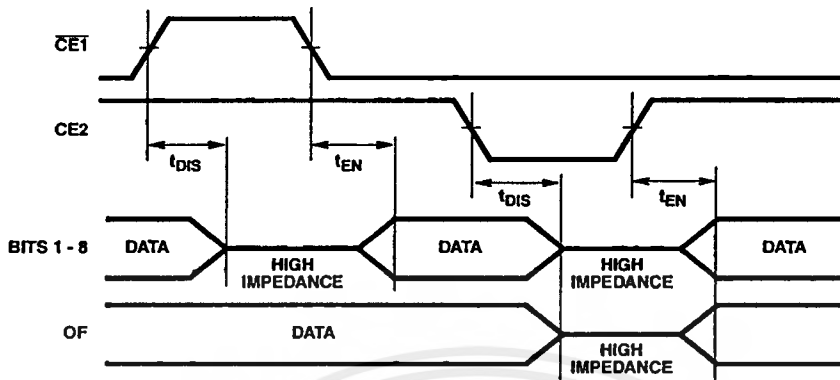


FIGURE 2. OUTPUT ENABLE TIMING DIAGRAM

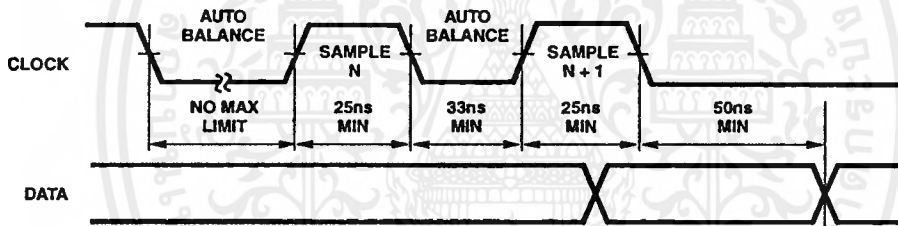


FIGURE 3A. STANDBY IN INDEFINITE AUTO BALANCE (SHOWN WITH PHASE = LOW)

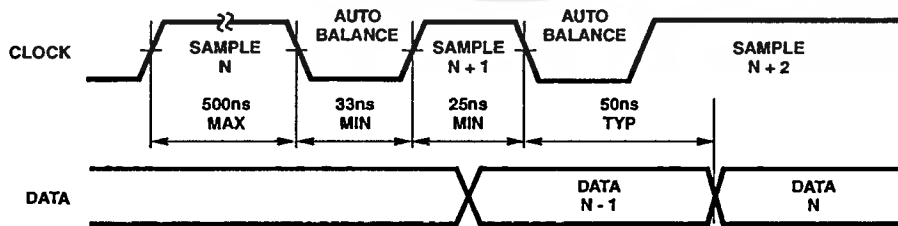


FIGURE 3B. STANDBY IN SAMPLE (SHOWN WITH PHASE = LOW)

FIGURE 3. PULSE MODE OPERATION

Typical Performance Curves

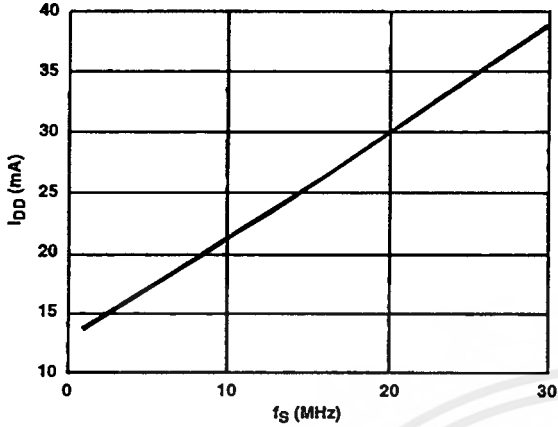


FIGURE 4. DEVICE CURRENT vs SAMPLE FREQUENCY

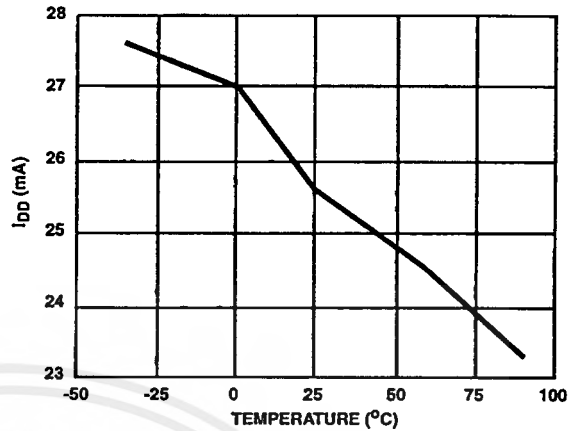


FIGURE 5. DEVICE CURRENT vs TEMPERATURE

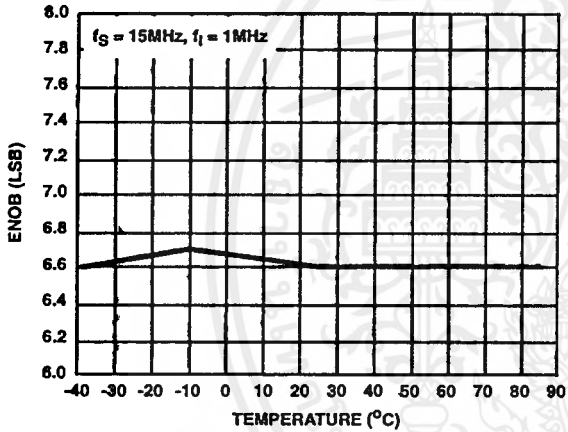


FIGURE 6. ENOB vs TEMPERATURE

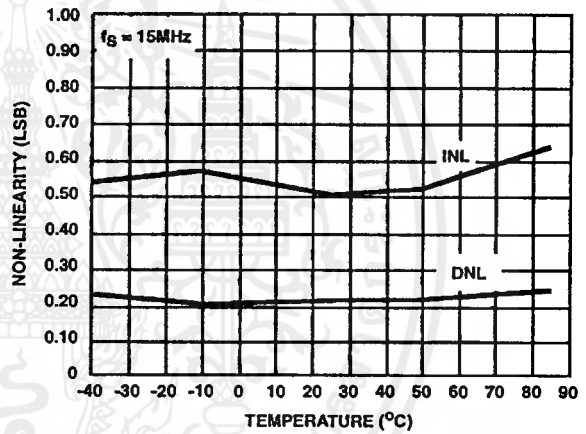


FIGURE 7. NON-LINEARITY vs TEMPERATURE

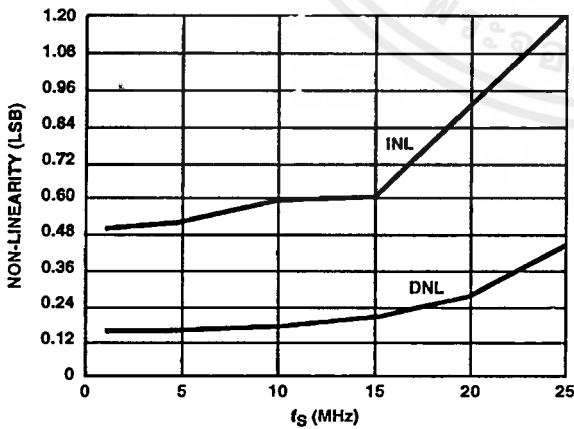


FIGURE 8. NON-LINEARITY vs SAMPLE FREQUENCY

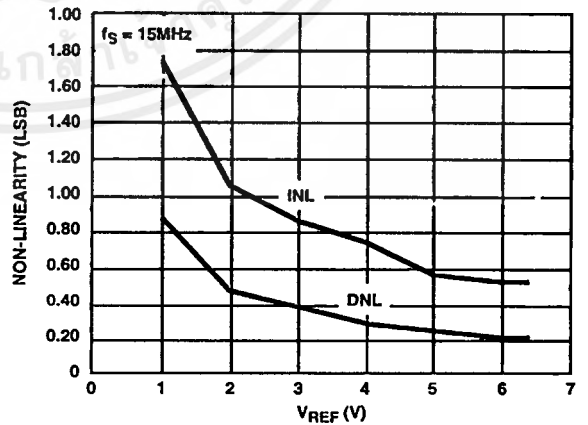


FIGURE 9. NON-LINEARITY vs REFERENCE VOLTAGE

Typical Performance Curves (Continued)

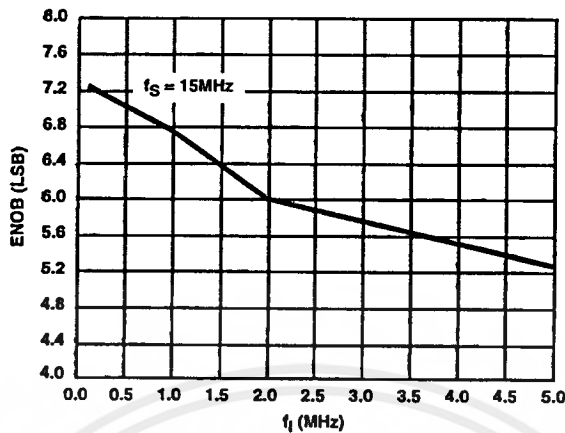


FIGURE 10. ENOB vs INPUT FREQUENCY

Pin Descriptions

PIN	NAME	DESCRIPTION	
1	B1	Bit 1 (LSB)	Output Data Bits (High = True)
2	B2	Bit 2	
3	B3	Bit 3	
4	B4	Bit 4	
5	B5	Bit 5	
6	B6	Bit 6	
7	B7	Bit 7	
8	B8	Bit 8 (MSB)	
9	OF	Overflow	
10	1/4 R	Reference Ladder 1/4 Point	
11	V <sub>SS</sub>	Digital Ground	
12	V <sub>DD</sub>	Digital Power Supply, +5V	
13	CE2	Three-State Output Enable Input, Active Low, See Truth Table.	
14	CE1	Three-State Output Enable Input Active High. See Truth Table.	
15	V <sub>REF-</sub>	Reference Voltage Negative Input	
16	V <sub>IN</sub>	Analog Signal Input	
17	V <sub>AA-</sub>	Analog Ground	
18	CLK	Clock Input	
19	PHASE	Sample clock phase control input. When PHASE is low, "Sample Unknown" occurs when the clock is low and "Auto Balance" occurs when the clock is high (see text).	
20	1/2 R	Reference Ladder Midpoint	
21	V <sub>IN</sub>	Analog Signal Input	
22	V <sub>REF+</sub>	Reference Voltage Positive Input	
23	3/4 R	Reference Ladder 3/4 Point	
24	V <sub>AA+</sub>	Analog Power Supply, +5V	

CHIP ENABLE TRUTH TABLE

CE1	CE2	B1 - B8	OF
0	1	Valid	Valid
1	1	Three-State	Valid
X	0	Three-State	Three-State

X = Don't Care

Theory of Operation

A sequential parallel technique is used by the CA3318 converter to obtain its high speed operation. The sequence consists of the "Auto-Balance" phase, φ1, and the "Sample Unknown" phase, φ2. (Refer to the circuit diagram.) Each conversion takes one clock cycle (see Note). With the phase control (pin 19) high, the "Auto-Balance" (φ1) occurs during the high period of the clock cycle, and the "Sample Unknown" (φ2) occurs during the low period of the clock cycle.

NOTE: The device requires only a single phase clock. The terminology of φ1 and φ2 refers to the high and low periods of the same clock.

During the "Auto-Balance" phase, a transmission switch is used to connect each of the first set of 256 commutating capacitors to their associated ladder reference tap. Those tap voltages will be as follows:

$$V_{TAP}(N) = [(N/256) V_{REF-} - (1/512) V_{REF-}] = [(2N - 1)/512] V_{REF-}$$

Where:

V<sub>TAP</sub>(n) = reference ladder tap voltage at point n,

V<sub>REF-</sub> = voltage across V<sub>REF-</sub> to V<sub>REF+</sub>,

N = tap number (1 through 256).

The other side of these capacitors are connected to single-stage amplifiers whose outputs are shorted to their inputs by switches. This balances the amplifiers at their intrinsic trip points, which is approximately (V<sub>AA+</sub> - V<sub>AA-</sub>)/2. The first set of capacitors now charges to their associated tap voltages.

At the same time a second set of commutating capacitors and amplifiers is also auto-balanced. The balancing of the second-stage amplifier at its intrinsic trip point removes any tracking differences between the first and second amplifier stages. The cascaded auto-balance (CAB) technique, used here, increases comparator sensitivity and temperature tracking.

In the "Sample Unknown" phase, all ladder tap switches and comparator shorting switches are opened. At the same time  $V_{IN}$  is switched to the first set of commutating capacitors. Since the other end of the capacitors are now looking into an effectively open circuit, any input voltage that differs from the previous tap voltage will appear as a voltage shift at the comparator amplifiers. All comparators that had tap voltages greater than  $V_{IN}$  will go to a "high" state at their outputs. All comparators that had tap voltages lower than  $V_{IN}$  will go to a "low" state.

The status of all these comparator amplifiers is AC coupled through the second-stage comparator and stored at the end of this phase ( $\phi_2$ ) by a latching amplifier stage. The latch feeds a second latching stage, triggered at the end of  $\phi_1$ . This delay allows comparators extra settling time. The status of the comparators is decoded by a 256 to 9-bit decoder array, and the results are clocked into a storage register at the end of the next  $\phi_2$ .

A 3-stage buffer is used at the output of the 9 storage registers which are controlled by two chip-enable signals.  $\overline{CE1}$  will independently disable B1 through B6 when it is in a high state.  $CE2$  will independently disable B1 through B8 and the OF buffers when it is in the low state.

To facilitate usage of this device, a phase control input is provided which can effectively complement the clock as it enters the chip.

### Continuous-Clock Operation

One complete conversion cycle can be traced through the CA3318 via the following steps. (Refer to timing diagram.) With the phase control in a "low" state, the rising edge of the clock input will start a "sample" phase. During this entire "high" state of the clock, the comparators will track the input voltage and the first-stage latches will track the comparator outputs. At the falling edge of the clock, all 256 comparator outputs are captured by the 256 latches. This ends the "sample" phase and starts the "auto-balance" phase for the comparators. During this "low" state of the clock, the output of the latches settles and is captured by a second row of latches when the clock returns high. The second-stage latch output propagates through the decode array, and a 9-bit code appears at the D inputs of the output registers. On the next falling edge of the clock, this 9-bit code is shifted into the output registers and appears with time delay  $t_D$  as valid data at the output of the three-state drivers. This also marks the end of the next "sample" phase, thereby repeating the conversion process for this next cycle.

### Pulse-Mode Operation

The CA3318 needs two of the same polarity clock edges to complete a conversion cycle: If, for instance, a negative going clock edge ends sample "N", then data "N" will appear after the next negative going edge. Because of this requirement, and because there is a maximum sample time of 500ns (due to capacitor droop), most pulse or intermittent sample applications will require double clock pulsing.

If an indefinite standby state is desired, standby should be in auto-balance, and the operation would be as in Figure 3A.

If the standby state is known to last less than 500ns and lowest average power is desired, then operation could be as in Figure 3B.

### Increased Accuracy

In most cases the accuracy of the CA3318 should be sufficient without any adjustments. In applications where accuracy is of utmost importance, five adjustments can be made to obtain better accuracy, i.e., offset trim; gain trim; and  $1/4$ ,  $1/2$  and  $3/4$  point trim.

### Offset Trim

In general, offset correction can be done in the preamp circuitry by introducing a DC shift to  $V_{IN}$  or by the offset trim of the op amp. When this is not possible the  $V_{REF-}$  input can be adjusted to produce an offset trim. The theoretical input voltage to produce the first transition is  $1/2$  LSB. The equation is as follows:

$$V_{IN} (0 \text{ to } 1 \text{ transition}) = \frac{1}{2} \text{ LSB} = \frac{1}{2} (V_{REF}/256) \\ = V_{REF}/512.$$

If  $V_{IN}$  for the first transition is less than the theoretical, then a single-turn  $50\Omega$  pot connected between  $V_{REF-}$  and ground will accomplish the adjustment. Set  $V_{IN}$  to  $1/2$  LSB and trim the pot until the 0-to-1 transition occurs.

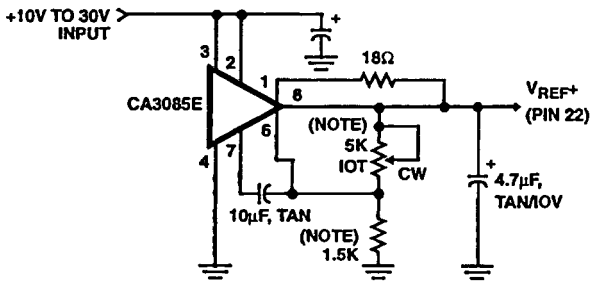
If  $V_{IN}$  for the first transition is greater than the theoretical, then the  $50\Omega$  pot should be connected between  $V_{REF-}$  and a negative voltage of about 2 LSBs. The trim procedure is as stated previously.

### Gain Trim

In general, the gain trim can also be done in the preamp circuitry by introducing a gain adjustment for the op amp. When this is not possible, then a gain adjustment circuit should be made to adjust the reference voltage. To perform this trim,  $V_{IN}$  should be set to the 255 to overflow transition. That voltage is  $1/3$  LSB less than  $V_{REF+}$  and is calculated as follows:

$$V_{IN} (255 \text{ to } 256 \text{ transition}) = V_{REF} - V_{REF}/512 \\ = V_{REF}(511/512).$$

To perform the gain trim, first do the offset trim and then apply the required  $V_{IN}$  for the 255 to overflow transition. Now adjust  $V_{REF+}$  until that transition occurs on the outputs.

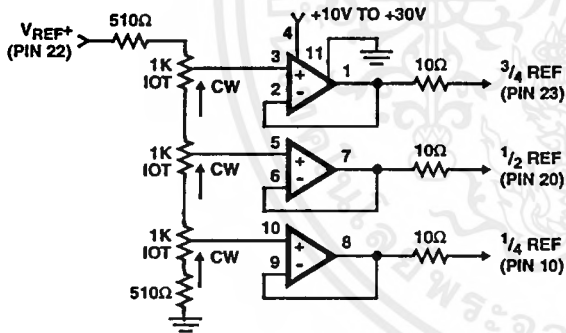


NOTE: Bypass  $V_{REF+}$  to analog GND near A/D with 0.1μF ceramic cap. Parts noted should have low temperature drift.

FIGURE 11. TYPICAL VOLTAGE REFERENCE SOURCE FOR DRIVING  $V_{REF+}$  INPUT

**1/4 Point Trims**

The 1/4, 1/2 and 3/4 points on the reference ladder are brought out for linearity adjusting or if the user wishes to create a nonlinear transfer function. The 1/4 points can be driven by the reference drivers shown (Figure 12) or by 2-K pots connected between  $V_{REF+}$  and  $V_{REF-}$ . The 1/2 (mid-) point should be set first by applying an input of  $257/512 \times (V_{REF})$  and adjusting for an output changing from 128 to 129. Similarly the 1/4 and 3/4 points can be set with inputs of  $129/512$  and  $385/512 \times (V_{REF})$  and adjusting for counts of 192 to 193 and 64 to 65. (Note that the points are actually 1/4, 1/2 and 3/4 of full scale +1 LSB.)



NOTES:

1. All Op Amps = 3/4 CA324E.
2. Bypass all reference points to analog ground near A/D with 0.1μF ceramic caps.
3. Adjust  $V_{REF+}$  first, then 1/3, 3/4 and 1/4 points.

FIGURE 12. TYPICAL 1/4 POINT DRIVERS FOR ADJUSTING LINEARITY (USE FOR MAXIMUM LINEARITY)

**9-Bit Resolution**

To obtain 9-bit resolution, two CA3318s can be wired together. Necessary ingredients include an open-ended ladder network, an overflow indicator, three-state outputs, and chip-enable controls - all of which are available on the CA3318.

The first step for connecting a 9-bit circuit is to totem-pole the ladder networks, as illustrated in Figure 13. Since the absolute resistance value of each ladder may vary, external trim of the mid-reference voltage may be required.

The overflow output of the lower device now becomes the ninth bit. When it goes high, all counts must come from the upper device. When it goes low, all counts must come from the lower device. This is done simply by connecting the lower overflow signal to the CE1 control of the lower A/D converter and the CE2 control of the upper A/D converter. The three-state outputs of the two devices (bits 1 through 8) are now connected in parallel to complete the circuitry. The complete circuit for a 9-bit A/D converter is shown in Figure 13.

**Grounding/Bypassing**

The analog and digital supply grounds of a system should be kept separate and only connected at the A/D. This keeps digital ground noise out of the analog data to be converted. Reference drivers, input amps, reference taps, and the  $V_{AA}$  supply should be bypassed at the A/D to the analog side of the ground. See Figure 15 for a block diagram of this concept. All capacitors shown should be low impedance 0.1μF ceramics and should be mounted as close to the A/D as possible. If  $V_{AA+}$  is derived from  $V_{DD}$ , a small (10Ω resistor or inductor and additional filtering (4.7μF tantalum) may be used to keep digital noise out of the analog system.

**Input Loading**

The CA3318 outputs a current pulse to the  $V_{IN}$  terminal at the start of every sample period. This is due to capacitor charging and switch feedthrough and varies with input voltage and sampling rate. The signal source must be capable of recovering from the pulse before the end of the sample period to guarantee a valid signal for the A/D to convert. Suitable high speed amplifiers include the HA-5033, HA-2542; and CA3450. Figure 16 is an example of an amplifier which recovers fast enough for sampling at 15MHz.

**Output Loading**

The CMOS digital output stage, although capable of driving large loads, will reflect these loads into the local ground. It is recommended that a local QMOS buffer such as CD74HC541 E be used to isolate capacitive loads.

**Definitions**

**Dynamic Performance Definitions**

Fast Fourier Transform (FFT) techniques are used to evaluate the dynamic performance of the converter. A low distortion sine wave is applied to the input, it is sampled, and the output is stored in RAM. The data is then transformed into the frequency domain with a 4096 point FFT and analyzed to evaluate the dynamic performance of the A/D. The sine wave input to the part is -0.5dB down from fullscale for all these tests.

**Signal-to-Noise (SNR)**

SNR is the measured RMS signal to RMS noise at a specified input and sampling frequency. The noise is the RMS sum of all of the spectral components except the fundamental and the first five harmonics.

## CA3318

### Signal-to-Noise + Distortion Ratio (SINAD)

SINAD is the measured RMS signal to RMS sum of all other spectral components below the Nyquist frequency excluding DC.

### Effective Number of Bits (ENOB)

The effective number of bits (ENOB) is derived from the SINAD data. ENOB is calculated from:

$$\text{ENOB} = (\text{SINAD} - 1.76 + V_{\text{CORR}}) / 6.02,$$

where:  $V_{\text{CORR}} = 0.5\text{dB}$ .

### Total Harmonic Distortion (THD)

THD is the ratio of the RMS sum of the first 5 harmonic components to the RMS value of the measured input signal.

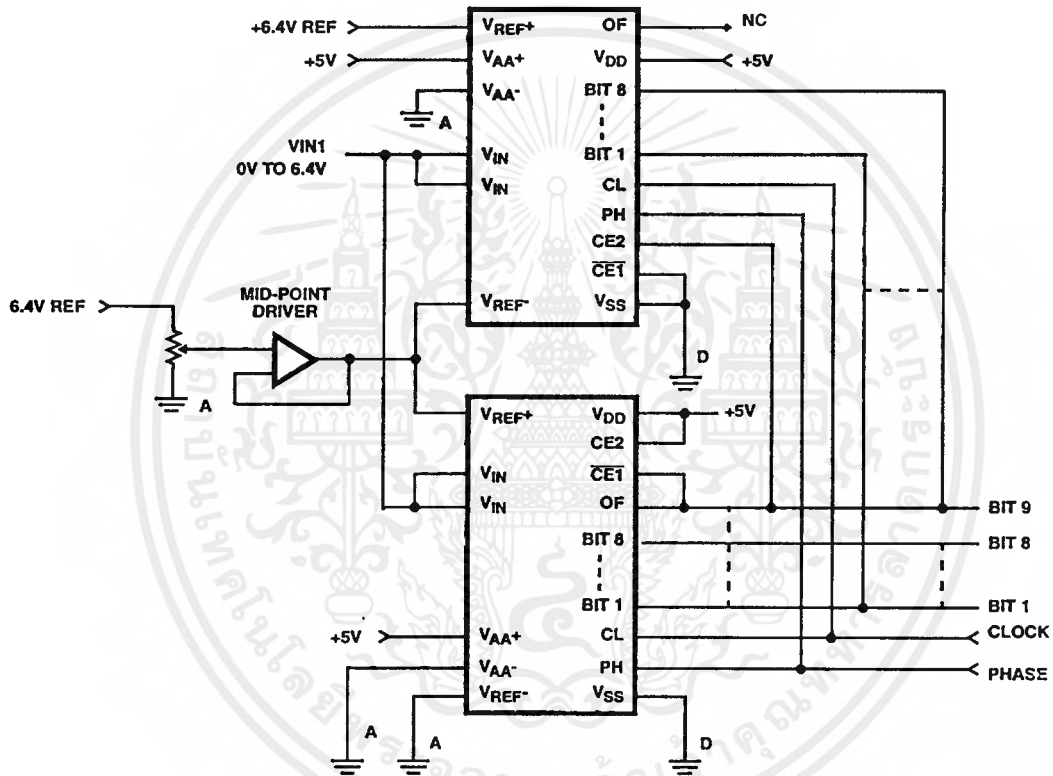


FIGURE 13. USING TWO CA3318s FOR 9-BIT RESOLUTION

# CA3318

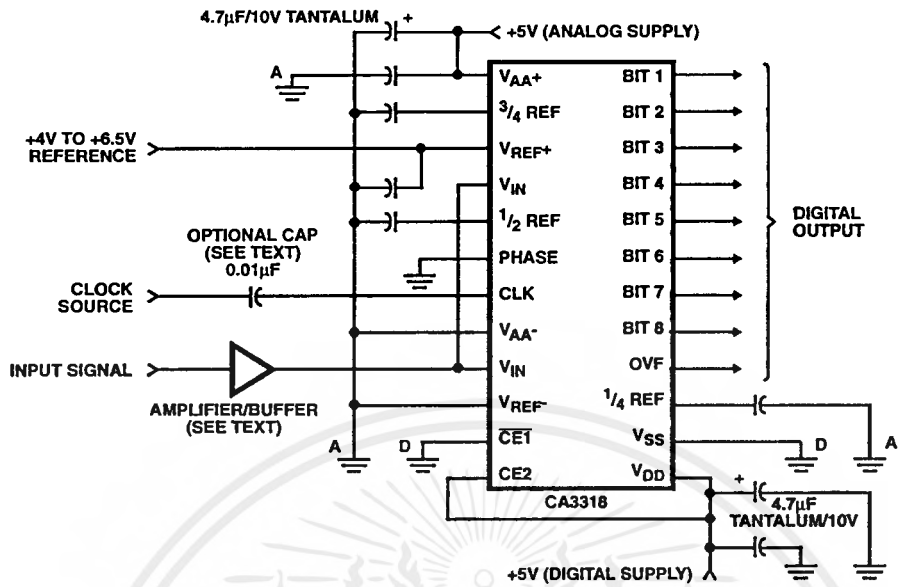


FIGURE 14. TYPICAL CIRCUIT CONFIGURATION FOR THE CA3318 WITH NO LINEARITY ADJUST

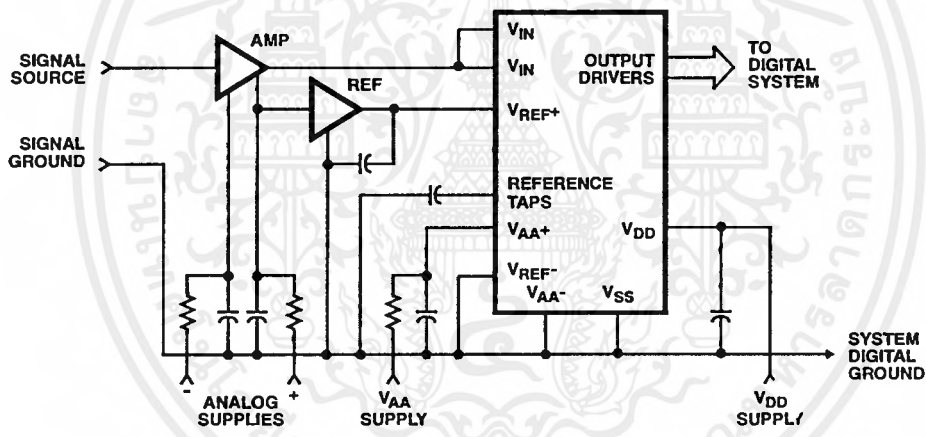
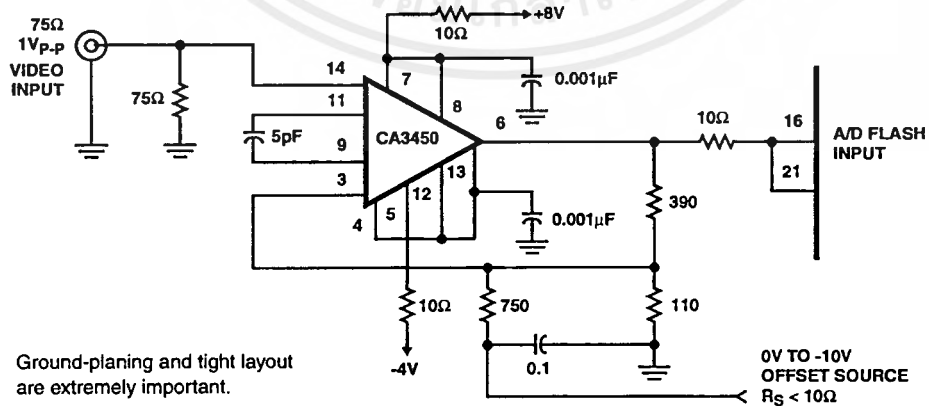


FIGURE 15. TYPICAL SYSTEM GROUNDING/BYPASSING



NOTE: Ground-planing and tight layout are extremely important.

FIGURE 16. TYPICAL HIGH BANDWIDTH AMPLIFIER FOR DRIVING THE CA3318

TABLE 1. OUTPUT CODE TABLE

CODE DESCRIPTION	(NOTE 1) INPUT VOLTAGE		BINARY OUTPUT CODE									DECIMAL COUNT
	V <sub>REF</sub> 6.40V (V)	V <sub>REF</sub> 5.12V (V)	OF	MSB B8	B7	B6	B5	B4	B3	B2	LSB B1	
Zero	0.00	0.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 LSB	0.025	0.02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2 LSB	0.05	0.04	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
•	•	•										•
•	•	•										•
•	•	•										•
1/4 Full Scale	1.60	1.28	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
•	•	•										•
•	•	•										•
•	•	•										•
1/2 Full Scale - 1 LSB	3.175	2.54	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
1/2 Full Scale	3.20	2.56	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1/2 Full Scale + 1 LSB	3.225	2.58	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
•	•	•										•
•	•	•										•
•	•	•										•
3/4 Full Scale	4.80	3.84	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
•	•	•										•
•	•	•										•
•	•	•										•
Full Scale - 1 LSB	6.35	5.08	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Full Scale	6.375	5.10	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Over Flow	6.40	5.12	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

NOTE: 1. The voltages listed above are the ideal centers of each output code shown as a function of its associated reference voltage.

### Reducing Power

Most power is consumed while in the auto-balance state. When operating at lower than 15MHz clock speed, power can be reduced by stretching the sample ( $\phi_2$ ) time. The constraints are a minimum balance time ( $\phi_1$ ) of 33ns, and a maximum sample time of 500ns. Longer sample times cause droop in the auto-balance capacitors. Power can also be reduced in the reference string by switching the reference on only during auto-balance.

### Clock Input

The Clock and Phase inputs feed buffers referenced to  $V_{AA+}$  and  $V_{AA-}$ . Phase should be tied to one of these two potentials, while the clock (if DC coupled) should be driven at least from 0.2 to 0.7 x ( $V_{AA+} - V_{AA-}$ ). The clock may also be AC coupled with at least a 1V<sub>P-P</sub> swing. This allows TTL drive levels or 5V QMOS levels when  $V_{AA+}$  is greater than 5V.

All Intersil semiconductor products are manufactured, assembled and tested under ISO9000 quality systems certification.

*Intersil products are sold by description only. Intersil Corporation reserves the right to make changes in circuit design and/or specifications at any time without notice. Accordingly, the reader is cautioned to verify that data sheets are current before placing orders. Information furnished by Intersil is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Intersil or its subsidiaries for its use; nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Intersil or its subsidiaries.*

For information regarding Intersil Corporation and its products, see web site <http://www.intersil.com>

## LF351 Wide Bandwidth JFET Input Operational Amplifier

### General Description

The LF351 is a low cost high speed JFET input operational amplifier with an internally trimmed input offset voltage (BI-FET II™ technology). The device requires a low supply current and yet maintains a large gain bandwidth product and a fast slew rate. In addition, well matched high voltage JFET input devices provide very low input bias and offset currents. The LF351 is pin compatible with the standard LM741 and uses the same offset voltage adjustment circuitry. This feature allows designers to immediately upgrade the overall performance of existing LM741 designs.

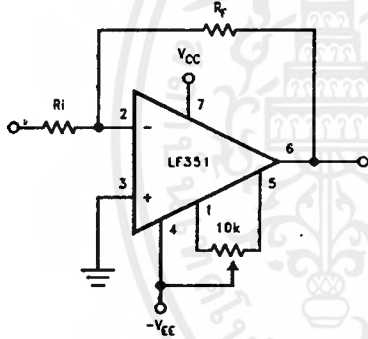
The LF351 may be used in applications such as high speed integrators, fast D/A converters, sample-and-hold circuits and many other circuits requiring low input offset voltage, low input bias current, high input impedance, high slew rate and wide bandwidth. The device has low noise and offset voltage drift, but for applications where these requirements are critical, the LF356 is recommended. If maximum supply

current is important, however, the LF351 is the better choice.

### Features

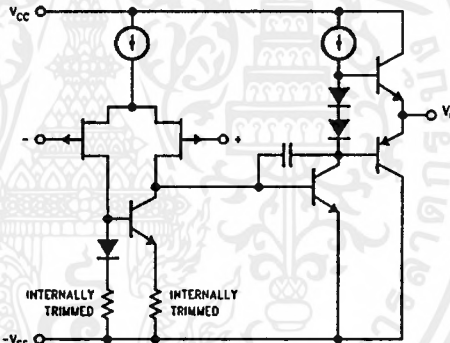
- Internally trimmed offset voltage 10 mV
- Low input bias current 50 pA
- Low input noise voltage 25 nV/√Hz
- Low input noise current 0.01 pA/√Hz
- Wide gain bandwidth 4 MHz
- High slew rate 13 V/μs
- Low supply current 1.8 mA
- High input impedance 10<sup>12</sup>Ω
- Low total harmonic distortion  $A_V \approx 10$ ,  $R_L = 10k$ ,  $V_O = 20$  Vp-p, BW = 20 Hz–20 kHz <0.02%
- Low 1/f noise corner 50 Hz
- Fast settling time to 0.01% 2 μs

### Typical Connection



TL/H/5648-11

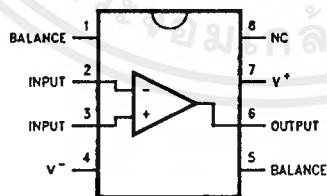
### Simplified Schematic



TL/H/5648-12

### Connection Diagrams

#### Dual-In-Line Package



TL/H/5648-13

Order Number LF351M or LF351N  
See NS Package Number M08A or N08E

LF351 Wide Bandwidth JFET Input Operational Amplifier

## Absolute Maximum Ratings

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

Supply Voltage	± 18V
Power Dissipation (Notes 1 and 6)	670 mW
Operating Temperature Range	0°C to +70°C
T <sub>J(MAX)</sub>	115°C
Differential Input Voltage	± 30V
Input Voltage Range (Note 2)	± 15V
Output Short Circuit Duration	Continuous
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temp. (Soldering, 10 sec.)	
Metal Can	300°C
DIP	260°C

θ <sub>JA</sub>	N Package	120°C/W
	M Package	TBD
Soldering Information		
	Dual-In-Line Package	
	Soldering (10 sec.)	260°C
	Small Outline Package	
	Vapor Phase (60 sec.)	215°C
	Infrared (15 sec.)	220°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.		
ESD rating to be determined.		

## DC Electrical Characteristics (Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	LF351			Units
			Min	Typ	Max	
V <sub>OS</sub>	Input Offset Voltage	R <sub>S</sub> = 10 kΩ, T <sub>A</sub> = 25°C Over Temperature		5	10	mV
					13	mV
ΔV <sub>OS</sub> /ΔT	Average TC of Input Offset Voltage	R <sub>S</sub> = 10 kΩ		10		μV/°C
I <sub>OS</sub>	Input Offset Current	T <sub>J</sub> = 25°C, (Notes 3, 4) T <sub>J</sub> ≤ 70°C		25	100	pA
					4	nA
I <sub>B</sub>	Input Bias Current	T <sub>J</sub> = 25°C, (Notes 3, 4) T <sub>J</sub> ≤ 70°C		50	200	pA
					8	nA
R <sub>IN</sub>	Input Resistance	T <sub>J</sub> = 25°C		10 <sup>12</sup>		Ω
A <sub>VOL</sub>	Large Signal Voltage Gain	V <sub>S</sub> = ± 15V, T <sub>A</sub> = 25°C V <sub>O</sub> = ± 10V, R <sub>L</sub> = 2 kΩ Over Temperature	25	100		V/mV
			15			V/mV
V <sub>O</sub>	Output Voltage Swing	V <sub>S</sub> = ± 15V, R <sub>L</sub> = 10 kΩ	± 12	± 13.5		V
V <sub>CM</sub>	Input Common-Mode Voltage Range	V <sub>S</sub> = ± 15V		+ 15		V
				± 11	- 12	V
CMRR	Common-Mode Rejection Ratio	R <sub>S</sub> ≤ 10 kΩ	70	100		dB
PSRR	Supply Voltage Rejection Ratio	(Note 5)	70	100		dB
I <sub>S</sub>	Supply Current			1.6	3.4	mA

### AC Electrical Characteristics (Note 3)

Symbol	Parameter	Conditions	LF351			Units
			Min	Typ	Max	
SR	Slew Rate	$V_S = \pm 15V, T_A = 25^\circ C$		13		V/ $\mu s$
GBW	Gain Bandwidth Product	$V_S = \pm 15V, T_A = 25^\circ C$		4		MHz
$e_n$	Equivalent Input Noise Voltage	$T_A = 25^\circ C, R_S = 100\Omega, f = 1000 \text{ Hz}$		25		nV/ $\sqrt{Hz}$
$i_n$	Equivalent Input Noise Current	$T_J = 25^\circ C, f = 1000 \text{ Hz}$		0.01		pA/ $\sqrt{Hz}$

Note 1: For operating at elevated temperature, the device must be derated based on the thermal resistance,  $\theta_{JA}$ .

Note 2: Unless otherwise specified the absolute maximum negative input voltage is equal to the negative power supply voltage.

Note 3: These specifications apply for  $V_S = \pm 15V$  and  $0^\circ C \leq T_A \leq +70^\circ C$ .  $V_{OS}$ ,  $I_B$  and  $I_{OS}$  are measured at  $V_{CM} = 0$ .

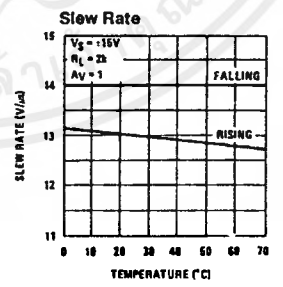
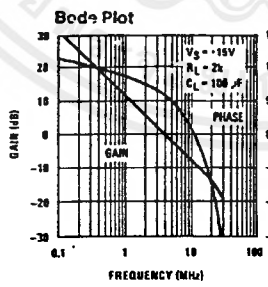
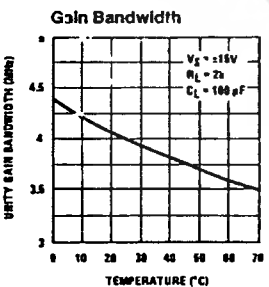
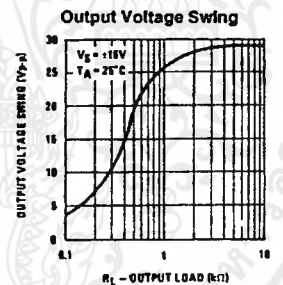
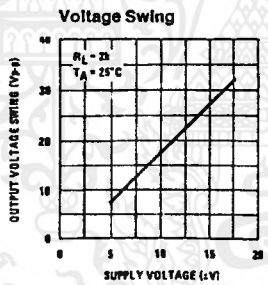
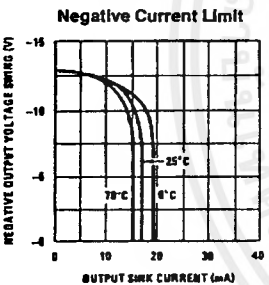
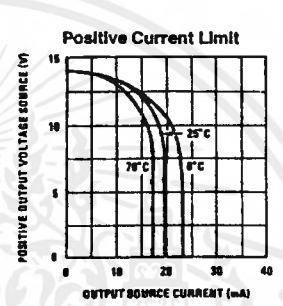
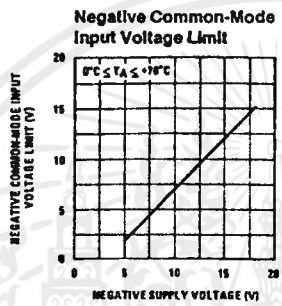
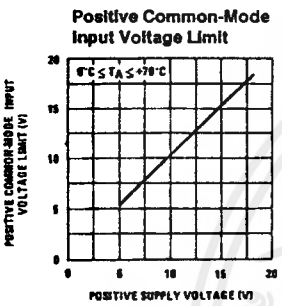
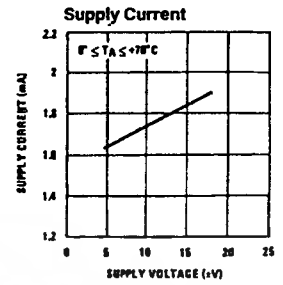
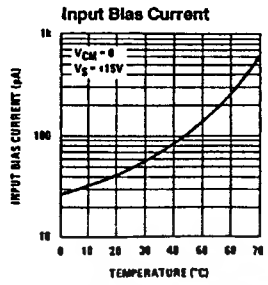
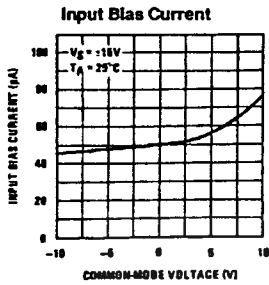
Note 4: The input bias currents are junction leakage currents which approximately double for every  $10^\circ C$  increase in the junction temperature,  $T_J$ . Due to the limited production test time, the input bias currents measured are correlated to junction temperature. In normal operation the junction temperature rises above the ambient temperature as a result of internal power dissipation,  $P_D$ .  $T_J = T_A + \theta_{JA} P_D$  where  $\theta_{JA}$  is the thermal resistance from junction to ambient. Use of a heat sink is recommended if input bias current is to be kept to a minimum.

Note 5: Supply voltage rejection ratio is measured for both supply magnitudes increasing or decreasing simultaneously in accordance with common practice. From  $\pm 15V$  to  $\pm 5V$ .

Note 6: Max. Power Dissipation is defined by the package characteristics. Operating the part near the Max. Power Dissipation may cause the part to operate outside guaranteed limits.



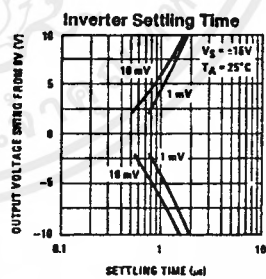
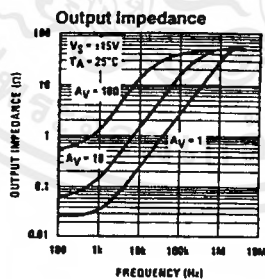
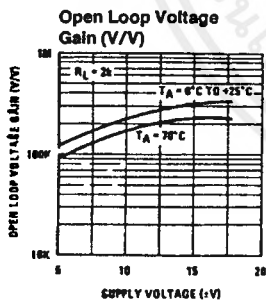
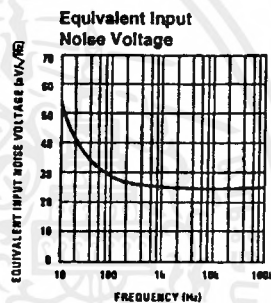
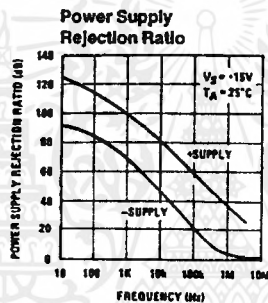
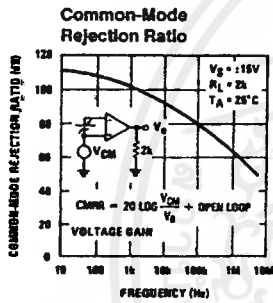
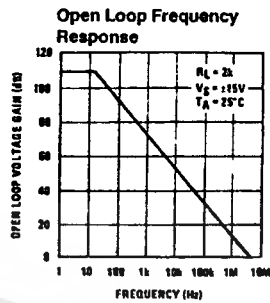
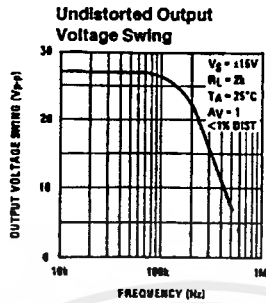
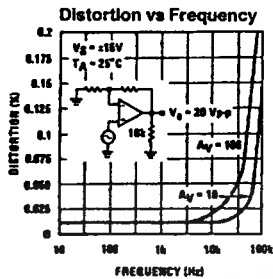
# Typical Performance Characteristics



TL/H/5648-2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

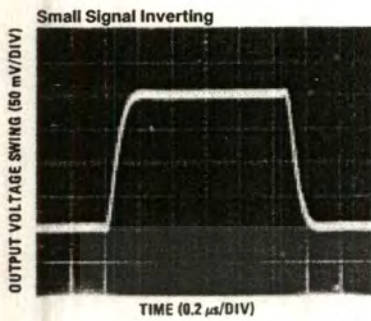
# Typical Performance Characteristics (Continued)



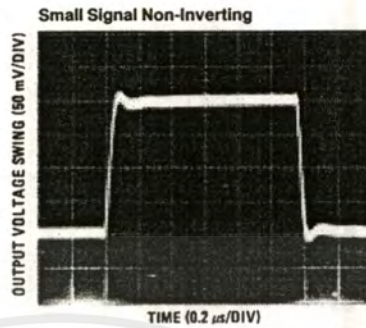
TL/H/5648-3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

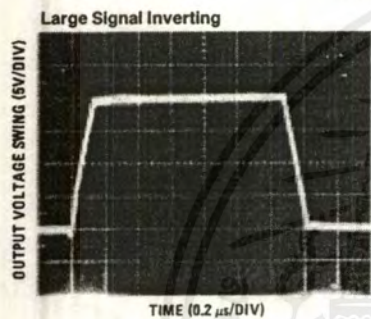
## Pulse Response



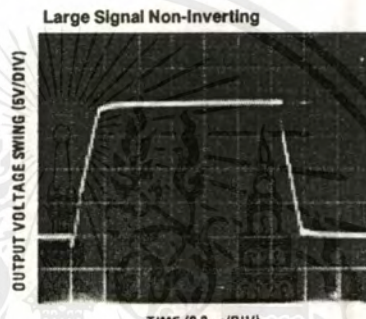
TL/H/5648-4



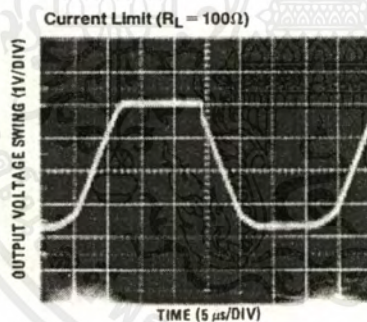
TL/H/5648-5



TL/H/5648-6



TL/H/5648-7



TL/H/5648-8

## Application Hints

The LF351 is an op amp with an internally trimmed input offset voltage and JFET input devices (BI-FET II™). These JFETs have large reverse breakdown voltages from gate to source and drain eliminating the need for clamps across the inputs. Therefore, large differential input voltages can easily be accommodated without a large increase in input current. The maximum differential input voltage is independent of the supply voltages. However, neither of the input voltages should be allowed to exceed the negative supply as this will

cause large currents to flow which can result in a destroyed unit.

Exceeding the negative common-mode limit on either input will force the output to a high state, potentially causing a reversal of phase to the output.

Exceeding the negative common-mode limit on both inputs will force the amplifier output to a high state. In neither case does a latch occur since raising the input back within the

### Application Hints (Continued)

common-mode range again puts the input stage and thus the amplifier in a normal operating mode.

Exceeding the positive common-mode limit on a single input will not change the phase of the output; however, if both inputs exceed the limit, the output of the amplifier will be forced to a high state.

The amplifier will operate with a common-mode input voltage equal to the positive supply; however, the gain bandwidth and slew rate may be decreased in this condition. When the negative common-mode voltage swings to within 3V of the negative supply, an increase in input offset voltage may occur.

The LF351 is biased by a zener reference which allows normal circuit operation on  $\pm 4V$  power supplies. Supply voltages less than these may result in lower gain bandwidth and slew rate.

The LF351 will drive a  $2\text{ k}\Omega$  load resistance to  $\pm 10V$  over the full temperature range of  $0^\circ\text{C}$  to  $+70^\circ\text{C}$ . If the amplifier is forced to drive heavier load currents, however, an increase in input offset voltage may occur on the negative voltage swing and finally reach an active current limit on both positive and negative swings.

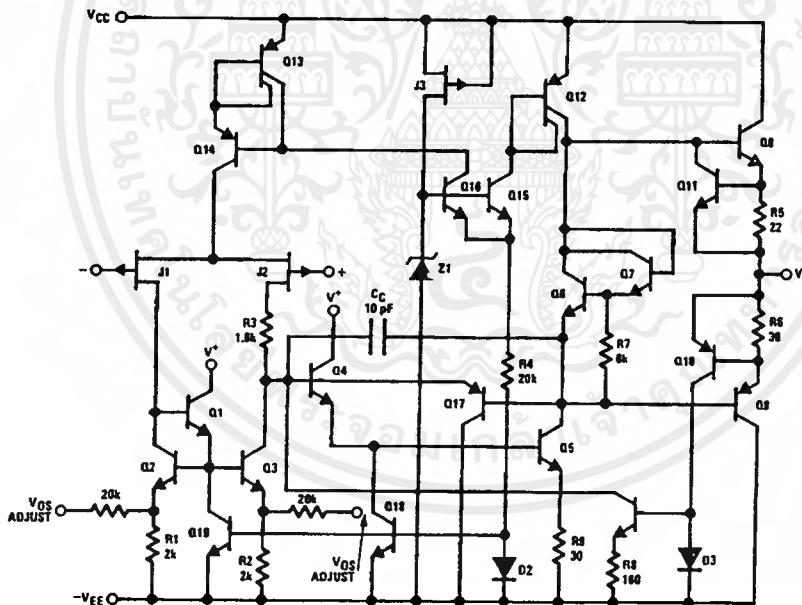
Precautions should be taken to ensure that the power supply for the integrated circuit never becomes reversed in polarity or that the unit is not inadvertently installed back-

wards in a socket as an unlimited current surge through the resulting forward diode within the IC could cause fusing of the internal conductors and result in a destroyed unit.

As with most amplifiers, care should be taken with lead dress, component placement and supply decoupling in order to ensure stability. For example, resistors from the output to an input should be placed with the body close to the input to minimize "pick-up" and maximize the frequency of the feedback pole by minimizing the capacitance from the input to ground.

A feedback pole is created when the feedback around an amplifier is resistive. The parallel resistance and capacitance from the input of the device (usually the inverting input) to AC ground set the frequency of the pole. In many instances the frequency of this pole is much greater than the expected 3 dB frequency of the closed loop gain and consequently there is negligible effect on stability margin. However, if the feedback pole is less than approximately 6 times the expected 3 dB frequency a lead capacitor should be placed from the output to the input of the op amp. The value of the added capacitor should be such that the RC time constant of this capacitor and the resistance it parallels is greater than or equal to the original feedback pole time constant.

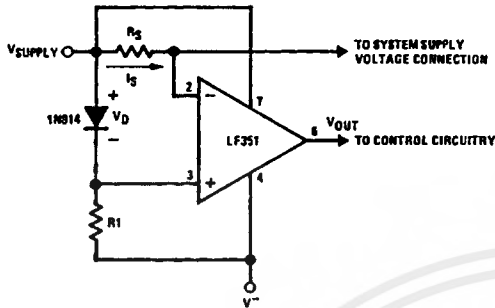
### Detailed Schematic



TL/H/5646-9

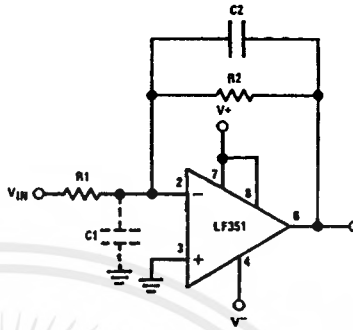
## Typical Applications

### Supply Current Indicator/Limiter



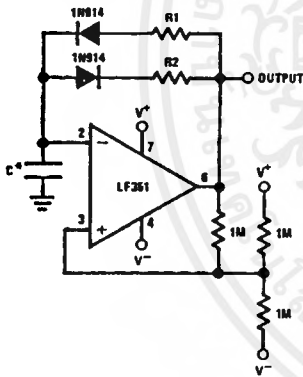
\*  $V_{OUT}$  switches high when  $R_S I_S > V_D$

### Hi- $Z_{IN}$ Inverting Amplifier



Parasitic input capacitance  $C_1 = (3 \text{ pF for LF351 plus any additional layout capacitance})$  interacts with feedback elements and creates undesirable high frequency pole. To compensate, add  $C_2$  such that:  $R_2 C_2 = R_1 C_1$ .

### Ultra-Low (or High) Duty Cycle Pulse Generator



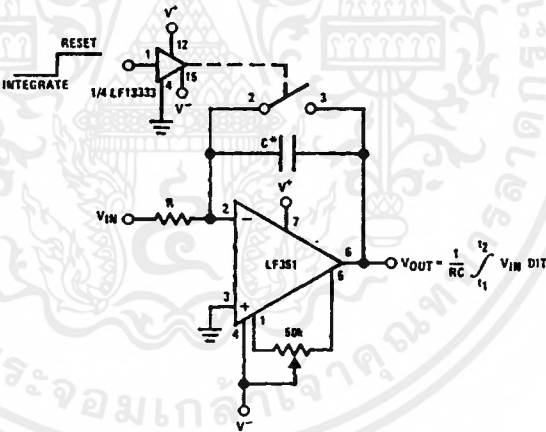
\*  $t_{OUTPUT HIGH} \approx R_1 C \ln \frac{4.8 - 2V_S}{4.8 - V_S}$

\*  $t_{OUTPUT LOW} \approx R_2 C \ln \frac{2V_S - 7.8}{V_S - 7.8}$

where  $V_S = V^+ + |V^-|$

\*low leakage capacitor

### Long Time Integrator

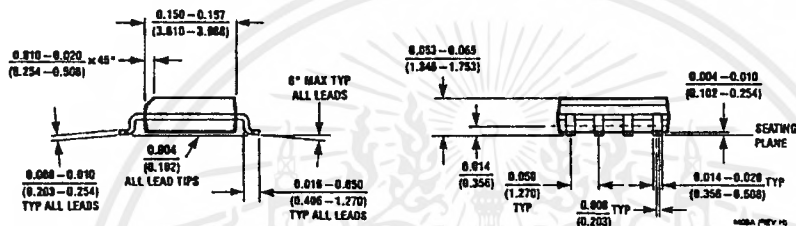
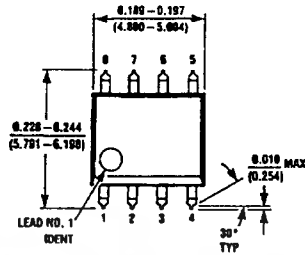


\*Low leakage capacitor

\* 50k pot used for less sensitive  $V_{OS}$  adjust

TL/H/5648-10

**Physical Dimensions** inches (millimeters)



SO Package (M)  
Order Number LF351M  
NS Package Number M08A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





ง. โปรแกรมที่ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**unit ESP4;**

**interface**

**uses**

**Windows, Messages, SysUtils, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs,  
ExtCtrls, StdCtrls, Buttons, ComCtrls, Menus, ExtDlgs, Spin, Printers;**

**type**

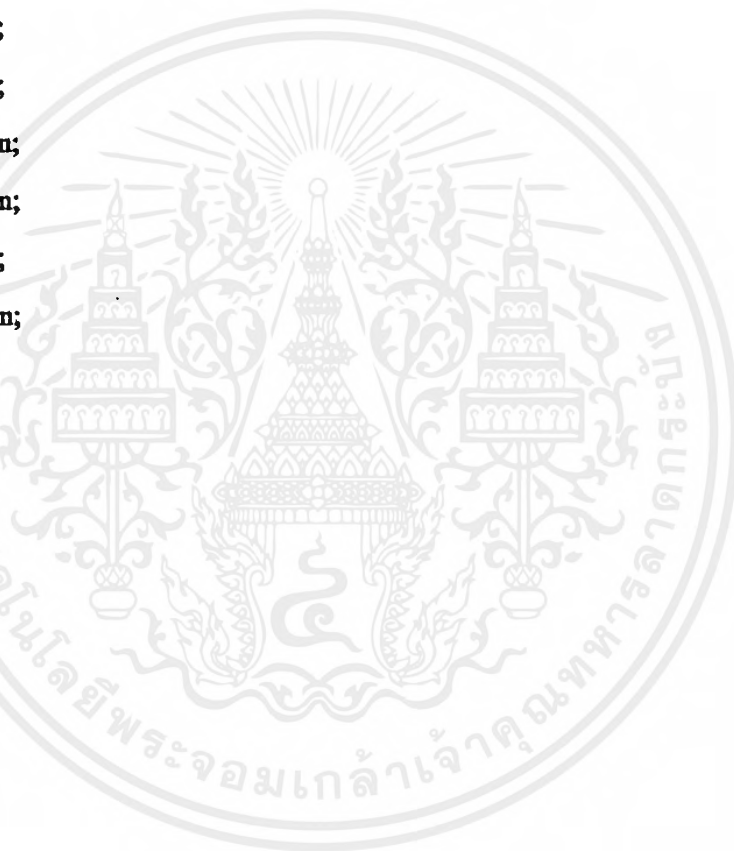
**TForm1 = class(TForm)  
GroupBox1: TGroupBox;  
Bevel1: TBevel;  
SpeedButton1: TSpeedButton;  
Timer1: TTimer;  
TrackBar1: TTrackBar;  
TrackBar2: TTrackBar;  
MainMenu1: TMainMenu;  
Menu1: TMenuItem;  
Open1: TMenuItem;  
Save1: TMenuItem;  
OpenPictureDialog1: TOpenPictureDialog;  
SavePictureDialog1: TSavePictureDialog;  
Image1: TImage;  
N1: TMenuItem;  
Exit1: TMenuItem;  
PictureFile1: TMenuItem;  
PrintDialog1: TPrintDialog;  
PrinterSetupDialog1: TPrinterSetupDialog;  
Timer2: TTimer;**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**StatusBar1: TStatusBar;**  
**Print1: TMenuItem;**  
**PrintSetup1: TMenuItem;**  
**Project1: TMenuItem;**  
**List1: TMenuItem;**  
**OpenDialog1: TOpenDialog;**  
**Panel1: TPanel;**  
**Image2: TImage;**  
**BitBtn1: TBitBtn;**  
**BitBtn2: TBitBtn;**  
**BitBtn3: TBitBtn;**  
**SpinEdit1: TSpinEdit;**  
**Label3: TLabel;**  
**Timer3: TTimer;**  
**Timer4: TTimer;**  
**Timer5: TTimer;**  
**ddd1: TMenuItem;**  
**N2: TMenuItem;**  
**Panel2: TPanel;**  
**Button1: TButton;**  
**Button2: TButton;**  
**Button3: TButton;**  
**Button4: TButton;**  
**Button5: TButton;**  
**SpinEdit2: TSpinEdit;**  
**SpinEdit3: TSpinEdit;**  
**SpinEdit4: TSpinEdit;**  
**SpinEdit5: TSpinEdit;**  
**Panel3: TPanel;**  
**Timer6: TTimer;**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Timer7: TTimer;**  
**Timer8: TTimer;**  
**Timer9: TTimer;**  
**Panel4: TPanel;**  
**Panel5: TPanel;**  
**Button6: TButton;**  
**Button7: TButton;**  
**Button8: TButton;**  
**Button9: TButton;**  
**Button10: TButton;**  
**Button11: TButton;**  
**Timer10: TTimer;**  
**Button12: TButton;**  
**Panel6: TPanel;**  
**Panel7: TPanel;**  
**Panel8: TPanel;**  
**Panel9: TPanel;**  
**Panel10: TPanel;**  
**Panel11: TPanel;**  
**Panel12: TPanel;**  
**Panel13: TPanel;**  
**Panel14: TPanel;**  
**Panel15: TPanel;**  
**Panel16: TPanel;**  
**Panel17: TPanel;**  
**Button13: TButton;**  
**Panel18: TPanel;**  
**Timer11: TTimer;**  
**Panel19: TPanel;**  
**Panel20: TPanel;**



Label1: TLabel;  
Label2: TLabel;  
Label4: TLabel;  
SpinEdit6: TSpinEdit;  
SpinEdit7: TSpinEdit;  
SpinEdit8: TSpinEdit;  
SpinEdit9: TSpinEdit;  
SpinEdit10: TSpinEdit;  
Panel21: TPanel;  
N3: TMenuItem;  
procedure Timer1Timer(Sender: TObject);  
procedure TrackBar1Change(Sender: TObject);  
procedure TrackBar2Change(Sender: TObject);  
procedure SpeedButton1Click(Sender: TObject);  
procedure TrackBar3Change(Sender: TObject);  
procedure Exit1Click(Sender: TObject);  
procedure Save1Click(Sender: TObject);  
procedure PictureFile1Click(Sender: TObject);  
procedure FormCreate(Sender: TObject);  
procedure Timer2Timer(Sender: TObject);  
procedure Print1Click(Sender: TObject);  
procedure List1Click(Sender: TObject);  
procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);  
procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);  
procedure Timer3Timer(Sender: TObject);  
procedure Timer4Timer(Sender: TObject);  
procedure BitBtn3Click(Sender: TObject);  
procedure ddd1Click(Sender: TObject);  
procedure N2Click(Sender: TObject);  
procedure Button1Click(Sender: TObject);

```
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure Button3Click(Sender: TObject);
procedure Button4Click(Sender: TObject);
procedure Button5Click(Sender: TObject);
procedure Timer5Timer(Sender: TObject);
procedure Timer6Timer(Sender: TObject);
procedure Timer7Timer(Sender: TObject);
procedure Timer8Timer(Sender: TObject);
procedure Timer9Timer(Sender: TObject);
procedure Button6Click(Sender: TObject);
procedure Button7Click(Sender: TObject);
procedure Button8Click(Sender: TObject);
procedure Button9Click(Sender: TObject);
procedure Button10Click(Sender: TObject);
procedure Button11Click(Sender: TObject);
procedure Timer10Timer(Sender: TObject);
procedure Button12Click(Sender: TObject);
procedure Option1Click(Sender: TObject);
procedure Button13Click(Sender: TObject);
procedure Timer11Timer(Sender: TObject);
procedure N3Click(Sender: TObject);
```

```
private
```

```
  { Private declarations }
```

```
public
```

```
  { Public declarations }
```

```
end;
```

```
var
```

```
  Form1: TForm1;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**x,y,x1,x2,y1,py2,m,index,B,amp,F,Mr:integer;**

**ratio,ts,t,VoltperDiv: real;**

**w : Variant;**

**data : array [1..8000] of integer;**

**implementation**

**{SR \*.DFM}**

**function Inp(IOPort:Word):Byte;stdcall;**

**asm**

**mov dx,[IOPort]**

**in al,dx**

**end;**

**//////////////////////////////////// Data Plot //////////////////////////////////////**

**procedure TForm1.Timer1Timer(Sender: TObject);**

**begin**

**index := 0;**

**w := 12;**

**repeat**

**B := imp(\$300);**

**data[index] := B;**

**index := index + 1;**

**until**

**index = 8000;**

**for index := 1 to 8000 do**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

begin
    F := 40000000;
    ts := 1/(F);
    t := ts;
    data[m] := round(index*t);
end;

Image1.Picture.LoadFromFile('c:\My Documents\BMP\edc.bmp');
Image1.Canvas.Pen.Color := Clblack;
x := (-2000) + x1;
y := 300 + y1;
Image1.Canvas.MoveTo(x,y);
for index := 1 to 8000 do
    begin
        amp := y - round((data[index]*VoltperDiv)-Mr);
        Image1.Canvas.LineTo((x*w) + b,amp - data[m]);
        x := x + 1;
    end;
end;

procedure TForm1.TrackBar1Change(Sender: TObject);
begin
    y1 := (Trackbar1.position-300);
end;

procedure TForm1.TrackBar2Change(Sender: TObject);
begin
    x1 := (Trackbar2.position-250);
end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
procedure TForm1.SpeedButton1Click(Sender: TObject);
begin
    close;
end;
```

```
procedure TForm1.TrackBar3Change(Sender: TObject);
begin
    py2:=(trackbar2.position-250)
end;
```

```
procedure TForm1.Exit1Click(Sender: TObject);
begin
    Form1.close;
end;
```

```
procedure TForm1.Save1Click(Sender: TObject);
begin
    if SavePictureDialog1.Execute then
        begin
            Image1.Picture.SaveToFile(SavePictureDialog1.FileName);
        end;
end;
```

```
procedure TForm1.PictureFile1Click(Sender: TObject);
begin
    if OpenPictureDialog1.Execute Then
        begin
            Image1.Picture.LoadFromFile(OpenPictureDialog1.FileName);
        end;
```

end;

```
procedure TForm1.FormCreate(Sender: TObject);           //Date
```

```
begin
```

```
    StatusBar1.Panels[0].Text := 'Date : ' + DateToStr(Date);
```

```
    SpinEdit2.Visible := False;
```

```
    SpinEdit3.Visible := False;
```

```
    SpinEdit4.Visible := False;
```

```
    SpinEdit5.Visible := False;
```

```
    SpinEdit6.Visible := False;
```

```
    SpinEdit7.Visible := False;
```

```
    SpinEdit8.Visible := False;
```

```
    SpinEdit9.Visible := False;
```

```
    SpinEdit10.Visible := False;
```

```
    Timer1.Enabled := False;
```

```
    Timer5.Enabled := False;
```

```
    Timer6.Enabled := False;
```

```
    Timer7.Enabled := False;
```

```
    Timer8.Enabled := False;
```

```
    Timer9.Enabled := False;
```

```
    Timer10.Enabled := False;
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.Timer2Timer(Sender: TObject);       //Time
```

```
begin
```

```
    StatusBar1.Panels[1].Text := 'Time : ' + TimeToStr(Time);
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.Print1Click(Sender: TObject);      //Print
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**begin**

**Timer4.Enabled := True;**

**Timer3.Enabled := False;**

**Panel1.Visible := True;**

**end;**

**procedure TForm1.List1Click(Sender: TObject);**

**var**

**p : string;**

**begin**

**p := 'รายชื่อผู้ร่วมงาน' + chr(10);**

**p := p+chr(10)+'นายโกวิทย์ ดั่งตะพิภพ 2N 41012002'+chr(10);**

**p := p+chr(10)+'นายเมธี ภักดี 2N 41012020'+chr(10);**

**Showmessage(p);**

**end;**

**procedure TForm1.BitBtn1Click(Sender: TObject);**

**begin**

**{ Load a graphic to image box on panel }**

**OpenDialog1.Filter := 'Bitmap files| \*.BMP| Windows Meta Files | \*.WFM';**

**OpenDialog1.DefaultExt := '\*.BMP';**

**if OpenDialog1.Execute then**

**begin**

**Image2.Picture.LoadFromFile(OpenDialog1.FileName);**

**end;**

**end;**

**procedure TForm1.BitBtn2Click(Sender: TObject);**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**var**

**PrnRect, Imgrect: TRect;**  
**CenterX, CenterY: integer;**  
**PHeight, PWidth: integer;**  
**X1, X2, Y1, Y2, SDiv: integer;**

**begin**

**Printer.BeginDoc;**  
**PHeight := Printer.PageHeight;**  
**PWidth := Printer.PageWidth;**  
**CenterX := PWidth div 2;**  
**CenterY := PHeight div 2;**  
**SDiv := SpinEdit1.Value;**  
**X1 := CenterX - (PWidth div (SDiv\*2));**  
**Y1 := CenterY - (PHeight div (SDiv\*2));**  
**X2 := CenterX + (PWidth div (SDiv\*2));**  
**Y2 := CenterY + (PHeight div (SDiv\*2));**  
**PrnRect := Rect(X1 ,Y1 ,X2 ,Y2);**  
**ImgRect := Rect(2,2,Image2.Width, Image2.Height);**  
**Printer.Canvas.CopyRect(PrnRect,Self.canvas, ImgRect);**  
**Printer.EndDoc;**

**end;**

**procedure TForm1.Timer3Timer(Sender: TObject);**

**begin**

**Panel1.Visible := False;**

**end;**

**procedure TForm1.Timer4Timer(Sender: TObject);**

**begin**

**Panel1.Enabled := True;**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

end;

procedure TForm1.BitBtn3Click(Sender: TObject);

begin

    Timer4.Enabled := False;

    Timer3.Enabled := True;

    Panel1.Visible := False;

end;

procedure TForm1.ddd1Click(Sender: TObject);

begin

    with PrintDialog1 do

        begin

            Execute

        end;

end;

procedure TForm1.N2Click(Sender: TObject);

begin

    with PrinterSetupDialog1 do

        begin

            Execute

        end;

end;

procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);

begin

    VoltperDiv := (4\*200)/(255\*SpinEdit2.Value);

    Mr := SpinEdit6.Value;

    Panel13.Color := ClRed;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Panel14.Color := ClYellow;  
Panel15.Color := ClYellow;  
Panel16.Color := ClYellow;  
Panel17.Color := ClYellow;  
end;
```

```
procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    VoltperDiv := (2*200)/(255*SpinEdit2.Value);
```

```
    Mr := SpinEdit7.Value;
```

```
    Panel14.Color := ClRed;
```

```
    Panel13.Color := ClYellow;
```

```
    Panel15.Color := ClYellow;
```

```
    Panel16.Color := ClYellow;
```

```
    Panel17.Color := ClYellow;
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.Button3Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    VoltperDiv := (2*200)/(255*SpinEdit3.Value);
```

```
    Mr := SpinEdit8.Value - 250;
```

```
    Panel15.Color := ClRed;
```

```
    Panel13.Color := ClYellow;
```

```
    Panel14.Color := ClYellow;
```

```
    Panel16.Color := ClYellow;
```

```
    Panel17.Color := ClYellow;
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.Button4Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
VoltperDiv := (2*200)/(255*SpinEdit4.Value);
```

```
Mr := SpinEdit9.Value - 250;
```

```
Panel16.Color := ClRed;
```

```
Panel13.Color := ClYellow;
```

```
Panel14.Color := ClYellow;
```

```
Panel15.Color := ClYellow;
```

```
Panel17.Color := ClYellow;
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.Button5Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    VoltperDiv := (2*200)/(255*SpinEdit5.Value);
```

```
    Mr := SpinEdit10.Value - 250;
```

```
    Panel17.Color := ClRed;
```

```
    Panel13.Color := ClYellow;
```

```
    Panel14.Color := ClYellow;
```

```
    Panel15.Color := ClYellow;
```

```
    Panel16.Color := ClYellow;
```

```
end;
```

```
procedure TForm1.Timer5Timer(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    index := 0;
```

```
    w := 6;
```

```
    repeat
```

```
        B := inp($300);
```

```
        data[index] := B;
```

```
        index := index + 1;
```

```
    until
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    index = 8000;
for index := 1 to 8000 do
    begin
        F := 40000000;
        ts := 1/(F);
        t := ts;
        data[m] := round(index*t);
    end;

    Image1.Picture.LoadFromFile('c:\My Documents\BMP\edc.bmp');
    Image1.Canvas.Pen.Color := Clblack;
    x := (-2000) + x1;
    y := 300 + y1;
    Image1.Canvas.MoveTo(x,y);

    for index := 1 to 8000 do
        begin
            amp := y - round((data[index]*VoltperDiv)-Mr);
            Image1.Canvas.LineTo((x*w) + b,amp - data[m]);
            x := x + 1;
        end;
    end;

end;

procedure TForm1.Timer6Timer(Sender: TObject);
begin
    index := 0;
    w := 3;
    repeat
        B := inp($300);
        data[index] := B;
        index := index + 1;
    until

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

until
  index = 8000;
  for index := 1 to 8000 do
  begin
    F := 40000000;
    ts := 1/(F);
    t := ts;
    data[m] := round(index*t);
  end;

  Image1.Picture.LoadFromFile('c:\My Documents\BMP\edc.bmp');
  Image1.Canvas.Pen.Color := Clblack;
  x := (-2000) + x1;
  y := 300 + y1;
  Image1.Canvas.MoveTo(x,y);

  for index := 1 to 8000 do
  begin
    amp := y - round((data[index]*VoltperDiv)-Mr);
    Image1.Canvas.LineTo((x*w) + b,amp - data[m]);
    x := x + 1;
  end;
end;

procedure TForm1.Timer7Timer(Sender: TObject);
begin
  index := 0;
  w := 1.2;
  repeat
    B := imp($300);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

data[index] := B;
index := index + 1;
until
index = 8000;
for index := 1 to 8000 do
begin
F := 40000000;
ts := 1/(F);
t := ts;
data[m] := round(index*t);
end;
Image1.Picture.LoadFromFile('c:\My Documents\BMP\edc.bmp');
Image1.Canvas.Pen.Color := Clblack;
x := (-2000) + x1;
y := 300 + y1;
Image1.Canvas.MoveTo(x,y);

for index := 1 to 8000 do
begin
amp := y - round((data[index]*VoltperDiv)-Mr);
Image1.Canvas.LineTo((x*w) + b,amp - data[m]);
x := x + 1;
end;

end;

procedure TForm1.Timer8Timer(Sender: TObject);
begin
index := 0;
w := 0.6;
repeat

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

B := imp($300);
data[index] := B;
index := index + 1;
until
    index = 8000;          // Plot
for index := 1 to 8000 do
begin
    F := 40000000;
    ts := 1/(F);
    t := ts;
    data[m] := round(index*t);
end;
Image1.Picture.LoadFromFile('c:\My Documents\BMP\edc.bmp');
Image1.Canvas.Pen.Color := Clblack;
x := (-2000) + x1;
y := 300 + y1;
Image1.Canvas.MoveTo(x,y);

for index := 1 to 8000 do
begin
    amp := y - round((data[index]*VoltperDiv)-Mr);
    Image1.Canvas.LineTo((x*w) + b,amp - data[m]);
    x := x + 1;
end;

end;

procedure TForm1.Timer9Timer(Sender: TObject);
begin
    index := 0;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

w := 0.3;

repeat
  B := imp($300);
  data[index] := B;
  index := index + 1;
until
index = 8000;          // Plot

for index := 1 to 8000 do
begin
  F := 40000000;
  ts := 1/(F);
  t := ts;
  data[m] := round(index*t);
end;
Image1.Picture.LoadFromFile('c:\My Documents\BMP\edc.bmp');
Image1.Canvas.Pen.Color := Cblack;
x := (-2000) + x1;
y := 300 + y1;
Image1.Canvas.MoveTo(x,y);

for index := 1 to 8000 do
begin
  amp := y - round((data[index]*VoltperDiv)-Mr);
  Image1.Canvas.LineTo((x*w) + b,amp - data[m]);
  x := x + 1;
end;

end;

procedure TForm1.Button6Click(Sender: TObject);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**begin**

```
Timer1.Enabled := True;  
Timer5.Enabled := False;  
Timer6.Enabled := False;  
Timer7.Enabled := False;  
Timer8.Enabled := False;  
Timer9.Enabled := False;  
Timer10.Enabled := False;  
Timer11.Enabled := False;
```

```
Panel6.Color := ClRed;  
Panel7.Color := ClYellow;  
Panel8.Color := ClYellow;  
Panel9.Color := ClYellow;  
Panel10.Color := ClYellow;  
Panel11.Color := ClYellow;  
Panel12.Color := ClYellow;  
Panel18.Color := ClYellow;
```

**end;**

```
procedure TForm1.Button7Click(Sender: TObject);
```

**begin**

```
Timer5.Enabled := True;  
Timer1.Enabled := False;  
Timer6.Enabled := False;  
Timer7.Enabled := False;  
Timer8.Enabled := False;  
Timer9.Enabled := False;  
Timer10.Enabled := False;  
Timer11.Enabled := False;
```

```
Panel7.Color := ClRed;  
Panel6.Color := ClYellow;  
Panel8.Color := ClYellow;  
Panel9.Color := ClYellow;  
Panel10.Color := ClYellow;  
Panel11.Color := ClYellow;  
Panel12.Color := ClYellow;  
Panel18.Color := ClYellow;  
end;
```

```
procedure TForm1.Button8Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
Timer6.Enabled := True;  
Timer1.Enabled := False;  
Timer5.Enabled := False;  
Timer7.Enabled := False;  
Timer8.Enabled := False;  
Timer9.Enabled := False;  
Timer10.Enabled := False;  
Timer11.Enabled := False;
```

```
Panel8.Color := ClRed;  
Panel6.Color := ClYellow;  
Panel7.Color := ClYellow;  
Panel9.Color := ClYellow;  
Panel10.Color := ClYellow;  
Panel11.Color := ClYellow;  
Panel12.Color := ClYellow;  
Panel18.Color := ClYellow;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

end;

procedure TForm1.Button9Click(Sender: TObject);

begin

Timer7.Enabled := True;

Timer1.Enabled := False;

Timer5.Enabled := False;

Timer6.Enabled := False;

Timer8.Enabled := False;

Timer9.Enabled := False;

Timer10.Enabled := False;

Timer11.Enabled := False;

Panel9.Color := ClRed;

Panel6.Color := ClYellow;

Panel7.Color := ClYellow;

Panel8.Color := ClYellow;

Panel10.Color := ClYellow;

Panel11.Cofor := ClYellow;

Panel12.Color := ClYellow;

Panel18.Color := ClYellow;

end;

procedure TForm1.Button10Click(Sender: TObject);

begin

Timer8.Enabled := True;

Timer1.Enabled := False;

Timer5.Enabled := False;

Timer6.Enabled := False;

Timer7.Enabled := False;

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Timer9.Enabled := False;
Timer10.Enabled := False;
Timer11.Enabled := False;

Panel10.Color := ClRed;
Panel6.Color := ClYellow;
Panel7.Color := ClYellow;
Panel8.Color := ClYellow;
Panel9.Color := ClYellow;
Panel11.Color := ClYellow;
Panel12.Color := ClYellow;
Panel18.Color := ClYellow;
end;

procedure TForm1.Button11Click(Sender: TObject);
begin
Timer9.Enabled := True;
Timer1.Enabled := False;
Timer5.Enabled := False;
Timer6.Enabled := False;
Timer7.Enabled := False;
Timer8.Enabled := False;
Timer10.Enabled := False;
Timer11.Enabled := False;

Panel11.Color := ClRed;
Panel6.Color := ClYellow;
Panel7.Color := ClYellow;
Panel8.Color := ClYellow;
Panel9.Color := ClYellow;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Panel10.Color := CIYellow;  
Panel12.Color := CIYellow;  
Panel18.Color := CIYellow;  
end;
```

```
procedure TForm1.Timer10Timer(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
    index := 0;
```

```
    w := 0.12;
```

```
    repeat
```

```
        B := imp($300);
```

```
        data[index] := B;
```

```
        index := index + 1;
```

```
    until
```

```
        index = 8000;
```

```
    for index := 1 to 8000 do
```

```
        begin
```

```
            F := 40000000;
```

```
            ts := 1/(F);
```

```
            t := ts;
```

```
            data[m] := round(index*t);
```

```
        end;
```

```
        Image1.Picture.LoadFromFile('c:\My Documents\BMP\edc.bmp');
```

```
        Image1.Canvas.Pen.Color := Cblack;
```

```
        x := (-2000) + x1;
```

```
        y := 300 + y1;
```

```
        Image1.Canvas.MoveTo(x,y);
```

```
    for index := 1 to 8000 do
```

```
        begin
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    amp := y - round((data[index]*VoltperDiv)-Mr);
    Image1.Canvas.LineTo((x*w) + b,amp - data[m]);
    x := x + 1;
end;
end;

```

```

procedure TForm1.Button12Click(Sender: TObject);
begin

```

```

    Timer10.Enabled := True;
    Timer1.Enabled := False;
    Timer5.Enabled := False;
    Timer6.Enabled := False;
    Timer7.Enabled := False;
    Timer8.Enabled := False;
    Timer9.Enabled := False;
    Timer11.Enabled := False;

```

```

    Panel12.Color := ClRed;
    Panel6.Color := ClYellow;
    Panel7.Color := ClYellow;
    Panel8.Color := ClYellow;
    Panel9.Color := ClYellow;
    Panel10.Color := ClYellow;
    Panel11.Color := ClYellow;
    Panel18.Color := ClYellow;

```

```

end;

```

```

procedure TForm1.Option1Click(Sender: TObject);
begin

```

```

    Timer1.Enabled := False;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Timer5.Enabled := False;  
Timer6.Enabled := False;  
Timer7.Enabled := False;  
Timer8.Enabled := False;  
Timer9.Enabled := False;  
Timer10.Enabled := False;  
Timer11.Enabled := False;  
end;
```

```
procedure TForm1.Button13Click(Sender: TObject);
```

```
begin
```

```
Timer11.Enabled := True;  
Timer1.Enabled := False;  
Timer5.Enabled := False;  
Timer6.Enabled := False;  
Timer7.Enabled := False;  
Timer8.Enabled := False;  
Timer9.Enabled := False;  
Timer10.Enabled := False;
```

```
Panel18.Color := CIRed;  
Panel6.Color := CIYellow;  
Panel7.Color := CIYellow;  
Panel8.Color := CIYellow;  
Panel9.Color := CIYellow;  
Panel10.Color := CIYellow;  
Panel11.Color := CIYellow;  
Panel12.Color := CIYellow;
```

```
end;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

procedure TForm1.Timer11Timer(Sender: TObject);
begin
    index := 0;
    w := 0.06;
    repeat
        B := inp($300);
        data[index] := B;
        index := index + 1;
    until
        index = 8700; // Plot
    for index := 1 to 8700 do
        begin
            F := 40000000;
            ts := 1/(F);
            t := ts;
            data[m] := round(index*t);
        end;
        Image1.Picture.LoadFromFile('c:\My Documents\BMP\edc.bmp');
        Image1.Canvas.Pen.Color := Clblack;
        x := (-3900) + x1;
        y := 300 + y1;
        Image1.Canvas.MoveTo(x,y);

        for index := 1 to 8700 do
            begin
                amp := y - round((data[index]*VoltperDiv)-Mr);
                Image1.Canvas.LineTo((x*w) + b,amp - data[m]);
                x := x + 1;
            end;
        end;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**end;**

**procedure TForm1.N3Click(Sender: TObject);**

**begin**

**Timer1.Enabled := False;**

**Timer5.Enabled := False;**

**Timer6.Enabled := False;**

**Timer7.Enabled := False;**

**Timer8.Enabled := False;**

**Timer9.Enabled := False;**

**Timer10.Enabled := False;**

**end;**

**end.**

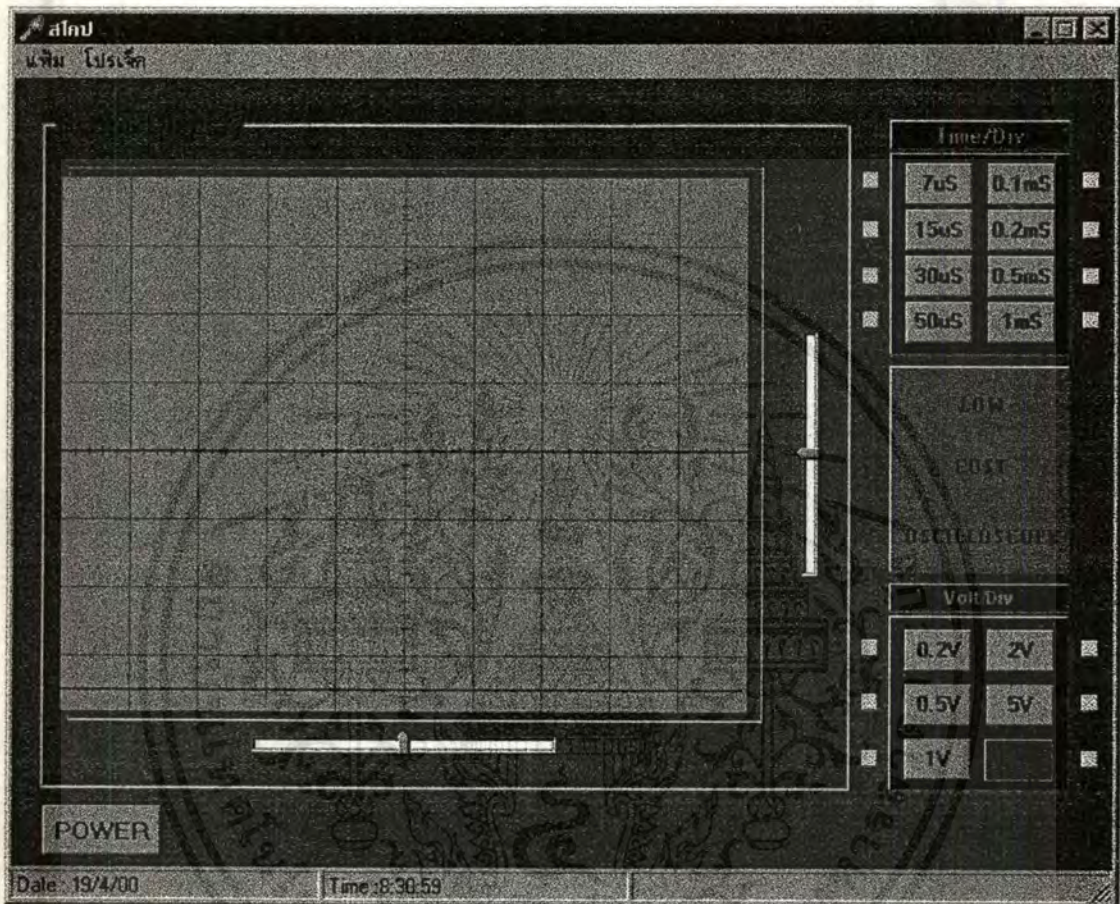




**จ. การใช้โปรแกรม**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การใช้งานโปรแกรมออสซิลโลสโคปสำหรับงานทดลองขั้นพื้นฐาน



รูปที่ 1 แสดงโปรแกรมหลังจากรันโปรแกรมแล้ว

### การใช้งานในส่วนต่างๆ ของโปรแกรม

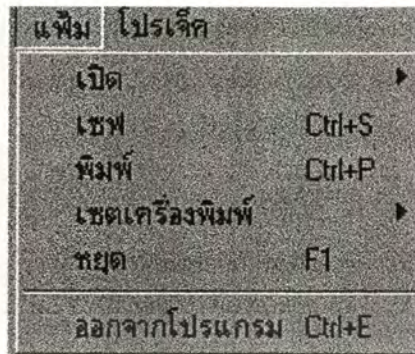
#### 1. เมนูแฟ้ม ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1.1 เมนูเปิด ใช้สำหรับเปิดไฟล์ที่บันทึกไว้ ซึ่งเป็นไฟล์รูปภาพที่บันทึกไว้เป็นจุด BMP

1.2 เมนูเซฟ ใช้สำหรับบันทึกข้อมูลที่เป็นรูปคลื่นสัญญาณโดยจะบันทึกข้อมูลไว้เป็นไฟล์ที่มีนามสกุลเป็นจุด BMP

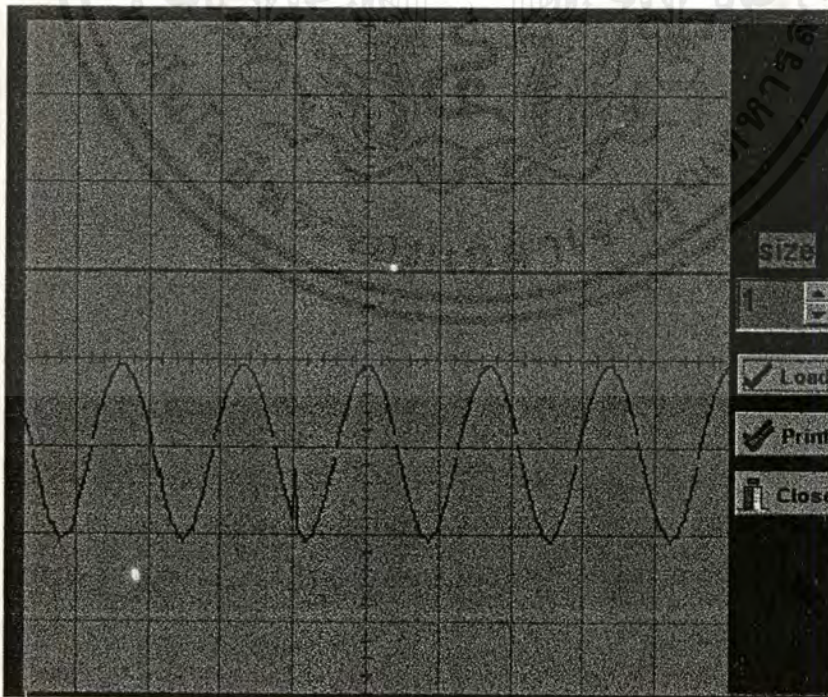
1.3 เมนูพิมพ์ ใช้สำหรับพิมพ์ข้อมูลที่บันทึกไว้สามารถเรียกโดยการใช้คีย์ลัดได้ เมื่อกดที่เมนูนี้ จะปรากฏหน้าจอสำหรับการพิมพ์ขึ้นมาบนหน้าจอประกอบไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 แสดงเมนูแฟ้มของโปรแกรม

- 1.3.1 ปุ่ม Load ใช้เปิดไฟล์รูปภาพที่ต้องการออกมาแสดง
- 1.3.2 ปุ่ม Print ใช้สำหรับสั่งพิมพ์รูปบนหน้าจอ
- 1.3.3 ปุ่ม Close ใช้สำหรับปิดหน้าจอการพิมพ์
- 1.3.4 Size ใช้สำหรับกำหนดขนาดของรูปที่จะพิมพ์โดยมีขนาดตั้งแต่ 1 - 10 แสดงลักษณะของหน้าจอการพิมพ์ และไฟล์รูปภาพที่เปิดแล้วดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงหน้าจอการพิมพ์

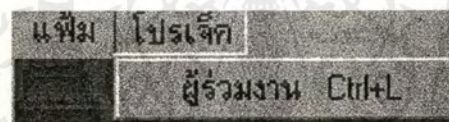
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 เมนูเขตเครื่องหมาย ใช้สำหรับการตั้งค่าจำนวนที่ต้องการพิมพ์ ขนาดกระดาษที่ใช้ การกำหนดสี ( สีหรือขาวดำ ) ชนิดของเครื่องหมายที่ใช้งาน เป็นต้น

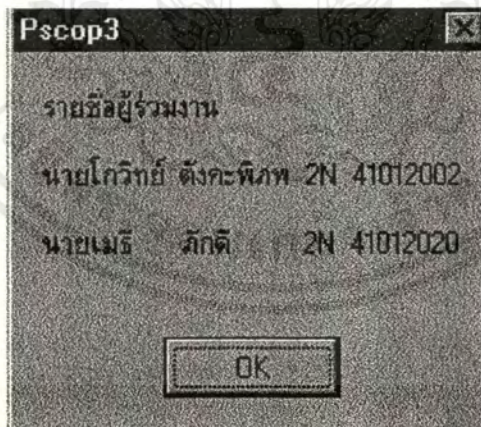
1.5 เมนูหยุด ใช้สำหรับกรณีที่ต้องการบันทึกรูปคลื่นบนหน้าจอ และเมื่อต้องการให้รูปที่แสดงผลอยู่นั้นหยุดนิ่งให้กด F1 ซึ่งจะทำการรูปคลื่นหยุดการเคลื่อนไหวไปชั่วขณะหนึ่งเมื่อบันทึกเสร็จแล้วจึงใช้เมาส์คลิกที่เขตเนล Time/Division ที่ปรากฏเป็นสีแดงอยู่โปรแกรมก็จะกลับสู่สถานะเดิม

1.6 เมฆออกจากโปรแกรม ใช้เมื่อต้องการออกจากโปรแกรม

2. เมนูโปรเจก ใช้สำหรับแสดงรายชื่อผู้ร่วมทำงานในโครงการนี้ ไม่มีความเกี่ยวข้องกับโปรแกรมแต่อย่างไร แสดงดังรูปที่ 4



ก)

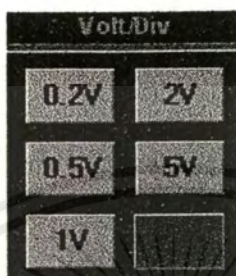


ข)

รูปที่ 4 ก) แสดงเมนูโปรเจก

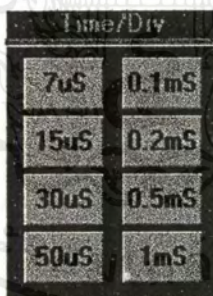
ข) แสดงผลที่เกิดจากการใช้เมนูโปรเจก

4. ส่วนของการปรับแรงดันต่อช่อง ( Volt / Division ) ใช้สำหรับการปรับค่าของแรงดันต่อช่อง สัญญาณเป็นการปรับสัญญาณในแนวแกน Y ค่าของแรงดันต่อช่องที่ปรับได้คือ 0.2 Volt/Div, 0.5 Volt/Div, 1 Volt/Div, 2 Volt/Div, 5 Volt/Div



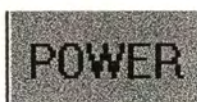
รูปที่ 5 แสดงแขนเนตการปรับ Volt/Div

5. ส่วนของการปรับค่าเวลาต่อช่อง ( Time/Division ) ใช้สำหรับการปรับค่าของเวลาต่อช่อง สัญญาณเป็นการปรับสัญญาณในแนวแกน X ค่าของเวลาต่อช่องสัญญาณที่ปรับได้คือ 7 uS/Div, 15 uS/Div, 30 uS/Div, 62 uS/Div, 0.1 mS/Div, 0.2 mS/Div, 1 mS/Div



รูปที่ 6 แสดงแขนเนตการปรับ Time/Div

6. ปุ่ม POWER ใช้สำหรับปิดหน้าที่ใช้งานอยู่



รูปที่ 7 แสดงปุ่ม Power

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้