

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

คอมพิวเตอร์ออสซิลโลสโคป

PC OSCILLOSCOPE



T104064

โดย

นายสัญญา ทองคำบุตร

นางสาวสุพัตรา ตักศิวิริกุลมัย

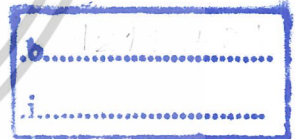
นางสาวสุภาวดี ยกกระโทก

นายอริป เลอศักดิ์อนุสรณ์

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน 104064

วัน,เดือน,ปี 28 ต.ค. 2552



ปฏิญานិพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คอมพิวเตอร์ออสซิลโลสโคป

PC OSCILLOSCOPE

โดย

นายสัญญา	ทองคำบุตร	รหัส 48010950
นางสาวสุพัตรา	ศักดิ์ศิริกุลมิมชัย	รหัส 48011004
นางสาวสุภาวดี	ยกกระโทก	รหัส 48011010
นายอชิป	เลอศักดิ์อนุสรณ์	รหัส 48011041

อาจารย์ที่ปรึกษา

ร.ศ.ดร.สุวิพล สิริชิวภาค

ผ.ศ.เกรียงไกร วงศ์โรจนภรณ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

ภาควิชา  
วิศวกรรมโทรคมนาคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ลงชื่อ).....ผู้ตรวจ

ปริญญาโทปีการศึกษา 2551

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง คอมพิวเตอร์ออสซิลโลสโคป

PC OSCILLOSCOPE

ผู้จัดทำ นายสัญญา ทองคำบุตร รหัสนักศึกษา 48010950

นางสาวสุพัตรา ศักดิ์ศิริกุลมิชัย รหัสนักศึกษา 48011004

นางสาวสุภาวดี ยกกระโทก รหัสนักศึกษา 48011010

นายอธิป เลอศักดิ์อนุสรณ์ รหัสนักศึกษา 48011041

  
ร.ศ.ดร.สุวิพล สิริทธิวิภาค  
อาจารย์ที่ปรึกษา

  
ผ.ศ.เกรียงไกร วงศ์โรจนภรณ์  
อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## พีซีออสซิลโลสโคป

### PC Oscilloscope

โดย นายสัญญา ทองคำบุตร 48010950  
นางสาวสุพัตรา สักดิ์ศิริกุลมีชัย 48011004  
นางสาวสุภาวดี ยกกระโทก 48011010  
นายอริป เลอศักดิ์อนุสรณ์ 48011041

อาจารย์ที่ปรึกษา ร.ศ.ดร.สุวิพล สิริชีวะภาค  
ผ.ศ.เกรียงไกร วงศ์โรจนภรณ์

#### บทคัดย่อ

โครงการนี้มีจุดประสงค์เพื่อการออกแบบและสร้างออสซิลโลสโคปที่สามารถแสดงผลบนคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้ในการวัดและวิเคราะห์สัญญาณทางไฟฟ้า โดยการดำเนินงานเริ่มจากการศึกษาองค์ความรู้ และส่วนประกอบของอุปกรณ์แต่ละตัวที่ใช้ในการสร้างวงจร ซึ่งได้แก่ วงจรป้องกันการเกิดความเสียหายของระบบ วงจรลดทอนสัญญาณ วงจรขยายสัญญาณ วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล วงจรควบคุมและรับส่งข้อมูลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ และนำแต่ละวงจรมาประกอบกัน เพื่อสร้างออสซิลโลสโคปบนคอมพิวเตอร์ขึ้น

#### Abstract

This Project is about to design and create the Computer-Based Oscilloscope to use in measuring and analyzing the signals that can display on the monitor. We study each part of the components of the Computer-Based Oscilloscope such as protection circuit, attenuator, amplifier, ADC converter and interface by using microcontroller. In addition, we combine every components to build the Computer-Based Oscilloscope.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 หลักการและเหตุผล	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตของปริิญยานิพนธ์	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 แนวทางในการออกแบบ	3
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับภาคอินพุทของออสซิลโลสโคป	6
2.2.1 วงจรเลือกการตัดสัญญาณ ไฟกระแสตรง	6
2.2.2 วงจรลดทอนสัญญาณ	7
2.2.3 ระบบการเบี่ยงเบนในแนวนอน	8
2.2.4 วงจรขยายสัญญาณหรือออปแอมป์	9
2.3 ทฤษฎีการสุ่มตัวอย่าง	14
2.4 การแปลงสัญญาณสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล	15
2.4.1 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบขนาน	16
2.4.2 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบอินทิเกรท	17
2.4.3 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบอินทิเกรทความดันคู่	18
2.4.4 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบประมาณสี่บิต	18
2.5 การแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล	19
2.6 ตัวเลื่อนข้อมูล	21
2.6.1 เข้าขนานออกขนาน	21
2.6.2 เข้าขนานออกอนุกรม	22
2.6.3 การเข้าอนุกรมออกขนาน	23
2.6.4 เข้าอนุกรม ออกอนุกรม	24
2.7 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง	25
2.7.1 วงจรทอนระดับ	25
2.7.2 วงจรทอระดับ	26
2.7.3 วงจรทอน-ทอระดับ	27
2.8 วงจรกรองสัญญาณ	27
2.8.1 วงจรกรองสัญญาณแบบแอลซี	28
2.8.2 First Order Active Low Pass Filter	28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.9 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา	29
2.9.1 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาด้วยเกตอินเวอร์เตอร์	30
2.9.2 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาด้วยคริสตอล	30
2.10 วงจรหารความถี่	31
2.10.1 แบบอะซิงโครนัสเคาท์เตอร์	31
2.10.2 แบบซิงโครนัสเคาท์เตอร์	31
2.11 บัฟเฟอร์เกท	32
2.12 โปรแกรมแสดงผล LABVIEW	33
2.12.1 Dataflow and G Programming	33
2.12.2 Function of Lab VIEW	34
2.12.3 DAQ,GPIB and serial communication	36
2.13 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 18F458	38
2.13.1 คุณสมบัติไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 18F458	38
2.13.2 สัญญาณนาฬิกา CLOCK	38
2.13.3 รูปแบบขาต่างๆของไอซี PIC 18F458	39
<b>บทที่ 3 การออกแบบและการสร้าง</b>	<b>41</b>
3.1 บทนำ	41
3.2 การออกแบบและสร้างวงจรรอนาลอกอินพุต (Analog Input)	41
3.3การออกแบบ และสร้างวงจรสำหรับควบคุม และติดต่อกับคอมพิวเตอร์	42
3.3.1 การออกแบบและสร้างวงจรแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล	42
3.3.2 การออกแบบโปรแกรมสำหรับควบคุมการทำงานของระบบ	43
3.3.3 การออกแบบและการสร้างวงจรเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์	45
3.4 การออกแบบและสร้างส่วนแสดงผล โดยใช้โปรแกรม LAB VIEW	45
3.4.1 ส่วนประกอบของหน้าจอออสซิลโลสโคป	46
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง</b>	<b>47</b>
4.1 การทดสอบวงจร Analog Input	47
4.1.1 การทดลองวงจรระดับสัญญาณอินพุต	47
4.1.2การทดสอบวงจรป้องกันแรงดันเกิน (Protection Circuit)	48
4.2 การทดลองการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์	50
4.3 การทดลองการทำงานของออสซิลโลสโคป	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลและวิจารณ์การทดลอง	56
5.1 ผลที่ได้จากการดำเนินงาน	56
5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินโครงการ	56
5.3 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาครั้งต่อไป	56
บรรณานุกรม	57
ภาคผนวก	



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 รูปแสดงการทำงานของ Oscilloscope แบบ Analog	3
รูปที่ 2.2 รูปแสดงการทำงานของ Oscilloscope แบบ Digital	4
รูปที่ 2.3 รูปแสดงการทำงานของ Computer-based Oscilloscope ที่ออกแบบ	4
รูปที่ 2.4 รูปแสดงแผนภาพการทำงานของส่วนแนวตั้งในออสซิลโลสโคป	6
รูปที่ 2.5 รูปแสดงวงจร DC Coupling	6
รูปที่ 2.6 compensate attenuator ทั่วไป	7
รูปที่ 2.7 แสดง 10-to-1 ของสายต่อออสซิลโลสโคป	7
รูปที่ 2.8 แสดงส่วนประกอบระบบการเบี่ยงเบนแนวนอนของออสซิลโลสโคป	8
รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างทริกเกอร์พัลส์และการกวาด	8
รูปที่ 2.10 แสดงวงจรสมมูลของ Operational Amplifier	9
รูปที่ 2.11 แสดงช่วงการทำงานของ Operation Amplifier	10
รูปที่ 2.12 ออปแอมป์ทางอุดมคติ	10
รูปที่ 2.13 วงจรขยายแบบกลับเฟส	11
รูปที่ 2.14 แสดงวงจรตามแรงดัน	12
รูปที่ 2.15 แสดงวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส	12
รูปที่ 2.16 แสดงวงจรดิฟเฟอเรนเชียลเบื้องต้น	13
รูปที่ 2.17 แสดงวงจรขยายสัญญาณแบบรวมสัญญาณ	13
รูปที่ 2.18 รูปแสดงสัญญาณ $g(t)$ บนแกนเวลาและแกนความถี่ก่อนการถูกแปลง	14
รูปที่ 2.19 รูปแสดง Impulse ของสัญญาณที่จะใช้ในการสุ่มสัญญาณ $g(t)$	14
รูปที่ 2.20 รูปแสดงสัญญาณ $g(t)$ ที่ถูกสุ่มแล้ว ทั้งในแกนเวลา และแกนความถี่	14
รูปที่ 2.21 แสดงการเกิดความผิดพลาดที่เกิดขึ้น	15
รูปที่ 2.22 รูปแสดงขั้นตอนการแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิตอลแบบ PCM	15
รูปที่ 2.23 รูปแสดงการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลแบบขนาน	16
รูปที่ 2.24 รูปแสดงการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลแบบครั้งขนาน 8 บิต	17
รูปที่ 2.25 รูปแสดงการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลแบบอินทิเกรท	17
รูปที่ 2.26 รูปแสดงการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลแบบอินทิเกรทความดัน	18
รูปที่ 2.27 รูปแสดงการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลแบบประมาณสี่บิต	18
รูปที่ 2.28 รูปแบบทั่วไปของวงจร DAC	19
รูปที่ 2.29 Output waveforms of a DAC as inputs are provided by a binary counter	20
รูปที่ 2.30 แสดงโครงสร้างของ D Flip-Flop	21
รูปที่ 2.31 ตัวรับข้อมูลแบบ 2 บิต และ ความสัมพันธ์ระหว่าง DATA CLOCK	22
รูปที่ 2.32 ตัวเลื่อนข้อมูลชนิดรับส่งข้อมูลแบบขนานและส่งข้อมูลแบบอนุกรมโดยใช้ Flip-Flop ชนิด JK	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำเห็นว่าไปใช้ประโยชน์อื่นใดโดยไม่ได้รับอนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2.33 โครงสร้างของตัวเลื่อนข้อมูลแบบเข้าอนุกรมและออกแบบขนาน ใช้ Flip-Flop ชนิด JK	23
รูปที่ 2.34 การนำ D FLIPFLOP มาจัดวงจรเป็นรับเข้าแบบอนุกรม และส่งออกแบบขนาน	23
รูปที่ 2.35 หลังจากมีสัญญาณ CLOCK เข้ามาครบ 4 ลูก DATA ที่ส่งเข้ามาในจังหวะที่สัมพันธ์กับสัญญาณ CLOCK จะปรากฏออกมาที่ ขา D3, D2, D1 และ D0	24
รูป 2.36 แสดงการหน่วงเวลาของข้อมูลโดยการส่งเข้าแบบ อนุกรมและส่งออกแบบอนุกรม	24
รูป 2.37 แสดงการหน่วงเวลาของข้อมูลโดยใช้ D FLIPFLOP จำนวน 2 ภาค เพื่อสร้างเป็นตัวรับแบบอนุกรม และส่งออกแบบอนุกรม	25
รูปที่ 2.38 วงจรทอนระดับ (Buck converter)	25
รูปที่ 2.39 วงจรทอนระดับ (Buck converter) ขณะสวิตช์นำกระแส	26
รูปที่ 2.40 วงจรทอนระดับ (Buck converter) ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส	26
รูปที่ 2.41 วงจรทอระดับ (Boost converter)	26
รูปที่ 2.42 วงจรทอระดับ (Boost converter) ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส	27
รูปที่ 2.43 วงจรทอน-ทอระดับ (Buck-Boost converter)	27
รูปที่ 2.44 แสดงตัวอย่างวงจร Passive Low Pass Filter	27
รูปที่ 2.45 แสดงตัวอย่างวงจร Active Low Pass Filter	28
รูปที่ 2.46 แสดงตัวอย่างวงจร LC Filters	29
รูปที่ 2.47 แสดงวงจร First Order Active Low pass Filter	29
รูปที่ 2.48 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา โดยใช้เกตอินเวอร์เตอร์	30
รูปที่ 2.49 วงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์	30
รูปที่ 2.50 Asynchronous Counter (Ripple Counter)	31
รูปที่ 2.51 แสดงวงจร Synchronous Counters	32
รูปที่ 2.52 แสดงตารางความเป็นจริงและสัญลักษณ์ของบัพเฟอร์	32
รูปที่ 2.53 แสดงตารางความเป็นจริงและสัญลักษณ์ของไตรแตรดับไฟเฟอร์	33
รูปที่ 2.54 ลักษณะของ Front Panel	34
รูปที่ 2.55 ส่วนประกอบภายใน Block Diagram	35
รูปที่ 2.56 แสดง Icon และ Connector	36
รูปที่ 2.57 แสดงภาพคุณสมบัติ PIC 18F458	38
รูปที่ 2.58 แสดงสัญญาณนาฬิกาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC	38
รูปที่ 2.59 รูปแบบขาต่างๆของไอซี PIC 18F458	39
รูปที่ 3.1 แสดงแผนภาพการทำงานของระบบ	40
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรรยกระดับแรงดัน (Offset Calibrator)	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.3 แสดงวงจรป้องกันแรงดันเกิน	41
รูปที่ 3.4 แสดงวงจรรวมวงจรถอดอินพุต	42
รูปที่ 3.5 แสดงโฟลชาร์ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์	43
รูปที่ 3.6 แสดงโฟลชาร์ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ (ต่อ)	44
รูปที่ 3.7 แสดงหน้าจอของออสซิลโลสโคป	45
รูปที่ 4.1 แสดงผลการทดลองวงจรยกระดับแรงดันที่ 2.5 โวลต์เมื่อป้อนสัญญาณ Sine ขนาด 2.5 Vpp	47
รูปที่ 4.2 แสดงผลการทดลองวงจรยกระดับแรงดันที่ 2.5 โวลต์เมื่อป้อนสัญญาณ SawTooth ขนาด 2.5 Vpp	47
รูปที่ 4.3 แสดงผลการตอบสนองที่ได้จากวงจรป้องกันแรงดัน เมื่อป้อนสัญญาณ Sine ขนาด 1.5 Vpp	48
รูปที่ 4.4 แสดงผลการตอบสนองที่ได้จากวงจรป้องกันแรงดัน เมื่อป้อนสัญญาณ Sine ขนาด 10 Vpp	48
รูปที่ 4.5 แสดงผลการตอบสนองที่ได้จากวงจรป้องกันแรงดัน เมื่อป้อนสัญญาณ DC ขนาด 5 v	49
รูปที่ 4.6 แสดงผลการตอบสนองที่ได้จากวงจรป้องกันแรงดัน เมื่อป้อนสัญญาณ DC ขนาด 10 v	49
รูปที่ 4.7 แสดงผลการทดลองการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์	50
รูปที่ 4.8 แสดงผลการทดลองวัดสัญญาณเมื่อป้อนสัญญาณ Sine ขนาด 2.5 Vpp 10 Hz	51
รูปที่ 4.9 แสดงผลการทดลองวัดสัญญาณเมื่อป้อนสัญญาณ Sine ขนาด 2.5 Vpp 50 Hz	51
รูปที่ 4.10 แสดงผลการทดลองวัดสัญญาณเมื่อป้อนสัญญาณ Sine ขนาด 1 Vpp 1,000 Hz	52
รูปที่ 4.11 แสดงผลการทดลองวัดสัญญาณ Pulse ขนาด 2 Vpp 2,000 Hz	52
รูปที่ 4.12 แสดงผลการทดลองวัดสัญญาณ Saw tooth ขนาด 1.5 Vpp 2000 Hz	53
รูปที่ 4.13 แสดงผลการทดลองวัดสัญญาณ DC ขนาด 0.1 V	53
รูปที่ 4.14 แสดงผลการทดลองวัดสัญญาณ DC ขนาด 3 V	54
รูปที่ 4.15 แสดงเครื่องคอมพิวเตอร์ออสซิลโลสโคป(ด้านหน้า)	54
รูปที่ 4.16 แสดงเครื่องคอมพิวเตอร์ออสซิลโลสโคป(ด้านหลัง)	55

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 หลักการและเหตุผล

ออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) เป็นเครื่องมือวัดชนิดหนึ่ง ซึ่งถือได้ว่าเป็นมีความสำคัญมากทางด้านไฟฟ้าเนื่องจากผู้วัดสัญญาณ สามารถดูการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณที่ วัดในช่วงเวลาต่างๆ ทำให้สามารถวิเคราะห์ สัญญาณเหล่านั้น ได้มากกว่าว่าการใช้ Millimeter ทั่วๆ ไป โดยในปัจจุบัน Oscilloscope มีทั้งแบบ Analog, แบบ Digital และแบบ Computer-based ซึ่งแต่ละแบบก็มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป เช่น แบบ Analog นั้นจะสามารถตอบสนองต่อ สัญญาณได้อย่างรวดเร็ว ส่วนแบบ Digital นั้น เราสามารถบันทึก และพิมพ์รูปสัญญาณที่ได้จากทางเครื่องพิมพ์ ได้ นอกจากนั้นยังสามารถวิเคราะห์สัญญาณใน Frequency Domain ได้ อีกด้วย ส่วน Computer-based นั้น เราสามารถบันทึก แก่ ไข และวิเคราะห์สัญญาณที่ต้องการวัดได้อย่างรวดเร็ว เป็นต้น

ในปัจจุบัน Oscilloscope ทั่วไปยังมี ราคาสูงอยู่มากทำให้การใช้งานทั่วไปยังจำกัดอยู่เฉพาะในห้องทดลองของสถาบันการศึกษา หรือตามบริษัทต่างๆ นักศึกษาหรือ ผู้สนใจทั่วไปไม่สามารถซื้อเพื่อนำมาใช้เป็นส่วนตัวได้ในขณะที่การใช้งานส่วนใหญ่ของนักศึกษาและผู้สนใจทั่วไป จะใช้วัดสัญญาณที่มีความถี่ไม่สูงมากนักเช่น ในช่วงของความถี่เสียง ถ้าเราสามารถสร้าง Oscilloscope ที่สามารถวัดความถี่ในช่วงดังกล่าว ได้โดยผ่านคอมพิวเตอร์ และมีราคาถูกกว่า Oscilloscope ทั่วๆ ไป ก็จะช่วยให้นักศึกษาหรือผู้สนใจทั่วไปที่ไม่ต้องการลงทุนสูงสามารถมี Oscilloscope ไว้เพื่อใช้ในการวัดและทดสอบสัญญาณต่างๆ ได้จากปัญหาดังกล่าว ผู้จัดทำจึงคิดโครงการเรื่อง Computer-Based Oscilloscope ขึ้น โดยมีเป้าหมายให้ เครื่องสามารถวัดสัญญาณได้ 1 ช่อง แต่ละช่องรองรับความถี่ได้ 2000 Hz สามารถปรับการวัดต่างๆ ได้เหมือน Oscilloscope ทั่วๆ ไป โดยการควบคุมและการแสดงผลจะทำโดยผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ และใช้ Microcontroller เป็นตัวควบคุมการทำงานของเครื่องรับและแปลงสัญญาณที่ต้องการวัดก่อนส่งเข้ามายังคอมพิวเตอร์

#### 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบและสร้าง Oscilloscope แบบ Computer-based 1 ช่อง สามารถวัดสัญญาณ AC ที่ความถี่ 0 - 2000 Hz ขนาด 4 Vpp และสามารถรองรับสัญญาณ DC ขนาด -4 ถึง 4 โวลต์

### 1.3 ขอบเขตของปริญญาโท

1. สามารถวัดสัญญาณ AC และ สัญญาณ DC ได้
2. รับส่งข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ผ่านทาง RS232
3. ควบคุมการทำงานของเครื่องด้วย Microcontroller ตระกูล PIC
4. สามารถแสดงผลผ่านจอคอมพิวเตอร์ได้โดยใช้โปรแกรม LABVIEW

### 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. สามารถสร้างเครื่อง Oscilloscope แบบ Computer-based มาใช้งานได้จริงตามวัตถุประสงค์
2. ได้นำความรู้ในเรื่องต่างๆ ที่เรียนมาประยุกต์ใช้งานจริงและทำให้มีโอกาสได้ศึกษาข้อมูลในเชิงการออกแบบของอุปกรณ์ชนิดต่างๆกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

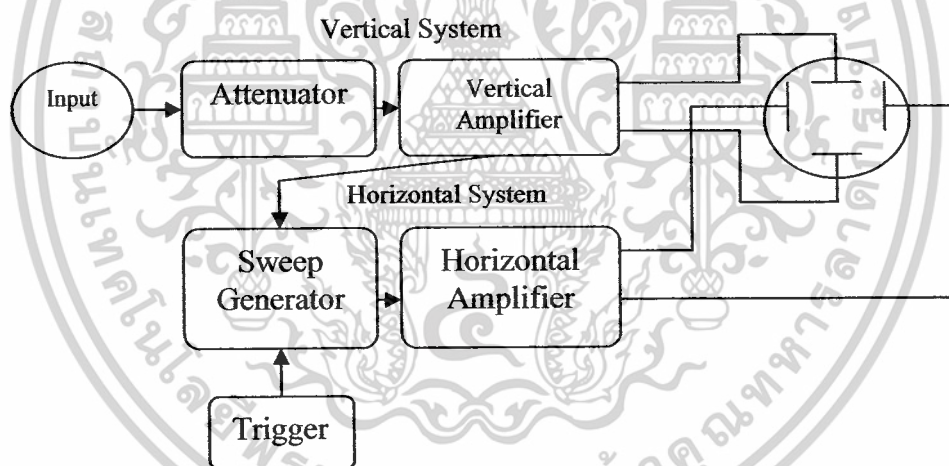
## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 แนวทางในการออกแบบ

ในการออกแบบออสซิลโลสโคป (Oscilloscope) บนคอมพิวเตอร์นั้น ต้องทำความเข้าใจพื้นฐานการทำงานของ Oscilloscope ในแบบต่างๆ ก่อน ซึ่ง Oscilloscope สามารถแบ่งออกได้เป็นสองแบบหลักคือแบบอนาล็อก (Analog) และแบบดิจิทัล (Digital) โดย Oscilloscope ทั้งสองแบบมีการทำงานดังนี้

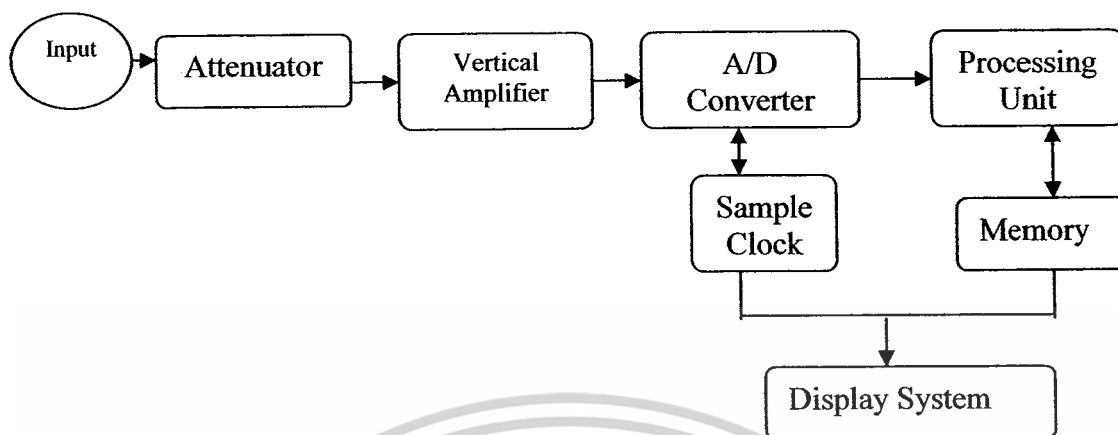
สำหรับ Oscilloscope แบบ Analog นั้น จะเริ่มจากการที่สัญญาณไฟฟ้าที่ต้องการวัดผ่านเข้ามาทางค่านอินพุต (Input) ของเครื่อง จากนั้นสัญญาณจะถูกส่งเข้าไปยังภาคที่ทำหน้าที่ในการขยาย (Amplifier) ในกรณีที่สัญญาณ Input มีขนาดเล็กเกินไปหรือลดทอนสัญญาณ (Attenuator) ในกรณีที่สัญญาณ Input มีขนาดใหญ่เกินไปซึ่งในส่วนนี้ จะเป็นตัวกำหนดขนาดของสัญญาณ (Amplitude) ที่จะแสดงออกทางหน้าจอในแนวตั้ง (Vertical System) สัญญาณที่ออกมาจากส่วน Amplifier/Attenuator จะถูกส่งต่อไปยังส่วนที่ใช้ควบคุมการแสดงผลในแนวนอน (Horizontal System) โดยในส่วนนี้จะประกอบด้วยวงจรถริกเกอร์ (Trigger) ทำหน้าที่ควบคุมการกวาดสัญญาณในแนวนอน ของวงจรถังสวิป (Sweep Generator) จากนั้น สัญญาณจะถูกขยายด้วยวงจรถังสวิปแนวนอน (Horizontal Amplifier) เพื่อนำไปควบคุมการแสดงผลของจอภาพ (Cathode Ray Tube) ต่อไป ดังแสดงในรูป ที่ 2.1



รูปที่ 2.1 รูปแสดงการทำงานของ Oscilloscope แบบ Analog

ในการแสดงผลนั้นจะใช้จอสุญญากาศ (Cathode Ray Tube) ซึ่งจะประกอบด้วย ปืนยิงอิเล็กตรอน (Electron Gun) ทำหน้าที่กำเนิดอิเล็กตรอนที่จะถูกยิงไปยังจอด้านหน้าที่ถูกเคลือบไว้ด้วยสารเรืองแสง (Phosphor-Coated Screen) เมื่ออิเล็กตรอนตกกระทบจะทำให้เกิดการเรืองแสง และเห็นเป็นรูปคลื่นต่างๆ ได้ด้วยการควบคุมลำอิเล็กตรอน ซึ่งใช้แผ่นหักเหด้วยความต่างศักย์ (Deflection Voltage Electrode) ควบคุมทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง สำหรับการทำงานของ Oscilloscope แบบ Digital นั้น จะมีการทำงานคล้ายกับแบบ Analog ในช่วงของการนำสัญญาณเข้าสู่เครื่อง โดยสัญญาณจะถูกขยายและลดทอนจนมีขนาดที่เหมาะสม จากนั้นสัญญาณ จะถูกนำไปแปลงให้เป็นสัญญาณ Digital ด้วยวงจรถังสวิปสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล (Analog To Digital Converter, A/D) โดยในการแปลงสัญญาณนั้นสัญญาณจะถูกเก็บตัวอย่างด้วยอัตรา (Sampling Rate) ที่คงที่สัญญาณ Digital ที่ได้จากการแปลง จะถูกนำไปเก็บไว้ในหน่วยความจำ และจะถูกนำไปประมวลผล ก่อนแสดงผลทางหน้าจอจึงแสดงในรูป ที่ 2.2

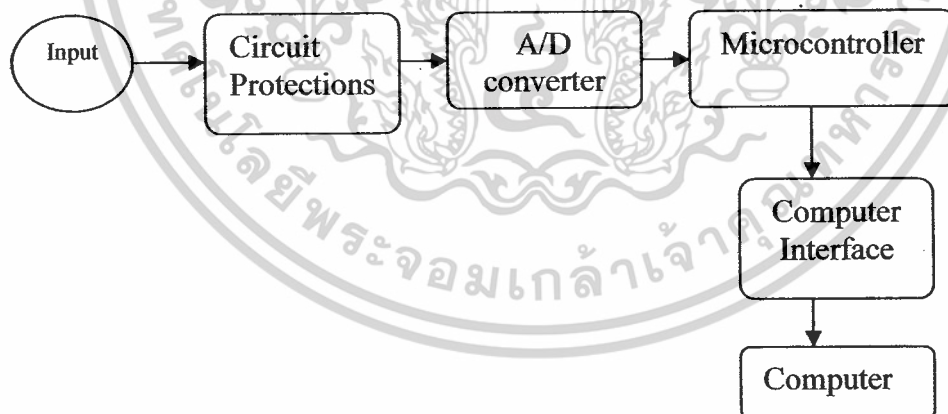
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 รูปแสดงการทำงานของ Oscilloscope แบบ Digital

จากตัวอย่างการทำงานของ Oscilloscope ทั้งสองแบบ พบว่า เราสามารถใช้หลักการของ Digital Oscilloscope เป็นพื้นฐานในการสร้าง Computer-based Oscilloscope โดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นหน่วยประมวลผลสัญญาณแทน เพื่อลดปริมาณอุปกรณ์ในการสร้างลงและเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการสร้างไปในตัว โดยการทำงานและการแสดงผล จะถูกควบคุมโดย โปรแกรมที่เขียนขึ้นภายในคอมพิวเตอร์ และใช้จอภาพของคอมพิวเตอร์ในการแสดงผล

จากแนวคิดดังกล่าว ทำให้สามารถออกแบบแผนการทำงานของ Computer-based Oscilloscope ได้ดังรูป ที่ 2.3 โดยในแผนภาพการทำงาน ได้มีการเพิ่มการทำงานในส่วนของการป้องกันความเสียหาย (Protection) ให้กับระบบ เพื่อป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นจากความผิดพลาดจากการวัดสัญญาณที่ไม่เหมาะสม เช่น สัญญาณที่มีขนาดใหญ่เกินไป เป็นต้น



รูปที่ 2.3 รูปแสดงการทำงานของ Computer-based Oscilloscope ที่ออกแบบ

ในรูป ที่ 2.3 สัญญาณที่ต้องการวัดจะผ่านเข้ามาทางด้าน Input โดยจะมีระบบ Circuit Protection ที่คอยตรวจจับความผิดพลาดต่างๆ เช่น ตรวจจับแรงดันเกิน (Over voltage) เป็นต้น โดยวงจรส่วนนี้จะต้องตัดสัญญาณอินพุต ออกจากระบบทันที ในกรณีที่มีความผิดพลาดเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

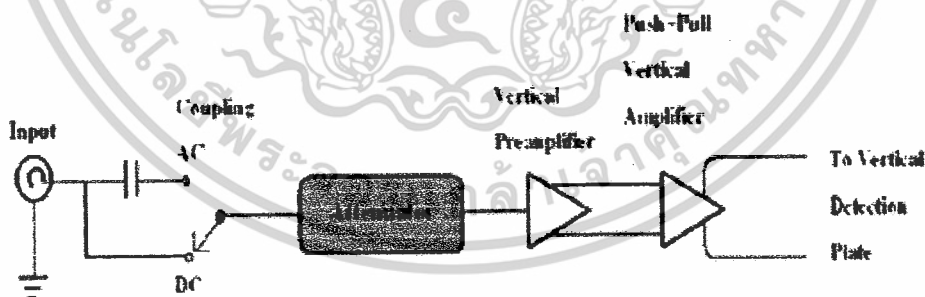
สำหรับวงจรในส่วนของการแปลงสัญญาณ A/D นั้น จะถูกควบคุมการทำงานด้วย Microcontroller โดยในการแปลงสัญญาณนั้น จะให้แปลงด้วย Sampling Rate ที่คงที่ เพื่อให้สัญญาณที่แปลงได้ สามารถนำไปแสดงได้อย่างถูกต้อง โดยข้อมูลที่ได้จากการแปลง จะถูกส่งต่อไปยัง Microcontroller ต่อไป

หลังจากที่สัญญาณถูกแปลงจากสัญญาณ Analog เป็นข้อมูล Digital เรียบร้อยแล้ว ข้อมูลดังกล่าว จะถูกส่งต่อไปยังวงจรในส่วนของการรับส่งข้อมูล และการควบคุม (Data Acquisition & Control System) มีหน้าที่หลักอยู่ 2 อย่าง คือ รับส่งข้อมูลต่างๆ กับคอมพิวเตอร์ และ ควบคุมการทำงานของวงจรทั้งหมด โดยการทำงานทั้งหมด จะควบคุม โดยจะรับคำสั่ง และข้อมูลต่างๆ ผ่านทางการเชื่อมต่อแบบ RS-232

ข้อมูลที่ได้จากการแปลงสัญญาณ เมื่อถูกส่งเข้ามายังคอมพิวเตอร์แล้ว จะถูกเก็บและประมวลผล โดยใช้หน่วยประมวลผล และหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ทั้งหมด โดยจะใช้จอของเครื่องคอมพิวเตอร์ ในการแสดงผล โดยใช้โปรแกรมแสดงผล LABVIEW ซึ่ง จะทำให้เราสามารถแก้ไขหรือเก็บบันทึก ข้อมูลเหล่านั้นไว้ เพื่อวิเคราะห์ได้ในภายหลัง นอกจากนี้ ด้วยความสามารถของเครื่องคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน ทำให้เราสามารถวิเคราะห์สัญญาณในรูปแบบต่างๆ ได้

## 2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับภาคอินพุทของออสซิลโลสโคป (Analog Input Oscilloscope)

ในส่วนของภาคอินพุทนั้นจะประกอบไปด้วยส่วนหลักๆ ตัวลดทอนสัญญาณ (Attenuator) วงจรขยายสัญญาณ (Preamplifier, Deflection Amplifier) และ Delay Line โดยปกติสัญญาณที่ต้องการวัดจะถูกป้อนเข้าในแนวตั้ง (Amplitude) ภาพที่ปรากฏต้องผ่านการขยายหรือลดขนาดของสัญญาณเพื่อให้เหมาะสมกับจอ ดังรูป 2.4

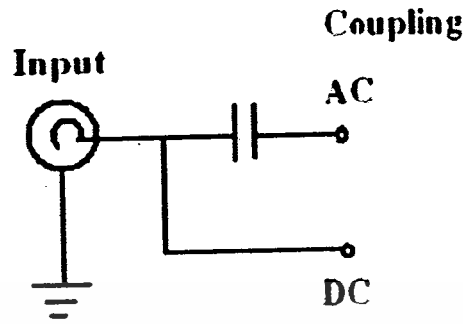


รูปที่ 2.4 รูปแสดงแผนภาพการทำงานของส่วนแนวตั้งในออสซิลโลสโคป

### 2.2.1 วงจรเลือกการตัดสัญญาณไฟกระแสตรง (Coupling)

จากรูป ที่ 2.5 ตัว Coupling สัญญาณจะเป็นตัวที่ใช้เลือกวัดสัญญาณ โดยจะทำการเลือกว่า ต้องการวัดสัญญาณกระแสตรง (DC) หรือกระแสสลับ (AC) จากนั้นสัญญาณที่ได้จะถูกนำไปขยายหรือลดขนาดของสัญญาณที่เข้ามาตามความเหมาะสม

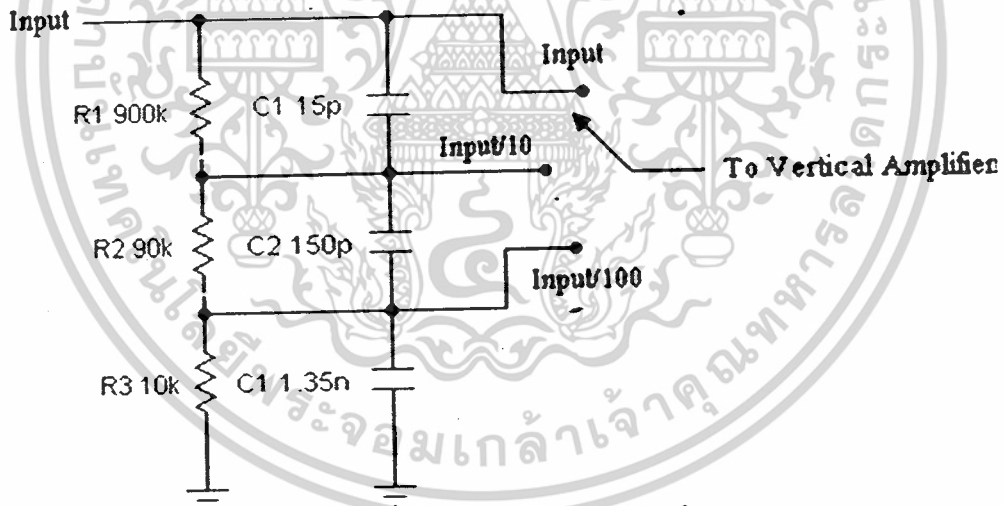
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 รูปแสดงวงจร DC Coupling

2.2.2 วงจรลดทอนสัญญาณ (Attenuator)

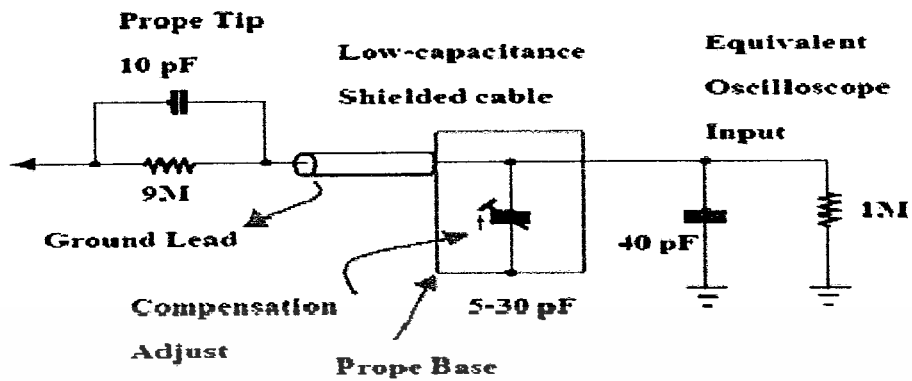
ถัดจากวงจร Coupling จะเป็นวงจรลดทอนสัญญาณ (Attenuator) ซึ่งการออกแบบวงจร Attenuator จะใช้หลักการแบ่งแรงดันดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 Compensate attenuator ทั่วๆ ไป

รูป 2.6 แสดงวงจรลดทอนสัญญาณพร้อมด้วยตัวต้านทานและตัวเก็บประจุของตัวแบ่งแรงดัน โดยตัวแบ่งแรงดันแบบตัวเก็บประจุจะช่วยให้ผลตอบสนองทางความถี่สูงของตัวลดทอนสัญญาณดี และการต่อรวมวงจรตัวแบ่งแรงดันแบบตัวเก็บประจุและความต้านทานจะเป็นตัวลดทอนสัญญาณชดเชย (Compensate attenuator) อิมพีแดนซ์ภายในออสซิลโลสโคปปกติจะค่อนข้างนานกับคาปาซิแตนซ์ และมีสายต่อวัด (probe) มาต่อกับออสซิลโลสโคป เพื่อวัดสัญญาณที่มีความถี่สูงมาก สายต่อวัดปกติจะมีความต้านทานค่าสูงค่อนข้างนานอยู่กับคาปาซิแตนซ์ จึงเป็นการเพิ่มอิมพีแดนซ์ภายในให้แก่ออสซิลโลสโคป ทำให้ออสซิลโลสโคปสามารถวัดสัญญาณที่สูงกว่าขีดจำกัดของเครื่อง โดยการเพิ่ม C ขนานกับ R จะได้

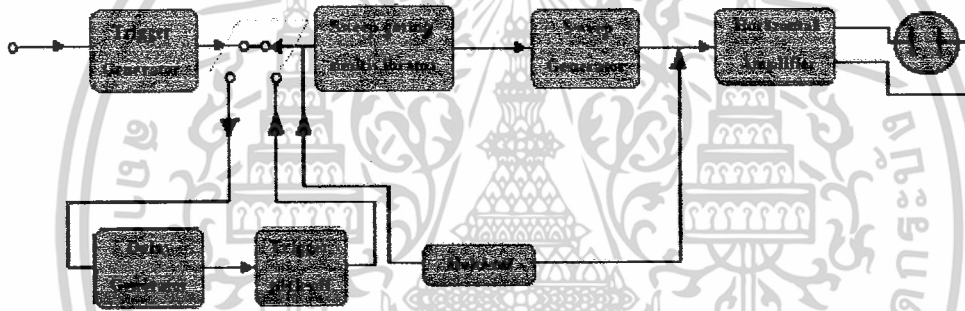
เอกสารวงจรรูปที่ 2.7 ลงบนเว็บไซต์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.7 แสดง 10 - To - 1 ของสายต่อวัดออสซิลโลสโคป

### 2.2.3 ระบบการเบี่ยงเบนในแนวนอน (Horizontal Amplifier)

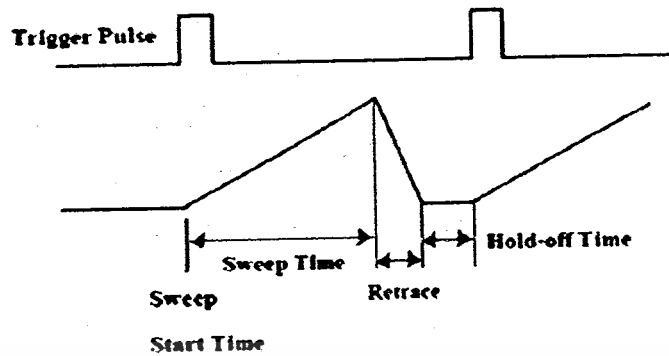
ออสซิลโลสโคปโดยทั่วไประบบการเบี่ยงเบนแนวนอนมีส่วนประกอบดังรูป ที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงส่วนประกอบระบบการเบี่ยงเบนแนวนอนของออสซิลโลสโคป

#### 1. วงจรกำเนิดสัญญาณริกเกอร์ (Trigger)

เป็นตัวกำเนิดสัญญาณพัลส์ เมื่อแรงดันอินพุตที่เข้ามาสู่วงจรมีขนาดและทิศทางที่กำหนด โดยไม่คำนึงถึงความเร็วในการเปลี่ยนแปลงแรงดันขาเข้า หน้าที่สำคัญของวงจรคือ พัลส์ควรมีขนาดและรูปร่างมาตรฐานตามที่ต้องการเพื่อไปควบคุมการเกิดสัญญาณกวาด และพัลส์ที่เกิดจะต้องเกิดที่ระดับแรงดันขาเข้าค่าเดียวกันเสมอเพื่อวงจรกำเนิดสัญญาณกวาดจะได้เริ่มต้นที่จุดเดียวกันในแต่ละรอบของสัญญาณ เพื่อให้ได้ภาพนิ่งดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างทริกเกอร์พัลส์และการกวาด

## 2. วงจรกำเนิดสัญญาณกวาดหรือวงจรพื้นฐานเวลา

หน้าที่สำคัญของวงจร คือ รูปคลื่นจะถูกกำเนิดเมื่อต้องการเท่านั้น และเป็นลักษณะเชิงเส้น ในช่วงที่กำเนิดสัญญาณ สัญญาณทริกเกอร์ลูกใหม่จะต้องไม่มีผล และวงจรจะต้องเริ่มกำเนิดสัญญาณในทันทีที่ได้รับทริกเกอร์พัลส์ แต่ละลูกคลื่นของสัญญาณกวาดจะต้องมีลักษณะเหมือนกัน แม้ว่าจะเกิดอย่างสม่ำเสมอหรือไม่ก็ตาม

## 3. วงจรขยายสัญญาณแนวนอน (Horizontal Amplifier)

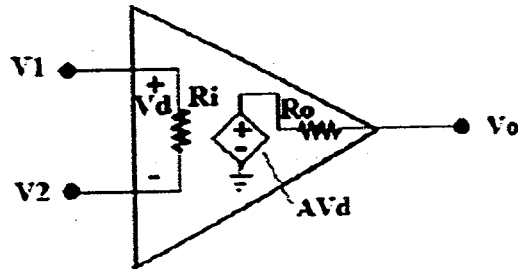
มีหน้าที่ขยายรูปคลื่นฐานเวลาอย่างถูกต้อง เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของลำอิเล็กตรอนไปเป็นระยะทางที่ต้องการบนจอและเพื่อให้การขยายสัญญาณของรูปคลื่นที่ต้องการพิจารณาในลักษณะที่ถูกปรับเทียบถูกต้องแล้ว ยังสามารถรับสัญญาณจากภายนอกได้ด้วย

ในส่วนของวงจรขยายสัญญาณ (Amplifier) นั้น มีหลายชนิด ขึ้นกับว่าเราจะเลือกใช้งานแบบใด เช่น วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier) วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Noninverting Amplifier), วงจรขยายความแตกต่าง (Differential Amplifier) วงจรขยายสัญญาณแบบรวมสัญญาณ (Summing Amplifier) เป็นต้น ซึ่งก่อนที่จะทำการออกแบบได้นั้นต้องศึกษาเรื่องดังกล่าวข้างต้นเสียก่อน จึงจะสามารถหาประเภทของวงจรขยายสัญญาณ (Operational Amplifier) ที่เหมาะสมกับการใช้งานได้

### 2.2.4 วงจรขยายสัญญาณหรือออปแอมป์ (Operational Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณหรือออปแอมป์ เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งที่มีการทำงานเป็นแบบวงจรควบคุมแรงดันของแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้า (Voltage-controlled Voltage Source) ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการขยายสัญญาณ รวมสัญญาณหรือนำมาทำเป็นตัวกระทำทางคณิตศาสตร์ เช่น รวมสัญญาณ (sum signal) อนุพันธ์สัญญาณ (differentiate signal) อินทิเกรตสัญญาณ (Integrate signal) ขยายสัญญาณ (Amplify signal) เป็นต้น

ภายใน Operational Amplifier ประกอบไปด้วยวงจรสมมูล ดังรูป ที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงวงจรสมมูลของ Operational Amplifier

โดย A คือ อัตราขยายแรงดันวงเปิด (Open-loop gain)

$R_i$  คือ ค่าความต้านทานด้านอินพุต

$R_o$  คือ ค่าความต้านทานด้านเอาต์พุต

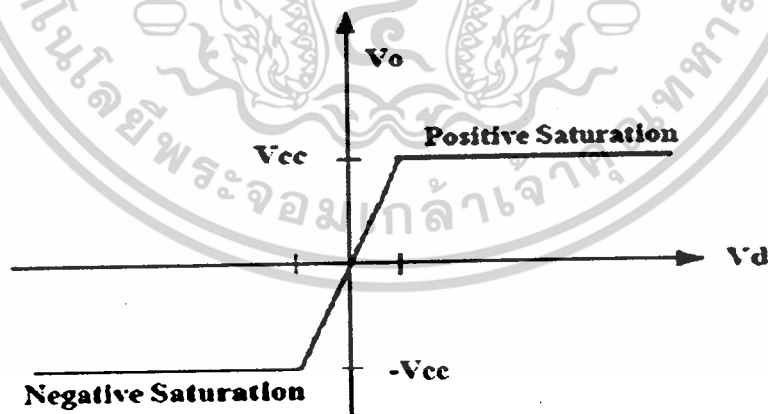
$V_d$  คือ ค่าแรงดันระหว่างขาอินพุต โดยที่

$$V_d = V_2 - V_1 \quad (1)$$

$V_o$  คือ ค่าแรงดันเอาต์พุต โดยที่

$$V_o = AV_d = A(V_2 - V_1) \quad (2)$$

ซึ่งแหล่งจ่ายแรงดัน จะทำงานได้ก็ต่อเมื่อ มีแรงดันตกคร่อม ที่  $R_i$  ซึ่งจะเกิดขึ้นจากแรงดันอินพุต  $V_1$  และ  $V_2$  นั้นเองช่วงการทำงานของวงจรขยายสัญญาณแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ดังรูป ที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงช่วงการทำงานของ Operation Amplifier

ช่วงอิ่มตัวด้านบวก (Positive saturation),  $V_o = V_{cc}$

ช่วงการทำงานแบบเชิงเส้น (Linear region),  $V_o = AV_d$

ช่วงอิ่มตัวด้านลบ (Negative saturation),  $V_o = -V_{cc}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. วงจรขยายสัญญาณในอุดมคติ

การพิจารณาวงจขยายสัญญาณทางอุดมคติจะกำหนดให้อัตราขยายรูปเปิด (Open-loop Gain)

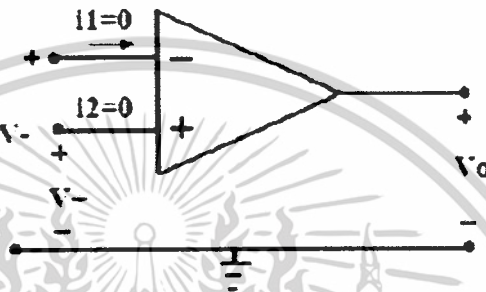
A มีค่านันต์ ความต้านทานอินพุตมีค่าเป็นอนันต์ และความต้านทานเอาต์พุตมีค่าเป็นศูนย์ คือ

$$A = \infty$$

$$R_i = \infty$$

$$R_o = 0$$

และสามารถสรุปความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันได้ดังต่อไปนี้

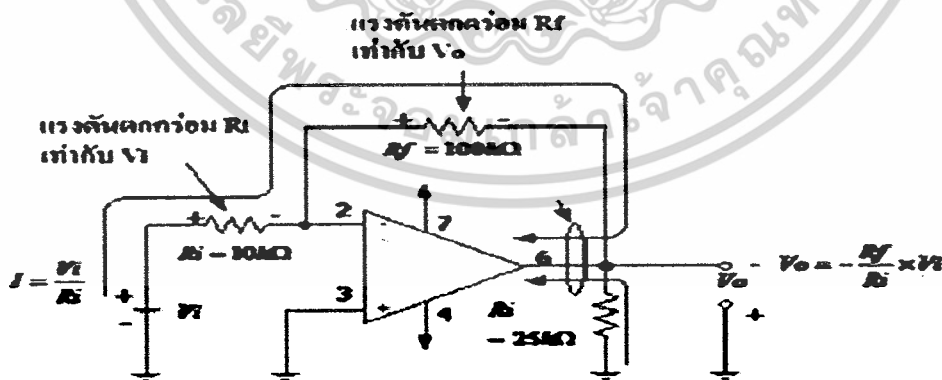


รูปที่ 2.12 ออปแอมป์ทางอุดมคติ

จากรูป ที่ 2.12 กระแสที่ไหลเข้าออปแอมป์ทางด้านอินพุตจะมีค่าเท่ากับศูนย์ และแรงดันที่ขาบวกและขาลบจะมีค่าเท่ากัน

2. วงจรขยายสัญญาณแบบกลับเฟส (Inverting Amplifier)

วงจขยายสัญญาณแบบกลับเฟส คือ วงจรออปแอมป์ที่กลับสัญญาณอินพุตให้มีเครื่องหมายตรงกันข้ามกับของเดิม โดยการป้อนสัญญาณอินพุตเข้าที่ขา Inverting (ขาลบ) ทำให้เอาต์พุตที่ได้มีลักษณะสัญญาณที่กลับเฟสกับสัญญาณอินพุต 180 องศา



รูปที่ 2.13 วงจขยายแบบกลับเฟส

วงจรในรูป ที่ 2.13 เป็นวงจขยายได้ทั้งสัญญาณ AC และ DC อัตราการขยายแบบ รูปปิด

$A_{CL}$  (Close-loop gain) จาก  $V_i$  ไป  $V_o$  ขึ้นอยู่กับ  $R_f$  และ  $R_i$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อป้อนแรงดันบวก  $V_i$  เข้าที่ขาอินพุทลบ (Inverting) ผ่านตัวต้านทานอินพุท ( $R_i$ ) ซึ่งจะทำหน้าที่ในการแปลงแรงดันให้เป็นกระแส  $I$  และให้  $R_f$  ซึ่งเป็นตัวต้านทานป้อนกลับต่ออยู่ระหว่างขาเอาต์พุทและอินพุทลบ โดย  $R_f$  ครอบคลุมในสมการนี้ แสดงว่าขั้วของ  $V_o$  จะกลับกับทางด้าน  $V_i$  จะทำหน้าที่แปลงกระแส  $I$  ให้กลับไปอยู่ในรูปของแรงดันอีกครั้ง โดยเป็นแรงดันที่เป็นสัดส่วนกับ  $V_i$

จากรูปที่ 2.13 จะได้อัตราการขยายสัญญาณ (Gain) เท่ากับ

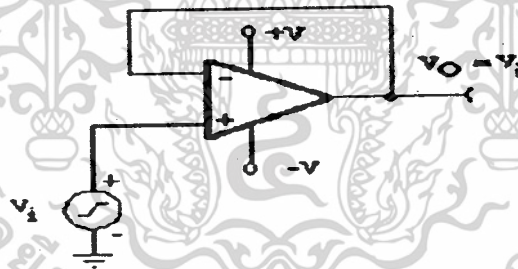
$$A_{cl} = -\frac{V_o}{V_i} = -\frac{R_f}{R_i} \quad (3)$$

เครื่องหมายลบในสมการนี้ แสดงว่าขั้วของ  $V_o$  จะกลับกับทางด้าน  $V_i$  ซึ่งจุดนี้เองที่ทำให้วงจรขยายนี้จึงได้ชื่อว่า วงจรขยายแบบกลับเฟส (inverting amplifier) ซึ่งอัตราการขยายของวงจรนี้จะขึ้นอยู่กับ  $R_f$  และ  $R_i$  เท่านั้น

### 3. วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier)

เป็นวงจรที่มีลักษณะที่ป้อนสัญญาณอินพุทเข้าที่ขาบวก (Noninverting) ซึ่งจะทำให้สัญญาณเอาต์พุทที่ได้ มีลักษณะเหมือนกับสัญญาณอินพุท ไม่กลับเฟส และอัตราการขยายแรงดันของวงจรชนิดนี้จะมีตั้งแต่หนึ่งเท่าขึ้นไป แบ่งออกเป็น

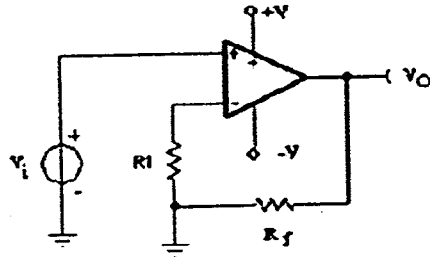
1. วงจรตามแรงดัน (Voltage follower)
2. วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส (Noninverting Amplifier)



รูปที่ 2.14 รูปแสดงวงจรตามแรงดัน

วงจรตามแรงดันเป็นวงจรที่สะท้อนค่าความต่างศักย์ที่ขาอินพุทให้ไปปรากฏเหมือนกันที่ขาเอาต์พุทของออปแอมป์ หรือมีการเลียนตามค่าแรงดันที่ขาอินพุท ซึ่งวงจรนี้จะมีอัตราการขยายเท่ากับ 1 เท่านั้น และบางครั้งเรียกวงจรนี้ว่า บัฟเฟอร์ (buffer) วงจรประเภทนี้จะป้อนสัญญาณ  $V_i$  เข้าทางขาอินพุทขาบวก เพื่อไม่ให้สัญญาณที่ออกมาทางด้านเอาต์พุทเกิดการกลับเฟส

ข้อดีของวงจรตามแรงดันก็คือ ทางด้านอินพุทของวงจรจะมีค่าความต้านทานสูงมากทำให้ดึงกระแสจากแหล่งจ่ายไฟน้อยมากจนถือว่า ไม่มีกระแสไหลเข้าออปแอมป์



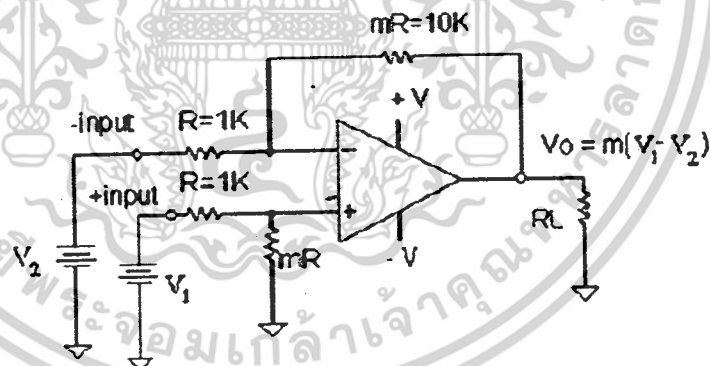
รูปที่ 2.15 แสดงวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส

วงจรขยายแบบนอนอินเวอร์ตดัง รูป ที่ 2.15 เป็นวงจรที่ให้แรงดันเอาต์พุต  $V_o$  มีเครื่องหมาย หรือมีขั้วเหมือนกับแรงดันทางด้านอินพุต  $V_i$  โดยมีอัตราขยาย (A)

$$A_{cl} = \frac{V_o}{V_i} = \frac{R_f}{R_i} \quad (4)$$

#### 4. วงจรขยายความแตกต่าง (Differential Amplifier)

วงจรขยายความแตกต่างหรือวงจรดิฟเฟอเรนเชียลเป็นวงจรที่ขยายสัญญาณอินพุตที่มีขนาดเล็ก ซึ่งใช้การเปรียบเทียบสัญญาณอินพุต ( $V_1$ ) และอินพุต ( $V_2$ ) โดยถ้าสัญญาณทั้งสองมีความแตกต่างกันก็จะให้สัญญาณเอาต์พุตออกมา และถ้าสัญญาณป้อนเข้าที่ขาอินพุตทั้งสองของออปแอมป์เท่ากัน ก็จะทำให้เอาต์พุตออกมาเท่ากับศูนย์ดังรูปที่ 2.16



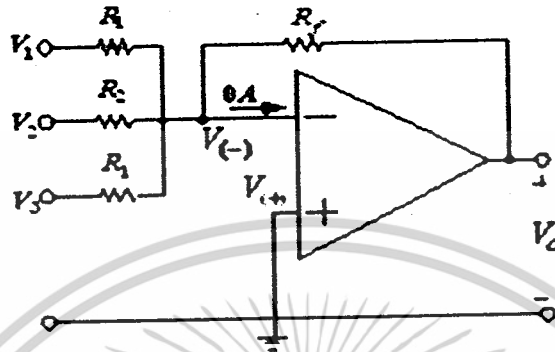
รูปที่ 2.16 แสดงวงจรดิฟเฟอเรนเชียลเบื้องต้น

$$V_o = m(V_1 - V_2) \quad (5)$$

โดยที่  $m$  = อัตราขยายของสัญญาณแบบกลับเฟส

### 5. วงจรขยายสัญญาณแบบรวมสัญญาณ (Summing Amplifier)

วงจรขยายสัญญาณแบบรวมสัญญาณ คือ วงจรออปแอมป์ที่รวมอินพุตตั้งแต่ 2 อินพุตขึ้นไปมารวมกัน



รูปที่ 2.17 แสดงวงจรขยายสัญญาณแบบรวมสัญญาณ

พิจารณาจากรูป(สังเกตที่ขั้วบวก)จะได้

$$V_{(+)} = 0 = V_{(-)}$$

พิจารณาที่โหนด  $V_{(-)}$  จาก KCL;

$$\frac{V_{(-)} - V_1}{R_1} + \frac{V_{(-)} - V_2}{R_2} + \frac{V_{(-)} - V_3}{R_3} + \frac{V_{(-)} - V_0}{R_f} = 0 \quad (6)$$

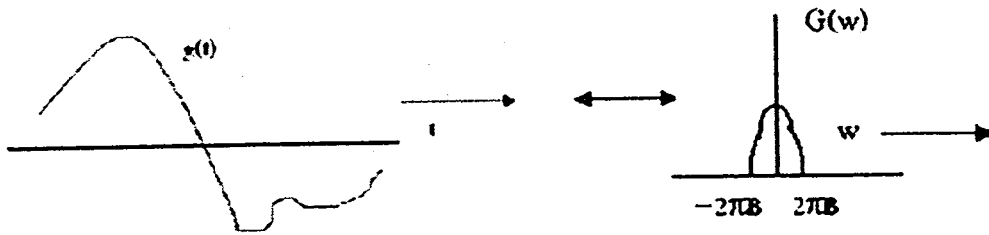
เมื่อแทนค่า  $V_{(-)} = 0$  ในสมการข้างต้น จะได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุต คือ

$$\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} + \frac{V_0}{R_f} = 0 \quad (7)$$

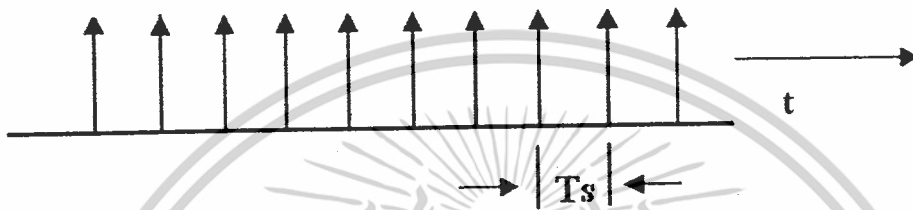
จากการศึกษาวงจรขยายสัญญาณแบบต่างๆทำให้ทางกลุ่มเลือกใช่วงจรขยายสัญญาณแบบไม่กลับเฟส (Non-Inverting Amplifier) เนื่องจากต้องการให้สัญญาณที่วัดออกมามีความใกล้เคียงกับสัญญาณที่วัด

### 2.3 ทฤษฎีการสุ่มตัวอย่าง (Sampled Theory)

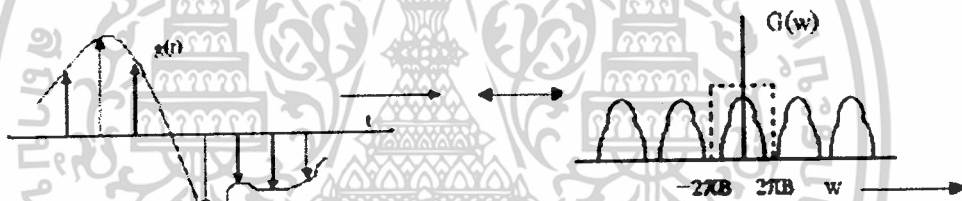
ทฤษฎีการสุ่มตัวอย่าง กล่าวว่า สัญญาณที่มีแบนด์จำกัด ที่ B Hz สามารถจะแทนด้วยกลุ่มของตัวอย่างของมัน โดยที่แต่ละตัวอย่างมีระยะห่างที่เท่ากันและระยะห่างระหว่างตัวอย่างจะต้องไม่เกิน  $1/2B$  วินาที นั่นหมายความว่า สัญญาณที่มีแบนด์ที่ B Hz สามารถที่จะถูกสร้างจากกลุ่มตัวอย่างของตัวเองที่ได้จากการสุ่มด้วยความเร็วไม่น้อยกว่า  $2B$  ตัวอย่างต่อวินาที ดังรูป ที่ 2.18-2.20 แสดงทฤษฎีการสุ่มสัญญาณ เมื่อมีสัญญาณอินพุตที่มีแบนด์ที่ B Hz เข้ามา การสุ่มสัญญาณจะทำได้โดยมีเวลาในการสุ่มสัญญาณ ( $T_s$ ) น้อยกว่าหรือเท่ากับ  $1/2B$  ซึ่งช่วงเวลาของการสุ่มตัวอย่าง  $T_s < 1/2B$  ถูกเรียกว่า ช่วงเวลาของไนควิสต์ (Nyquist Interval) และเรียก  $f_s = 2B$  ว่า อัตราการสุ่มตัวอย่างของไนควิสต์ (Nyquist Sampling Rate)



รูปที่ 2.18 รูปแสดงสัญญาณ  $g(t)$  บนแกนเวลาและแกนความถี่ก่อนการถูกแปลง

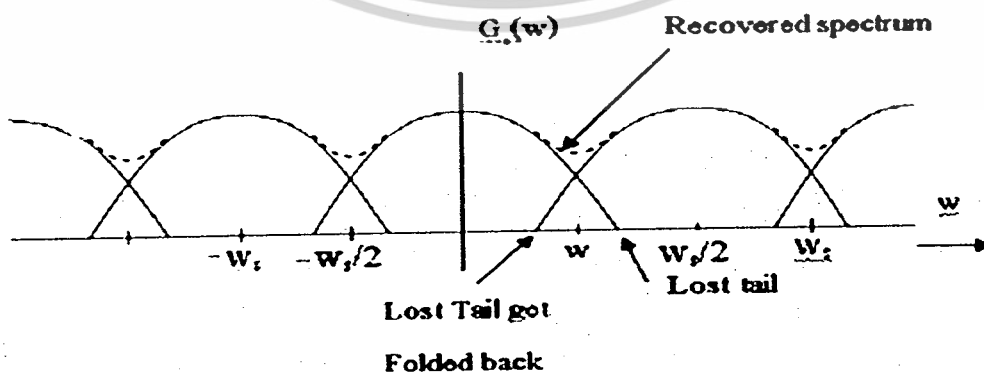


รูปที่ 2.19 รูปแสดง Impulse ของสัญญาณที่จะใช้ในการสุ่มสัญญาณ  $g(t)$



รูปที่ 2.20 รูปแสดงสัญญาณ  $g(t)$  ที่ถูกสุ่มแล้ว ทั้งในแกนเวลา และแกนความถี่

ถ้าหากสัญญาณ  $g(t)$  ถูกสุ่มด้วยอัตราที่ต่ำกว่าอัตราการสุ่มของไนควิสต์ สเปกตรัม  $G(w)$  จะประกอบไปด้วย  $G(w)$  ซึ่งมีส่วนทับกัน ดังรูปที่ 2.21 ซึ่งจะเห็นว่ากรณีเช่นนี้จะนำเอาสัญญาณ  $g(t)$  กลับมาจาก  $g_s(t)$  ไม่สามารถที่จะทำได้ เพราะสัญญาณ  $g_s(t)$  มีสเปกตรัมที่ไม่เหมือนกับสเปกตรัมของ  $g(t)$  เดิมอย่างสมบูรณ์ ปรากฏการณ์นี้ถูกเรียกว่า การเกิดการซ้อนทับกัน (Aliasing Error) ซึ่งเป็นความผิดพลาดที่เราไม่ต้องการ



รูปที่ 2.21 แสดงการเกิดความผิดพลาดที่เกิดซ้อนทับกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

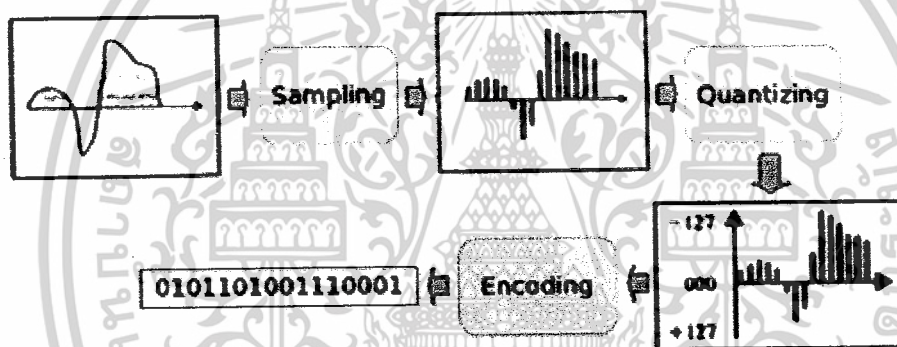
## 2.4 การแปลงสัญญาณสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล (Analog To Digital Converter, A/D)

ในการแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัลนั้น นิยมใช้วิธี Pulse-Code Modulation (PCM) โดยขั้นตอนในการแปลงสัญญาณนั้น จะประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลัก คือ

1. การเก็บตัวอย่างสัญญาณ (Sampling) เป็นขั้นตอนที่จะเก็บขนาดสัญญาณตัวอย่าง (Sample) ที่เวลาห่างกันคงที่ค่าหนึ่ง (Sampling Period) จากนั้นจะส่งข้อมูลที่เก็บมาไปยังขั้นตอนของการเปรียบเทียบสัญญาณ (Quantization)

2. การเปรียบเทียบสัญญาณ (Quantization) ข้อมูลที่ได้จากการเก็บตัวอย่างสัญญาณ จะถูกส่งมาเปรียบเทียบกับความต่างศักย์คงที่มาตรฐานค่าหนึ่ง (Voltage Reference) ซึ่งความละเอียด (Resolution) ของการแปลงสัญญาณจะขึ้นอยู่กับจำนวนบิต (n) ของข้อมูลขาออก โดยจะเท่ากับ  $2^n$  ระดับ

3. การเข้ารหัสข้อมูล (Encoding) ในขั้นนี้ข้อมูลที่ถูกรวบรวมขนาดของสัญญาณเรียบร้อยแล้ว จะถูกนำมาเข้ารหัสเป็นข้อมูลแบบ Binary ที่ตรงกับระดับที่เปรียบเทียบไว้แล้วให้ผลที่เอาต์พุต โดยขั้นตอนในการแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบ PCM แสดงไว้ในรูปที่ 2.22



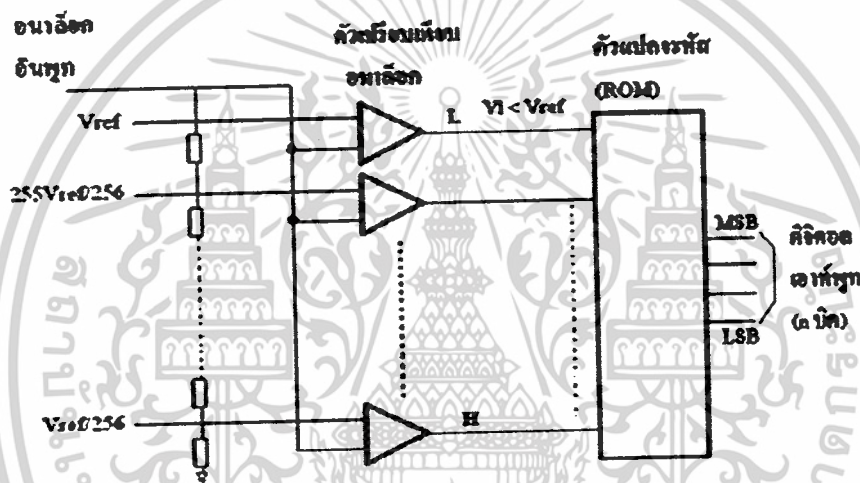
รูปที่ 2.22 รูปแสดงขั้นตอนการแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบ PCM

จากแผนภาพแสดงการทำงานของ Computer-based Oscilloscope ที่ออกแบบ A/D Converter จะทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล ซึ่งมีวิธีการแปลงสัญญาณอยู่ 4 แบบหลักๆ ด้วยกันคือ 1.การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบขนาน (Flash) 2. การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบอินทิเกรต (Integrating) 3.การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบอินทิเกรตความดันคู่ (Dual Slope Integrating) 4.การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบประมาณสืบเนื่อง(Successive Approximation) ดังจะกล่าวต่อไป หลังจากการแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็น

ดิจิทัล เสร็จสิ้นแล้ว สัญญาณจะถูกส่งต่อไปให้กับ FPGA โดยที่ FPGA จะทำหน้าที่ในการถ่ายโอนข้อมูลเข้าสู่คอมพิวเตอร์ตั้งนั้นก่อนการออกแบบ จึงจำเป็นต้องศึกษาเกี่ยวกับเรื่องการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลและศึกษาข้อมูลจาก Data sheet ของ A/D Converter เพื่อใช้ในการเลือกอุปกรณ์ก่อน การแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล ซึ่งมีวิธีการแปลงสัญญาณที่สำคัญอยู่ 4 แบบด้วยกันคือ

**2.4.1. การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบขนาน (Flash)**

การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบขนาน หากเป็นการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบ 8 บิต อินพุตแบบอนาล็อกจะถูกเปรียบเทียบกับอนาล็อกที่ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบถึง 256 หรือ  $2^8$  ตัวแล้วนำไปแปลงรหัสที่ตัวแปลงรหัส ข้อดีคือ ใช้เวลาในการแปลงสัญญาณเร็ว ข้อเสียคือมีองค์ประกอบในวงจรและใช้ตัวเปรียบเทียบจำนวนมาก



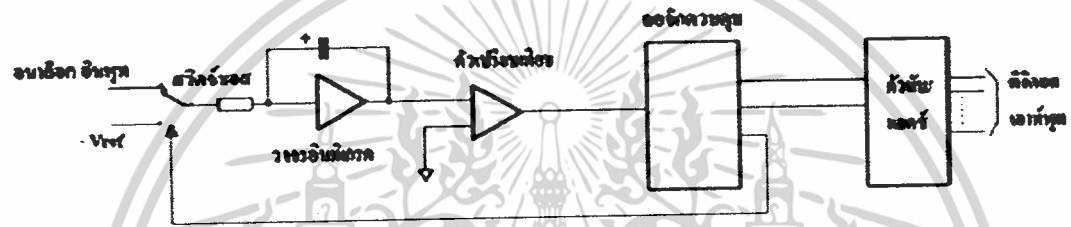
รูปที่ 2.23 รูปแสดงการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบขนาน

ส่วนการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบครึ่งขนาน (Half Flash) มีลักษณะการทำงานเหมือนกับการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบครึ่งขนานแต่จะต่างกันที่การแปลงสัญญาณจะแบ่งออกเป็น 4 บิตบนและ 4 บิตล่างและใช้ตัวเปรียบเทียบ 32 หรือ  $2^4+2^4$  ตัว ข้อดีของการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบครึ่งขนาน (Half Flash) คือ ใช้อุปกรณ์ในวงจรมีน้อยกว่าการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบขนานทำให้มีราคาถูกลงว่า ลดเวลาในการแปลงสัญญาณลงเป็นครึ่งหนึ่งของวิธีแบบขนาน



2.4.3 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบอินทิเกรตความดันคู่ (Dual Slope Integrating)

การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบอินทิเกรตความดันคู่ ดังแสดงในรูป สวิตช์มอสจะสับสวิตช์ให้รับสัญญาณจากอนาล็อกอินพุต ตัวเก็บประจุจะเก็บประจุที่มีอัตราแปรผันกับค่าแรงดันขาเข้า ( $V_{IN}$ ) หลังจากนั้นสวิตช์มอสจะถูกต่อเข้ากับแรงดันอ้างอิงและตัวนับจะเริ่มนับที่จุดนี้ เนื่องจากแรงดันอ้างอิงมีขั้วไฟฟ้า ทำให้ตัวเก็บประจุปล่อยประจุผ่านตัวต้านทานเข้าสู่แรงดันอ้างอิงทางด้านลบ ตัวเก็บประจุจะปล่อยประจุต่อเนื่องจนมีค่าเป็น 0 โวลต์ ที่จุดนี้ตัวเปรียบเทียบอนาล็อกจะตรวจพบได้ ทำให้ลอจิกควบคุมกำหนดให้ตัวนับหยุดนับ จะได้ค่าดิจิทัลเอาต์พุตแลตซ์ การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบอินทิเกรตความดันคู่จะใช้เวลาในการแปลงสัญญาณนานกว่าการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบประมาณสี่บิตเนื่อง

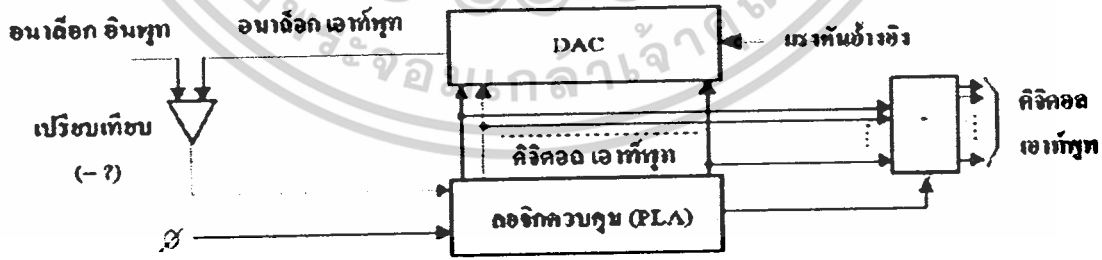


รูปที่ 2.26 รูปแสดงการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบอินทิเกรตความดันคู่

2.4.4 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบประมาณสี่บิตเนื่อง (Successive Approximation)

การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบประมาณสี่บิตเนื่อง จะมีการป้อนค่าวนกลับโดยอินพุตอนาล็อกถูกเปรียบเทียบกับค่าเอาต์พุตของการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อกจนกระทั่งค่าทั้งสองเหมือนกัน โดยการเพิ่มหรือลดค่า เมื่อสัญญาณมีค่าเท่ากัน ลอจิกควบคุมจะส่งสัญญาณดิจิทัลที่แปลงเสร็จแล้วออกมา

การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบประมาณสี่บิตเนื่องใช้เวลาในการแปลงสัญญาณนานกว่าการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบขนาน และไวต่อสัญญาณรบกวน



รูปที่ 2.27 รูปแสดงการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบประมาณสี่บิตเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (D/A Converter)

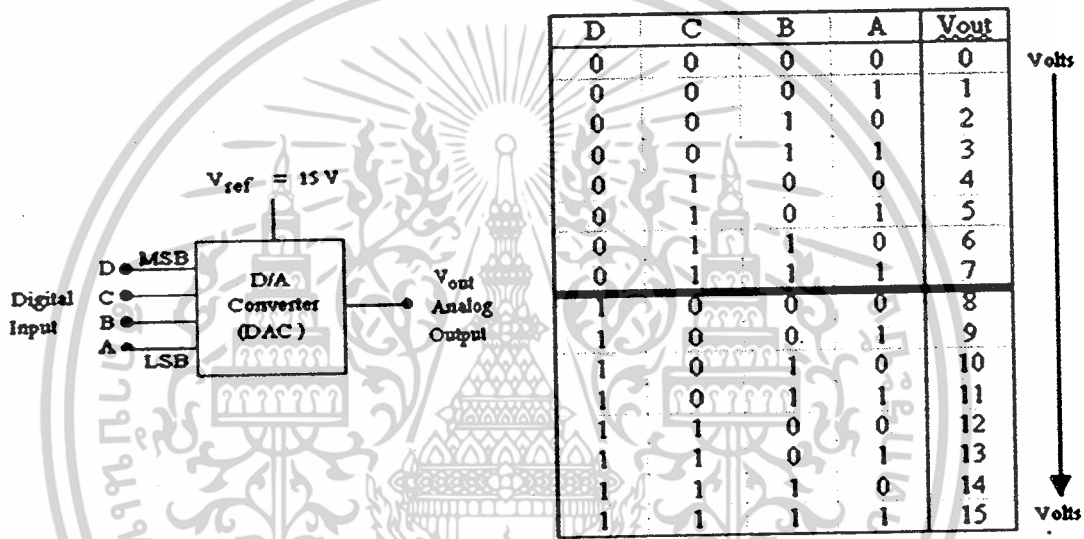
หลักการแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อกคั้งรูป ที่ 2.28 อินพุต เป็นเลขไบนารี เอาท์พุทเป็นแรงดันแบบอนาล็อก โดยให้อินพุตเป็นสัญญาณ (Digital) และเอาท์พุทเป็นสัญญาณ (analog) มีความสัมพันธ์เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{Analog output} = K \times \text{Digital input}$$

Digital input หมายถึง ปริมาณเลขไบนารีทางอินพุต

Analog output หมายถึง ปริมาณแรงดัน หรือ กระแสที่เอาท์พุท

K หมายถึง ค่าคงที่เฉพาะแต่ละวงจรเรียกว่า proportionality factor หน่วยเป็น Vหรือ A ค่า มีค่าขึ้นกับวงจรและ Reference voltage (Vref)



รูปที่ 2.28 รูปแบบทั่วไปของวงจร DAC

จากตาราง True Table รูปที่ 2.28 จะเห็นความสัมพันธ์ระหว่างอินพุต และเอาท์พุท เช่น เมื่ออินพุต 0000 เอาท์พุท 0 V อินพุต 0001 เอาท์พุท 1 V อินพุต 0010 เอาท์พุท 2 V ค่า proportionality มีค่าเท่ากับ 1V

สมการ  $V_o = 1V \times \text{digital input}$

ตัวอย่างเช่น อินพุตดิจิทัล 0101 จงหาค่าเอาท์พุทโวลต์เดจ

$$\text{Digital input} = (0101)_2 = (5)_{10}$$

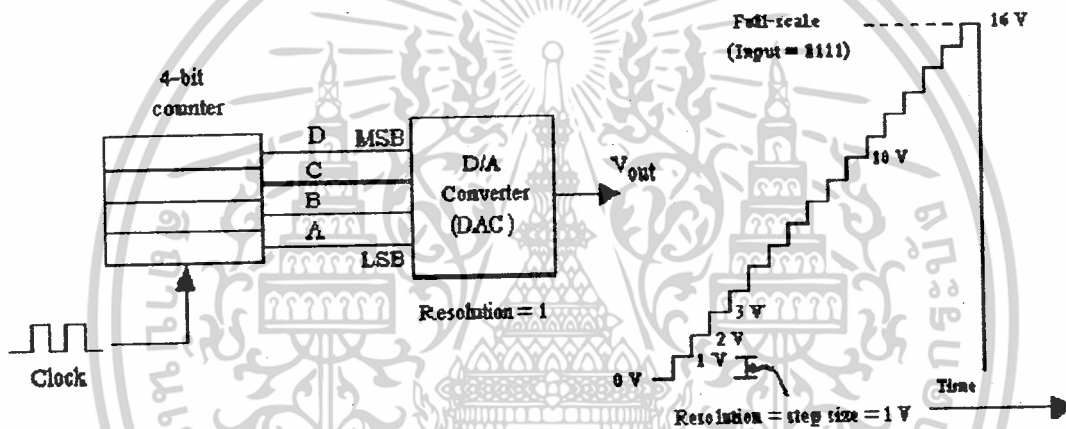
$$V_o = 1V \times (5)_{10} = 5V$$

**Input Weights** หมายถึงน้ำหนักของเลขไบนารีอินพุตแต่ละหลัก ที่จะผลิตค่าโวลต์เดจ หรือ กระแสออกเอาท์พุท เช่นตารางข้างล่าง เมื่อ  $K=1V$  weight ของบิต A = 1V weight ของบิต B = 2V weight ของบิต C = 4V weight ของบิต D = 8V

D	C	B	A	V <sub>out</sub> (V)
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	1	0	0	4
1	0	0	0	8

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงน้ำหนักของเลขไบนารีอินพุตแต่ละหลัก

**Resolution (Step Size)** สำหรับวงจร DAC ค่า resolution หมายถึงค่าความละเอียดในการแปลงสัญญาณจากดิจิทัลเป็นอนาลอก หรือ ค่าของ LSB (Least Significant Bit) หรือ ค่า proportionality factor (K) บางครั้งจะเรียกว่า Step Size ซึ่ง หมายถึงขั้นบันไดของวงจรรูป ที่ 2.29



รูปที่ 2.29 Output waveforms of a DAC as inputs are provided by a binary counter

จากรูป ที่ 2.29 แสดงการเปลี่ยนแปลงเอาต์พุตเป็นแบบขั้นบันได ค่าความละเอียด (Resolution) คือค่าของโวลต์แดงแต่ละขั้นบันได รูปขั้นบันไดเกิดจากป้อน Clock แก่วงจรนับแบบเลขไบนารี และนำเลขไบนารีต่อเข้ากับวงจร DAC แปลงเป็นโวลต์แดง เมื่ออินพุตเป็น 0000 เอาต์พุตได้ 0V อินพุต 0001 เอาต์พุตได้ 1V อินพุต 0010 เอาต์พุตได้ 2V แต่ละขั้นบันไดใช้เวลาเท่ากับเวลาหนึ่ง Clock

**Step size** หมายถึงค่าโวลต์แดงเอาต์พุตแต่ละขั้นการเปลี่ยนแปลงหรือค่าความละเอียดของวงจร DAC  
**Number of step** หมายถึง จำนวนขั้นสูงสุดของวงจร DAC มีค่าเท่ากับ  $2^N - 1$  เมื่อ N = จำนวนบิตทั้งหมด

**Full scale output** หมายถึง ค่าโวลต์แดงเอาต์พุตสูงสุด เช่น DAC ขนาด 4บิต step size เท่ากับ 1V เมื่ออินพุตสูงสุด 1111 เอาต์พุตสูงสุด 15V

**Percentage Resolution** หมายถึง ค่าความละเอียดของวงจร DAC คิดเป็นเปอร์เซ็นต์สมการในการคำนวณคือ

$$\% \text{resolution} = (\text{step size} / \text{full scale}) * 100\% \text{ หรือ } \% \text{resolution} = (1 / \text{number of steps}) * 100\%$$

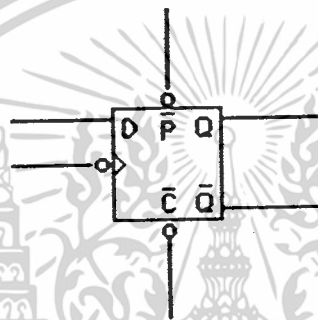
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.6 ตัวเลื่อนข้อมูล (Shift Register)**

ตัวเลื่อนข้อมูลจัดเป็นการนำ FLIP FLOP ไปใช้งานได้อย่างหนึ่ง การเลื่อนข้อมูลจะมีลักษณะแตกต่างกันดังนี้

1. เข้าขนานออกขนาน (Parallel In Parallel Out หรือ PIPO)
2. เข้าขนาน ออก อนุกรม (Parallel In Serial Out หรือ PISO)
3. การเข้าอนุกรม ออก ขนาน (Serial In Parallel Out หรือ SIPO)
4. เข้าอนุกรม ออก อนุกรม (Serial In Serial Out หรือ SISO)

การเลื่อนข้อมูลดังกล่าวแล้วข้างต้นใช้โครงสร้างจาก FLIP FLOP ซึ่งแบ่งออกเป็น R-S FLIP FLOP, D FLIP FLOP หรือ J- FLIP FLOP ก็ได้ ตัวอย่างโครงสร้าง D FLIP FLOP คือรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 แสดง โครงสร้างของ D Flip-Flop

**2.6.1. เข้าขนานออกขนาน (Parallel In Parallel Out หรือ PIPO)**

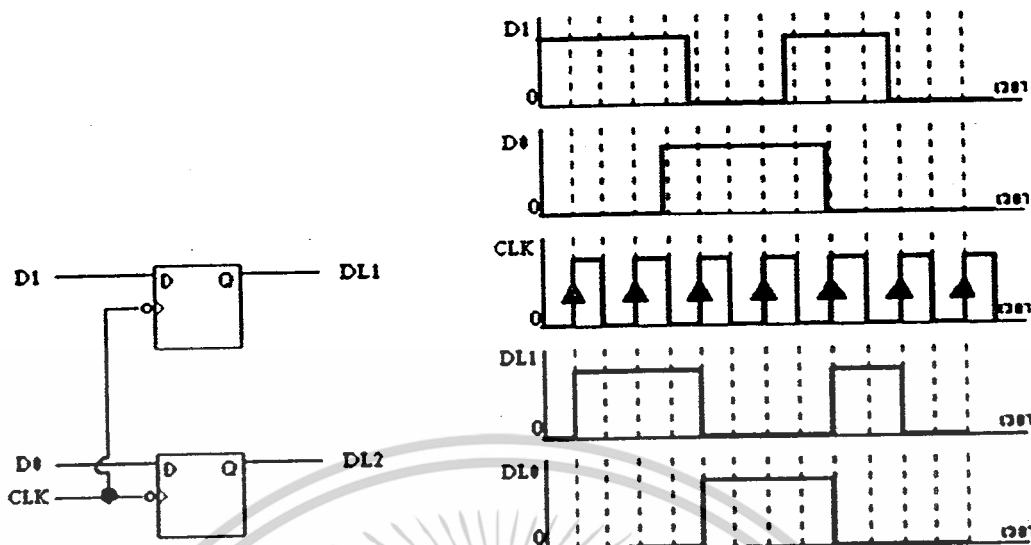
ตัวเลื่อนข้อมูลในลักษณะนี้ จะนำมาใช้เป็นตัวจับบันทึก หรือคงค่า (Latch) ข้อมูลไว้ ดังตัวอย่าง

Input				Output	
PR	CLR	CLK	D	Q	nQ
0	1	X	X	1	0
1	0	X	X	0	1
0	0	X	X	1*	1*
1	1		X	1	0
1	1		0	0	1
1	1	X	X	Q0	nQ

1\*ไม่ Stable nQ = Qbar = Q complements nQ0 = Q0bar = Q0 complement

ตารางที่ 2.2 แสดงเอาต์พุตของ D FLIP FLOP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

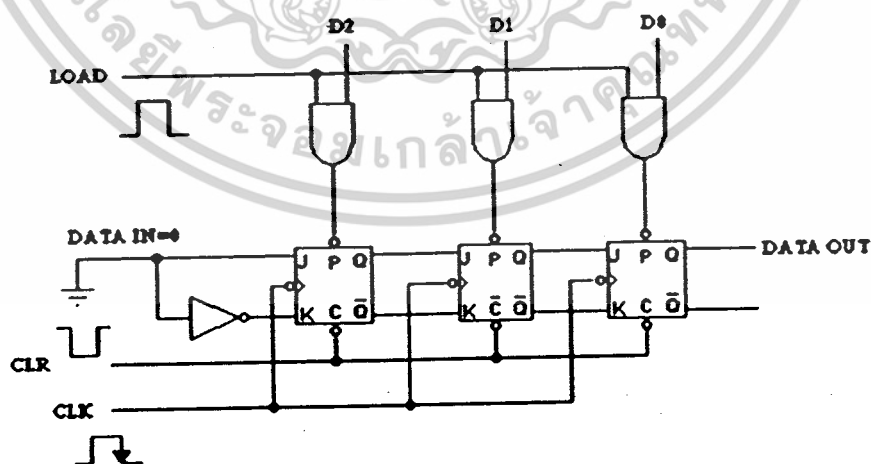


รูปที่ 2.31 ตัวรับข้อมูลแบบ 2 บิต และ ความสัมพันธ์ระหว่าง DATA CLOC

ในรูป 2.31 เป็นตัวอย่างของตัวบันทึกข้อมูลแบบ 2 บิต หากจะให้จำนวนบิตมากขึ้น ก็เพียงแค่เพิ่มจำนวนฟลิปฟล็อป แล้วใช้สัญญาณ CLOCK ร่วมกัน และ รูปแสดง ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณเอาต์พุต กับสัญญาณ DATA ที่สัญญาณ CLOCK แสดงจังหวัดเวลาต่างๆ กัน โดยการเปลี่ยนแปลงจะเกิดขึ้นที่ขอบขาขึ้นของสัญญาณพัลส์

2.6.2 เข้าขนานออกอนุกรม (Parallel In Serial Out หรือ PISO)

ตัวเลื่อนข้อมูลแบบเข้าขนานออกอนุกรม การส่งข้อมูลให้กับตัวเลื่อนชนิดนี้ ทำได้โดยการส่งข้อมูลให้ตัวเลื่อนแบบขนาน และรับข้อมูลจากตัวเลื่อนแบบอนุกรม



รูปที่ 2.32 ตัวเลื่อนข้อมูลชนิดรับส่งข้อมูลแบบขนานและส่งข้อมูลแบบอนุกรม โดยใช้ Flip-Flop ชนิด J

จากรูป 2.32 ข้อมูลที่ต้องการจะ LOAD เข้ามาแบบขนานจะต้องป้อนเข้ามารอไว้ที่ D2 D1 D0 เมื่อได้สัญญาณ LOAD เป็น "1" จะได้รับการ LOAD เป็น "0" จะยังคงสภาพ "0" อยู่เหมือนเดิมลำดับขั้นตอนในการใช้ PISO ตามโครงสร้างนี้จะต้องทำตามลำดับขั้นดังนี้

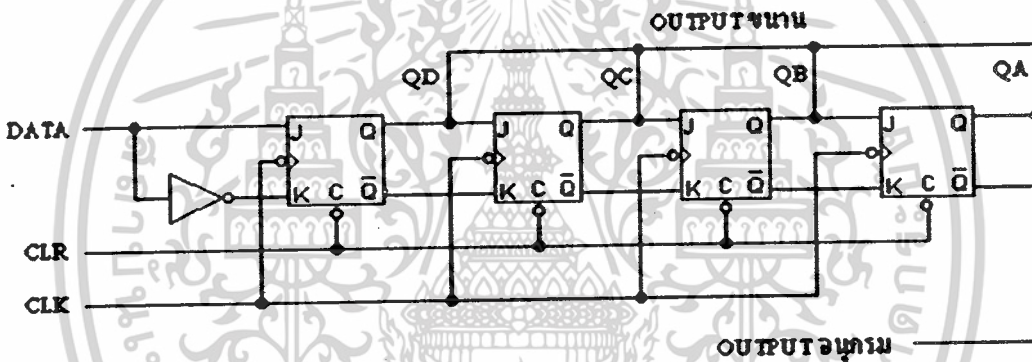
1. CLEAR วงจร โดยส่งสัญญาณ CLEAR เป็นลอจิก "0" ชั่วขณะ (ปกติ ขานี้จะต้องเป็น "1" เพื่อให้ FLIPFLOP ทำงาน)

2. LOAD ค่าที่ต้องการ

3. SHIFT ข้อมูลตามกระบวนการ

การส่งข้อมูลในลักษณะนี้ตัวข้อมูลจะเลื่อนออกไปทางสายสัญญาณเพียงเส้นเดียว โดยบิตที่มีค่าต่ำสุด(Least Significant Bit หรือ LSB) จะเลื่อนออกไปหลังสุด จำนวนบิตของข้อมูลจะกำหนดจำนวนทลของ Flip Flop และจำนวนสัญญาณนาฬิกาที่ต้องใช้ ในการเลื่อนข้อมูล

2.6.3 การเข้าอนุกรมออกขนาน (Serial In Parallel Out หรือ SIPO)

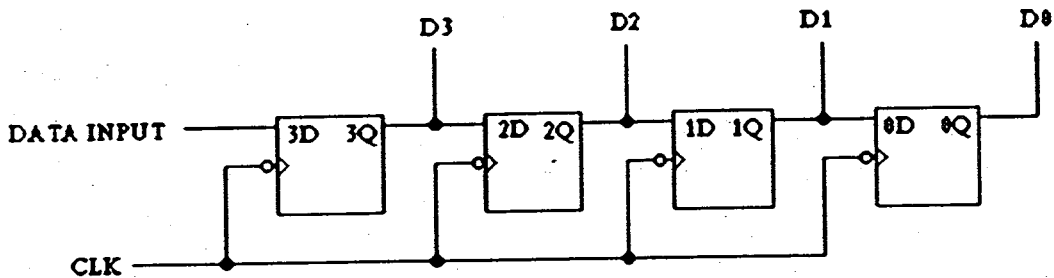


รูปที่ 2.33 โครงสร้างของตัวเลื่อนข้อมูลแบบเข้าอนุกรมและออกแบบขนาน ใช้ Flip-Flop ชนิด J ตัวเลื่อนข้อมูลแบบ SIPO สามารถนำเอาที่พหุมาใช้ได้ใน 2 ลักษณะ คือ

1. นำเอาที่พหุขนานมาใช้ คือ OUTPUT QA, QB, QC และ QD

2. นำเอาที่พหุอนุกรมมาใช้ คือ จาก QA มาใช้ การนำเอาที่พหุขนานมาใช้ จะต้องอาศัยการเลื่อน

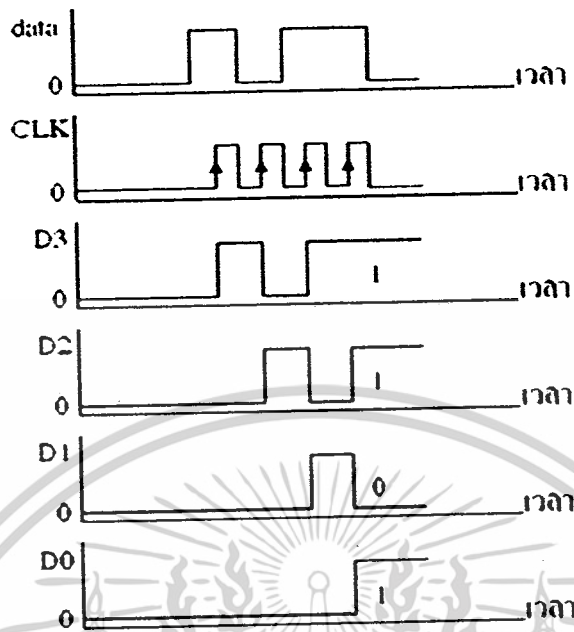
4 จังหวะ จึงจะได้ข้อมูลมาครบถ้วน ส่วนข้อมูลอนุกรมจะได้ครบก็ต่อเมื่อต้องอาศัยการเลื่อน 8 จังหวะ ปกติตัวเลื่อนแบบ SISO จะนำมาใช้เมื่อต้องการหน่วงเวลาสัญญาณเท่านั้นต่อไปนี้เป็นตัวอย่างการใช้ฟลิปฟลอปชนิด D ในการเลื่อนข้อมูลแบบรับเข้าอนุกรม และส่งออกแบบขนาน



รูปที่ 2.34 การนำ D FLIPFLOP มาจัดวงจรเป็นรับเข้าแบบอนุกรม และส่งออกแบบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นาไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



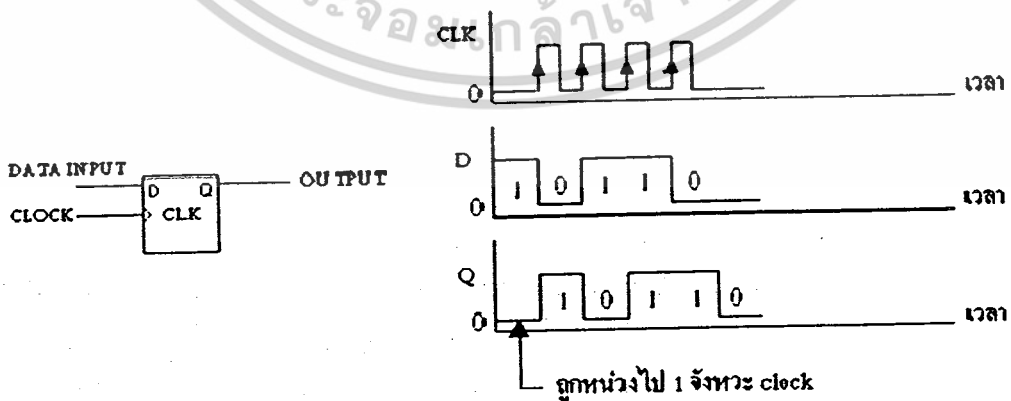
รูปที่ 2.35 หลังจากมีสัญญาณ CLOCK เข้ามาครบ 4 ลูก DATA ที่ส่งเข้ามาในจังหวะที่สัมพันธ์กับ

สัญญาณCLOCK จะปรากฏออกมา ที่ขา D3, D2, D1 และ D0

การรับข้อมูลแบบอนุกรมในลักษณะนี้สัญญาณ CLOCK ของฝ่ายรับจะต้องมีคาบเวลาเท่ากับสัญญาณCLOCK ของฝ่ายหลัง (แต่ไม่จำเป็นต้องเป็นสัญญาณเดียวกัน) ข้อมูลที่รับได้จึงจะเป็นข้อมูลที่ถูกต้อง

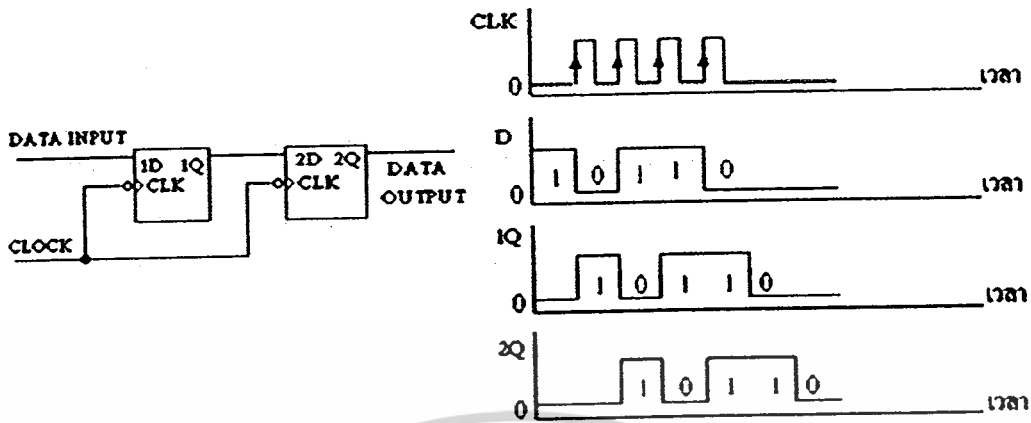
### 2.6.4 เข้าอนุกรม ออกอนุกรม (Serial In Serial Out หรือ SISO)

ในการส่งข้อมูลแบบอนุกรมและตัวรับแบบอนุกรมนี้ไม่มีใช้ในการรับส่งข้อมูลทั่วไป แต่ใช้เพื่อหน่วงเวลาของข้อมูล หากต้องการ หน่วงเวลาของข้อมูลไป 1 ช่วงสัญญาณนาฬิกาก็ได้ ฟลิปฟล็อปชนิด D จำนวน 1ภาค และเพิ่มขึ้นทุกจำนวน 1 ภาค ต่อการหน่วง ไป 1 จังหวะของสัญญาณนาฬิกาอย่างไรก็ตาม จำนวนบิตของข้อมูลที่ส่งต่อหน่วยเวลาดึงต้องเท่ากับควมถี่ของสัญญาณนาฬิกาที่ให้กับฟลิปฟล็อปชนิด D



รูป 2.36 แสดงการหน่วงเวลาของข้อมูล โดยการส่งเข้าแบบ อนุกรมและส่งออกแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.37 แสดงการหน่วงเวลาของข้อมูลโดยใช้ D FLIP FLOP จำนวน 2 ภาควเพื่อสร้างเป็นตัวรับแบบอนุกรมและส่งออกแบบอนุกรม

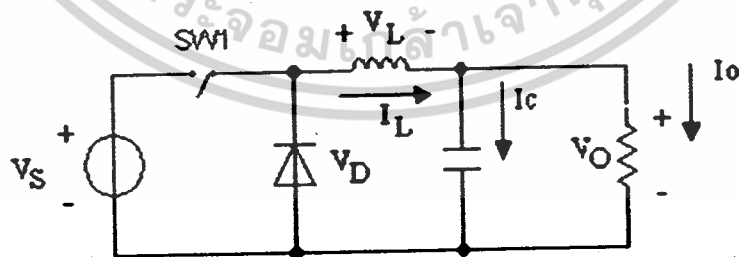
## 2.7 วงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรง (DC to DC Converter)

DC to DC Converter เป็นวงจรแปลงผันกำลังไฟฟ้ากระแสตรงเป็นกระแสตรงซึ่งมีทั้งแบบทอนระดับ (Buck Converter) แบบทบระดับ (Boost Converter) และแบบทอน-ทบไฟฟ้า (Buck-Boost Converter)

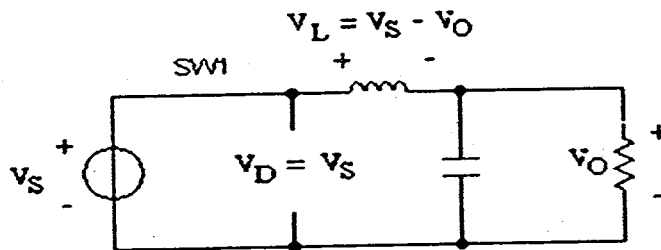
### 2.7.1 วงจรทอนระดับ (Buck Converter)

วงจรทอนระดับ (Buck converter) หรือ วงจรที่ลดแรงดันไฟฟ้าให้ต่ำลง (Step down converter) มีโครงสร้างของวงจรดังรูป ที่ 2.38 ซึ่งประกอบไปด้วย สวิตช์ ("ON" หรือ "OFF") ตัวเก็บประจุ (Capacitor) ตัวเหนี่ยวนำ (Inductor) และ ไดโอด (Diode) การพิจารณาวงจรทอนระดับนั้นจะแยกเป็น 2 กรณี คือ

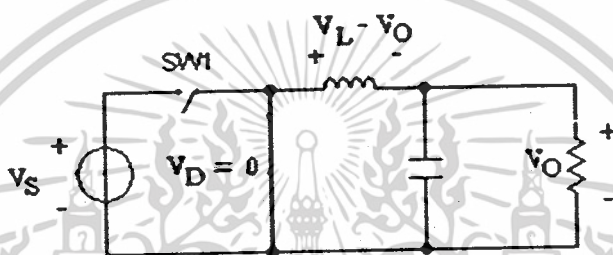
1. ขณะสวิตช์นำกระแส ดังรูป ที่ 2.39
2. ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส ดังรูป ที่ 2.40



รูปที่ 2.38 วงจรทอนระดับ (Buck converter)



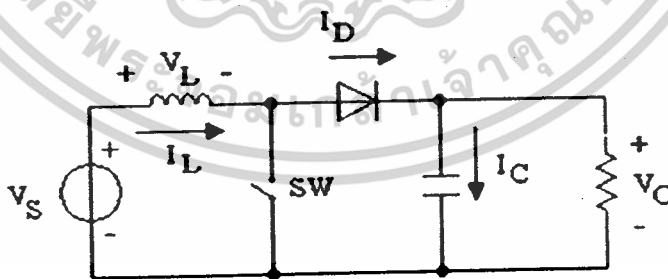
รูปที่ 2.39 วงจรทอนระดับ (Buck converter) ขณะสวิตช์นำกระแส



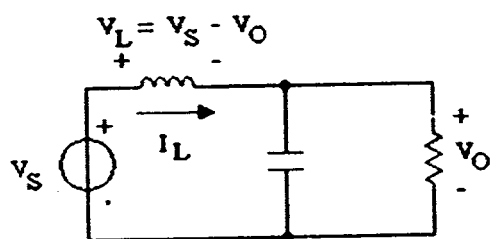
รูปที่ 2.40 วงจรทอนระดับ (Buck converter) ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส

2.7.2 วงจรทอนระดับ (Boost Converter)

วงจรทอนระดับ (Step up converter) หรือเรียกวงจรเพิ่มแรงดัน (Boost converter) ทำหน้าที่เพิ่มแรงดันให้เหมาะสมกับการใช้งาน โดยมีโครงสร้างของวงจรดังแสดงในรูปที่ 2.41) การพิจารณาวงจรทอนระดับขณะสวิตช์ไม่นำกระแสดังแสดงในรูปที่ 2.42



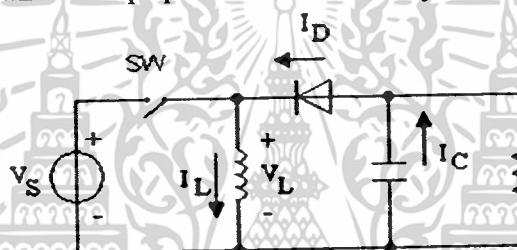
รูปที่ 2.41 วงจรทอนระดับ (Boost converter)



รูปที่ 2.42 วงจรทอร์คระดับ (Boost converter) ขณะสวิตช์ไม่นำกระแส

### 2.7.3 วงจรทอน-ทอร์คระดับ (Buck-Boost Converter)

วงจรทอน-ทอร์คระดับ (Buck-Boost Converter) หรือวงจรเพิ่มและลดแรงดัน (Step up-down converter) ทำหน้าที่เพิ่มและลดแรงดันไฟฟ้า ซึ่งเทคนิคในการออกแบบโครงสร้างของวงจรนี้จะนำเอาพื้นฐานของวงจร Step down และ Step up มารวมกันดังแสดงในรูปที่ 2.43

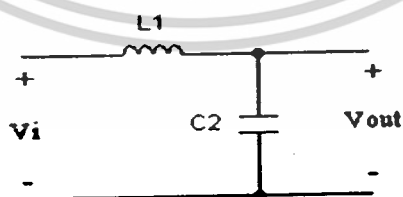


รูปที่ 2.43 วงจรทอน-ทอร์คระดับ (Buck-Boost converter)

### 2.8 วงจรกรองสัญญาณ (Filters)

Filter เป็นวงจรที่ทำหน้าที่คัดเลือกความถี่ที่ต้องการและกำจัดความถี่ที่ไม่ต้องการ ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ Passive Filters และ Active Filters

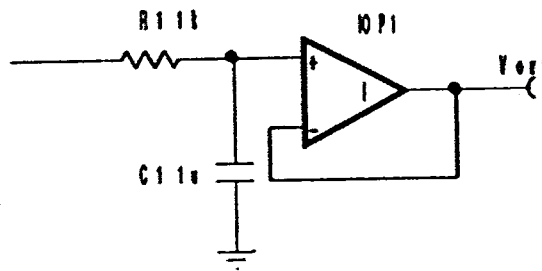
Passive Filters เป็นวงจรกรองความถี่ที่ค่าต่างๆแต่ไม่สามารถขยายสัญญาณได้ ซึ่งมีหลายชนิด ได้แก่ Low Pass Filters, High Pass Filters (HP), Band Pass Filters (BP), Stop Band Filters (SP) หรือ Band Reject Filters, Band Elimination Filters (BE), All Pass Filters (AP)



รูปที่ 2.44 แสดงตัวอย่างวงจร Passive Low Pass Filter

Active Filters เป็นวงจรกรองสัญญาณความถี่ต่างๆตามที่ต้องการและสามารถขยายสัญญาณได้ โดยใช้ Amplifier ในการขยายสัญญาณ ซึ่งมีหลายชนิด ได้แก่ Low Pass Filters, High Pass Filters (HP), Band Pass Filters (BP), Stop Band Filters (SP) หรือ Band Reject Filters, Band Elimination Filters (BE), All Pass Filters (AP)

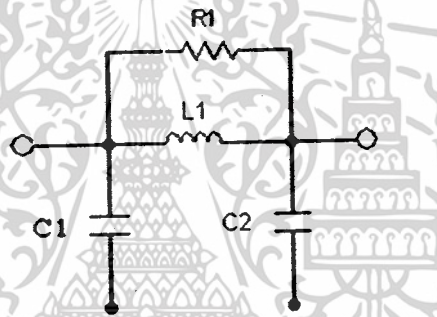
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.45 แสดงตัวอย่างวงจร Active Low Pass Filter

### 2.8.1 วงจรกรองสัญญาณแบบแอลซี (LC Filter)

LC Filter คือ อุปกรณ์ที่ช่วยลดระดับแรงดันที่มีค่าสูงเกินไปให้มีค่าน้อยลง ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาของ Over Current และ Over Voltage ทางด้าน Output ของ Inverter ดังรูป ที่ 2.46



รูปที่ 2.46 แสดงตัวอย่างวงจร LC Filters

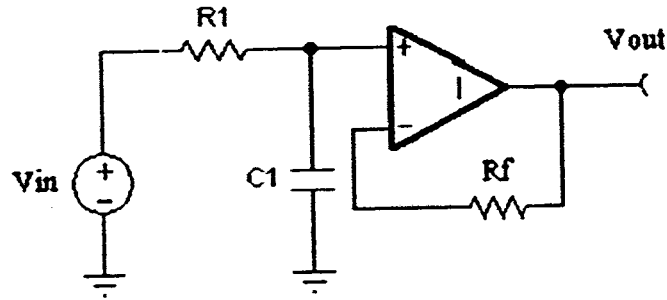
หลักการออกแบบวงจร LC Filters อันดับแรกเลือกค่าตัวเหนี่ยวนำโดยอัตราการทนกระแสต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่าสูงสุดของกระแสขาออกของโวลต์เดจอินเวอร์เตอร์และตัวเหนี่ยวนำที่ใช้จะต้องเป็นตัวเหนี่ยวนำแบบแกนไม่อัดตัวเพราะหากใช้ตัวเหนี่ยวนำแบบแกนอัดตัวจะทำให้ค่าของตัวเหนี่ยวนำลดลงและรีปเปลของเอาท์พุทลดลง หลังจากนั้นทำการเลือกค่าตัวเก็บประจุโดยพิจารณาจากอัตราการทนแรงดัน ขนาดราคาและผลตอบสนองเคลื่อน ที่ จากนั้นจึงนำค่าตัวเก็บประจุและตัวเหนี่ยวนำไปคำนวณตามสมการ

$$F_c = \frac{1}{2\pi(\sqrt{LC})} \quad (8)$$

### 2.8.2 First Order Active Low Pass Filter

อนุพันธ์อันดับหนึ่งของวงจร Active Low pass Filter เป็นวงจรกรองความถี่ที่อนุญาตให้สัญญาณที่มีความถี่ต่ำผ่านไปได้ ดังรูปที่ 2.50 โดยประกอบด้วยตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ และออปแอมป์ที่ต่อเป็นวงจรบัพเฟอร์ และมีตัวต้านทานที่ทำหน้าที่ป้อนกลับ (Rf) และจะต้องมีค่าเท่ากับตัวต้านทาน R1 เพื่อเป็นการลดผลที่จะเกิดจากไฟตรงที่เรียกว่าแรงดันชดเชย (Offset Voltage) ที่อาจเกิดขึ้นในวงจรได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.47 แสดงวงจร First Order Active Low Pass Filter

จากรูปจะได้ว่า

$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{K/RC}{s + 1/RC} \quad (9)$$

$$K = \text{Gain} \quad (10)$$

$$\omega_c = \frac{1}{RC} \quad (11)$$

$\omega_c$  คือ ความถี่ตัดผ่าน (Cut off frequency) ที่ความถี่กำลังงานของสัญญาณจะลดลงครึ่งหนึ่งของกำลังงานเดิม

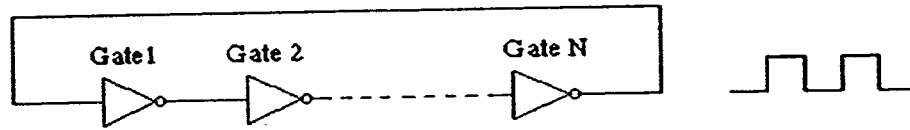
## 2.9 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา (Oscillator)

ก่อนการออกแบบวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา (Clock Generator) ได้นั้น เราจำเป็นต้องจะต้องศึกษาเกี่ยวกับพื้นฐานของวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา โดยพื้นฐานของวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกานั้นคือวงจรออสซิลเลเตอร์ (Oscillator) เสียก่อน ซึ่งวงจรออสซิลเลเตอร์ สามารถสร้างได้หลายวิธี และแต่ละวิธีก็มีข้อดีข้อเสีย และเหมาะกับช่วงความถี่ที่ต่างกันไปในที่นี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับวงจรออสซิลเลเตอร์ 3 ชนิด คือ วงจรที่ใช้เกทอินเวอร์เตอร์ (Inverter Gate) วงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์ (Crystal Oscillator) และวงจรที่ใช้ไอซีไทเมอร์เบอร์ NE555

### 2.9.1 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาด้วยเกทอินเวอร์เตอร์

อินเวอร์เตอร์เป็นเกทที่ให้ลจิกที่เอาต์พุตตรงข้ามกับลจิกที่ป้อนเข้าทางอินพุต เนื่องจากลจิกเกททุกตัวจะมีช่วงเวลาหน่วง (Delay Time) ช่วงหนึ่ง หมายถึงเมื่อป้อนสัญญาณอินพุตเข้าไปแล้วสัญญาณเอาต์พุตจะไม่เปลี่ยนแปลงทันที ทั้งนี้เพราะเกทจะต้องใช้เวลาช่วงหนึ่งในการทำงาน ค่าช่วงเวลาหน่วงนี้เรียกว่า Propagation Delay Time ซึ่งสำหรับเกทอินเวอร์เตอร์ชนิดที่ที่แอลจะมีค่าอยู่ในช่วง 5-15 นาโนวินาทีด้วยคุณสมบัติดังกล่าวมาเราจึงสามารถสร้างวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาอย่างง่ายได้โดยนำเอาท์พุตของเกทอินเวอร์เตอร์ต่อกลับไปยังอินพุตของเกทดังรูป ที่ 2.48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.48 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาโดยใช้เกตอินเวอร์เตอร์

จากรูป ที่ 2.51 จำนวนเกตที่ใช้จะต้องเป็นจำนวนคี่และความถี่ที่ได้สามารถคำนวณได้จาก

$$F = \frac{1}{2nT_p} \tag{12}$$

โดยที่  $F$  คือ ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา

$n$  คือ จำนวนเกตในวงจร

$T_p$  คือ ค่า Propagation Delay Time ของเกตแต่ละตัว

วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาชนิดนี้มีข้อดีคือง่าย แต่มีข้อเสียคือค่า Propagation Delay Time ของเกต แต่ละตัวมีค่าไม่เท่ากันและ ไม่คงที่ (เช่น เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ) และถ้าต้องการสร้างความถี่ต่างๆ จะใช้เกตจำนวนหลายตัว

### 2.9.2 วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาด้วยคริสตอล

คริสตอล (Crystal) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากผลึกควอตซ์ บรรจุอยู่ในตัวถังโลหะเมื่อมีแรงดันตกคร่อมขาทั้งสองผลึกควอตซ์นี้จะสั่นด้วยความถี่ค่าหนึ่ง เราจะใช้การสั่นนี้มาเป็นตัวกำหนดค่าความถี่ของสัญญาณนาฬิกา การต่อคริสตอลเป็นวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาสามารถทำได้หลายแบบ แต่ละแบบจะเหมาะสมกับความถี่บางช่วง

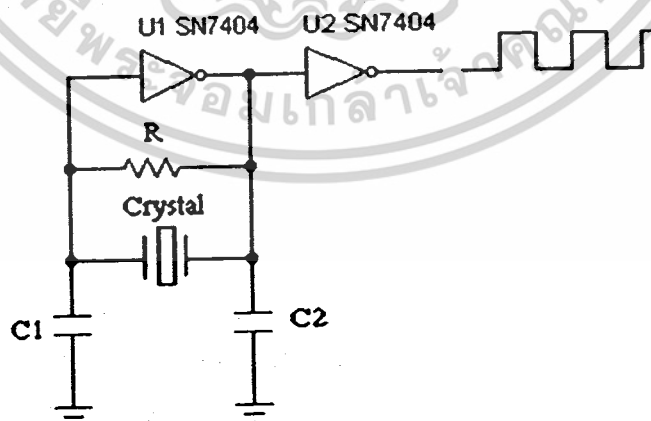
ตัวอย่างแสดงการต่อวงจร Crystal Oscillator ดังรูป ที่ 2.49

ค่า  $C_1$  และ  $C_2$  ที่เหมาะสมสำหรับความถี่ต่างๆ มีดังนี้

ความถี่ 1 MHz  $C_1 = C_2 = 220$  pF

ความถี่ 2 MHz  $C_1 = C_2 = 330$  pF

ความถี่ 5 MHz  $C_1 = 330$  pF และ  $C_2 = 100$  pF



รูปที่ 2.49 วงจรคริสตอลออสซิลเลเตอร์

ข้อดีของการสร้างสัญญาณนาฬิกาด้วยวงจรคริสตอลคือค่าความถี่มีความแม่นยำสูง และไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ แต่มีข้อเสียคือมีค่าความถี่ให้เลือกจำกัด เนื่องจากมีคริสตอลเฉพาะบาง

ความถี่ให้เลือกใช้นั้น หากต้องการความถี่ที่อื่นอาจต้องใช้วงจรหารความถี่เพื่อให้ได้ความถี่ที่ต้องการ

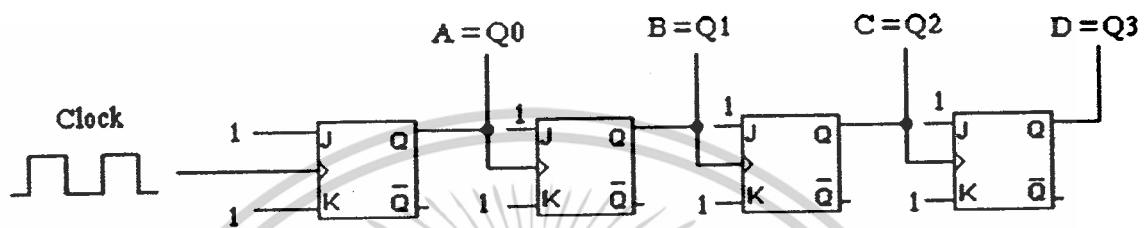
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.10 วงจรหารความถี่ (Frequency Divider (MOD))

ก่อนที่จะออกแบบวงจรหารความถี่ได้นั้นเราควรที่จะศึกษาวงจรนับ (Counters) เสียก่อน โดยวงจรนับสามารถแบ่งเป็น 2 แบบใหญ่ คือ

### 2.10.1. แบบอะซิงโครนัสเกตเตอร์ (Asynchronous Counters)

ตัวอย่างวงจรรูปที่ 2.50 การทำงานของวงจรฟลิปฟล็อป ทั้งหมดจะเกิดขึ้นไม่พร้อมกัน



รูปที่ 2.50 Asynchronous Counter (Ripple Counter)

โดยวงจร Asynchronous Counter เป็นวงจรรับเลขฐานสอง ลักษณะของวงจรจะทำการต่อขาเอาต์พุต Q ของฟลิปฟล็อปที่มีนัยสำคัญในการนับที่ต่ำ ต่อเข้ากับ input clock ของฟลิปฟล็อปตัวถัดไปต่อกันไปเรื่อยๆขา J และ ป้อนโลจิก "1" ทุกตัวเพื่อให้อยู่ในสถานะ Toggle การเปลี่ยนแปลงเอาต์พุตจะเกิดขึ้นตอนขอบขาขึ้นหรือขอบขาลงขึ้นกับคุณสมบัติของฟลิปฟล็อปนั้นๆ

MOD number หมายถึงจำนวนตัวเลขที่เปลี่ยนสถานะ (State) ไปทั้งหมดของเอาต์พุตของวงจรรับและวนกลับมานับซ้ำเดิม (recycle) เช่นวงจร MOD16 ( มี 16สถานะที่ไม่ซ้ำกัน) MOD 8, MOD 6 ปกติ MOD number จะมีค่าเท่ากับ  $2^n$  เมื่อ  $n$  เท่ากับจำนวนบิตของฟลิปฟล็อป

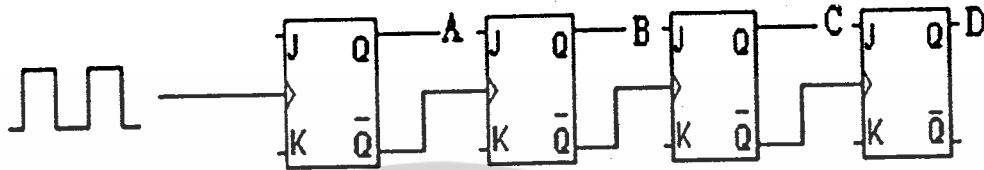
สังเกตวงจรและรูปคลื่นในรูป ที่ 2.54 เป็นวงจร MOD16 ความถี่ที่เอาต์พุตฟลิปฟล็อป D มี ความถี่  $1/16$  ของความถี่ Clock และได้ 50% duty cycle แสดงว่าวงจร MOD16 สามารถหารความถี่ได้ 16 เท่าเมื่อเทียบกับ Clock วงจร MOD 6 จะนับ 0, 1, 2, 3, 4, 5, 0, 1, ...

การออกแบบวงจรรับที่มี MOD number  $< 2^n$

วงจรรับพื้นฐาน Ripple Counter สามารถนับเลขไบนารีได้เท่ากับ  $2^n$  ถ้าเราต้องการให้วงจรรับ Counter นับแบบเลขไบนารีน้อยกว่า  $2^n$  เราจะต้องให้วงจรรับ นับไปถึงค่าที่ต้องการแล้วทำการ Clear ฟลิปฟล็อปทั้งหมดและเริ่มนับใหม่โดยใช้เอาต์พุตของฟลิปฟล็อป ผ่าน NAND gate ต่อเข้าขา Clear ของฟลิปฟล็อปทุกตัว

2.10.2 แบบซิงโครไนส์เคาท์เตอร์ (Synchronous Counters)

ตัวอย่าง วงจรรูป ที่ 2.51 การทำงานของวงจรฟลิปฟล็อป ทั้งหมดจะเกิดขึ้นพร้อมกัน และพร้อม กับClock (สังเกต ขา Clock ของ F/F ทุกตัวจะต่อร่วมกัน output ของ F/F จะเปลี่ยนพร้อมกันทั้งหมดและ พร้อม กับ Clock)



รูปที่ 2.51 แสดงวงจร Synchronous Counters

โดยวงจร Synchronous Counters เป็นวงจรนับเลขในบิตแบบนับถอยหลัง (count down) การต่อ วงจรจะเหมือนกับวงจรมับแบบนับขึ้น (Count up) ต่างกันคือวงจรมับในบิตแบบนับขึ้นเอาขาเอาท์พุท Q ต่อเข้าขา Clock ตัวถัดไป ส่วนวงจรมับเลขในบิตแบบนับถอยหลังใช้ขา Q ต่อเข้าขา Clock ตัวถัดไปแทน ซึ่งในการออกแบบวงจรมันได้เลือกใช้แบบ Asynchronous Counters

2.11 บัฟเฟอร์เกท (Logic Gate and Buffer)

บัฟเฟอร์เกท (BUFFER GATE) มีสัญลักษณ์และ ตารางความจริง คือ

A	X=A
0	0
1	1



รูปที่ 2.52 แสดงตารางความเป็นจริงและสัญลักษณ์ของบัฟเฟอร์

ปกติพวก Buffer จะมีคุณสมบัติคล้ายกันคือ input impedance สูง และ output impedance ต่ำสอง อย่างนี้มีประโยชน์คือจะทำให้อุปกรณ์ที่มาต่อกับมัน (CD, phonon stage) ไม่ต้องทำงานหนักมาก หรือ เรียกกันว่าขับง่าย ในขณะที่ Output impedance ต่ำๆจะช่วยในการขับภาคต่อไปได้ดีกว่าการต่อตรง

ส่วน Tri-State เป็นบัฟเฟอร์ที่ทำหน้าที่เพิ่ม Signal Strength และกำจัด noise ส่วนเกินซึ่งประกอบ ด้วย 3 ขา ขาแรกเป็นอินพุท ขา ที่ 2 เป็นขาเอาท์พุท และขาสุดท้ายเป็น ขาควบคุม (control) โดยที่ หลักการทำงานของมันเป็นคือ หาก control มีค่าเป็น active (logic = 1) จะอนุญาตให้อินพุทไปเปลี่ยนค่า เอาท์พุทได้ (ค่า output = input เมื่อ Control =1) แต่หาก Control มีค่าเป็น inactive (logic =0) จะไม่ อนุญาตให้ค่าอินพุทไปเปลี่ยนเอาท์พุท แม้เราจะเปลี่ยนค่าอินพุทแล้วก็ตาม โดยค่าเอาท์พุทจะเป็นค่าที่ได้ ทำการเปลี่ยนแปลงครั้งล่าสุดเสมอ(ก่อนที่จะมีการเปลี่ยนแปลงอีกครั้งหนึ่ง) ข้อดีของ Tri-State คือการ ประหยัดไฟ โดยเฉพาะอินพุท หากเราจะต้องจ่ายตลอดเวลาเพื่อให้มันทำงานอยู่เสมอ แต่ถ้าเป็น Tri-State เราจะจ่ายไฟให้แก่ อินพุทและขาควบคุมเป็นแค่ช่วงเวลาสั้นๆเท่านั้น

ตัวอย่างการแสดงค่าการทำงานของ Tri-State

Control	1	0	0	1	0	0
Input	1	1	0	0	0	1
Output	1	1	1	0	0	0



รูปที่ 2.53 แสดงตารางความเป็นจริงและสัญลักษณ์ของ ไตรเตตรบัพเฟอร์

## 2.12 โปรแกรมแสดงผล LABVIEW

LABVIEW เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สร้างเพื่อนำมาใช้ในด้านการวัดและเครื่องมือวัด สำหรับงานทางวิศวกรรม LABVIEW ย่อมาจาก Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench ซึ่งหมายความว่า เป็นโปรแกรมที่สร้าง เครื่องมือวัดเสมือนจริงในห้องปฏิบัติการทางวิศวกรรม ดังนั้น จุดประสงค์หลักของการทำงานของโปรแกรมนี้ก็คือการจัดการ ในด้านการวัดและเครื่องมือวัด อย่างมีประสิทธิภาพ และในตัวของโปรแกรมจะประกอบไปด้วยฟังก์ชันที่ช่วยในการวัด โดยโปรแกรมนี้จะมี ประโยชน์อย่างสูงเมื่อใช้ร่วมกับเครื่องมือวัดทางวิศวกรรมต่างๆ

LABVIEW แตกต่างจาก โปรแกรมอื่นคือ LABVIEW เป็นโปรแกรมประเภท GUI (Graphic User Interface) โดยสมบูรณ์ สัญลักษณ์ภาษาที่ใช้ในโปรแกรมนี้เป็น ภาษารูปภาพ หรือเรียกอีกอย่างว่าภาษา G (Graphical Language) ซึ่งจะแทนการเขียนโปรแกรมเป็นบรรทัด ด้วยรูปภาพหรือสัญลักษณ์ ทั้งหมด ซึ่ง LABVIEW นี้มีความสะดวกและสามารถลดเวลาในการเขียนโปรแกรมลงไปได้มาก โดยเฉพาะในงานเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อใช้ในการวัดและการควบคุม

### 2.12.1 Dataflow and GUI Programming

LABVIEW เป็น โปรแกรมที่ใช้รูปภาพ หรือสัญลักษณ์แทนการเขียนด้วยตัวอักษรเหมือน โปรแกรมปกติทั่วไป ซึ่งข้อดีข้อแรกก็คือการลดความผิดพลาดด้านการสะกดผิดหรือพิมพ์ผิด ข้อแตกต่าง อีกประการหนึ่งที่สำคัญของการเขียนโปรแกรมแบบ GUI (Graphic User Interface) ซึ่งเป็นการเขียน โดยใช้หลักการของ Data Flow ซึ่งเมื่อเริ่มส่งข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม จะต้องกำหนดทิศทางไหลของข้อมูลว่าจะ ไปที่ส่วนใด ผ่านการประเมินผลและคำนวณในส่วนใดบ้าง และจะแสดงผลอย่างไร ซึ่งลักษณะการเขียนโปรแกรมแบบ GUI (Graphic User Interface) หรือ Data Flow นี้จะมีลักษณะเหมือนกับการเขียน Block Diagram ซึ่งทำให้ผู้เขียนโปรแกรมสามารถให้ความสนใจกับการเคลื่อนที่และเปลี่ยนแปลงข้อมูล ได้โดยไม่ต้องจดจำรูปแบบคำสั่งที่ยุ่งยากเหมือนกับการเขียนด้วยตัวหนังสือ (Code)

เนื่องจาก LABVIEW ใช้ลักษณะการเขียนแบบ Block Diagram ซึ่งวิศวกรส่วนใหญ่มีความคุ้นเคยอยู่แล้ว จึงเป็นการง่ายที่จะทำความเข้าใจและนำไปพัฒนาใช้ต่อไปได้ และถ้าหากจำได้ถึง ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมว่าก่อนที่จะเขียนโปรแกรม ควรจะต้องเขียน Flow Chart ให้เสร็จสิ้นก่อน หลังจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตรวจสอบ Flow Chart เรียบร้อยแล้วเราจึงนำไปเขียนโปรแกรม ดังนั้นเราจะมีความสะดวกมากขึ้น ถ้าหากการเขียน Flow Chart ของ LABVIEW ก็คือการเขียนโปรแกรมนั่นเอง ซึ่งเป็นการลดขั้นตอนการทำงานลงไปได้เป็นอย่างมาก

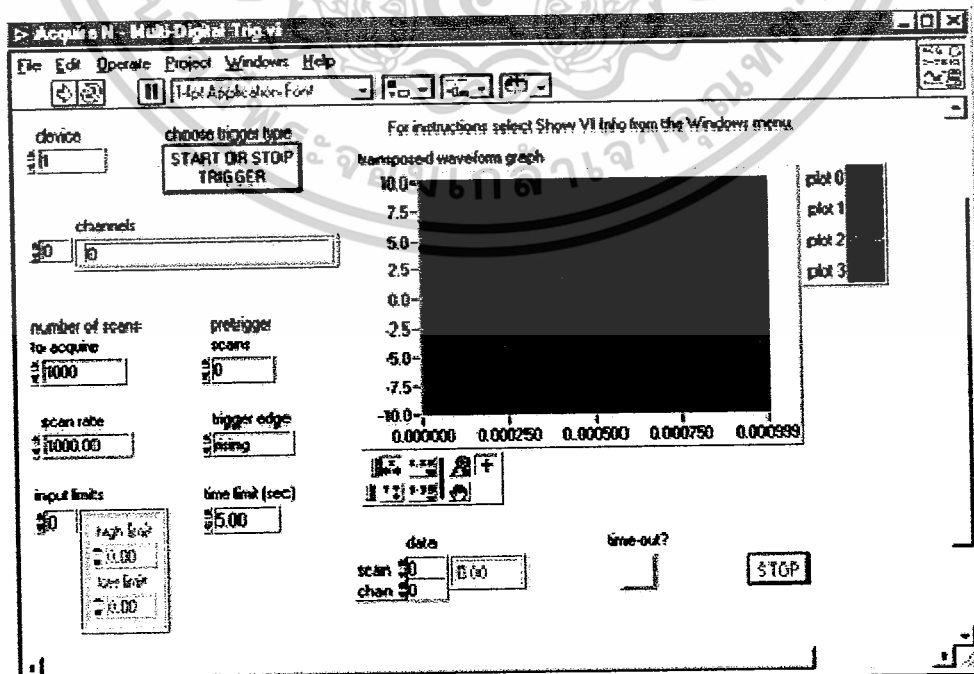
### 2.12.2 Function of LABVIEW

โปรแกรมที่เขียนขึ้นมาโดย LABVIEW จะเรียกว่า Virtual Instrument (VI) เพราะลักษณะที่ปรากฏทางจอภาพเมื่อผู้ใช้ใช้งานจะเหมือนกับเครื่องมือหรืออุปกรณ์ทางวิศวกรรม ในขณะที่ตัวกลางของอุปกรณ์เสมือนจริงเหล่านั้นจะเป็นการทำงานของฟังก์ชัน Subroutines และโปรแกรมหลัก เหมือนกับภาษาทั่วไป สำหรับ VI หนึ่งๆ จะประกอบด้วยส่วนประกอบที่สำคัญสามส่วนคือ

1. Front Panel
2. Block Diagram
3. Icon และ Connector

ทั้งสามส่วนนี้จะประกอบกันขึ้นมาเป็นอุปกรณ์เสมือนจริง ลักษณะและหน้าที่ของส่วนประกอบทั้งสามมีดังต่อไปนี้

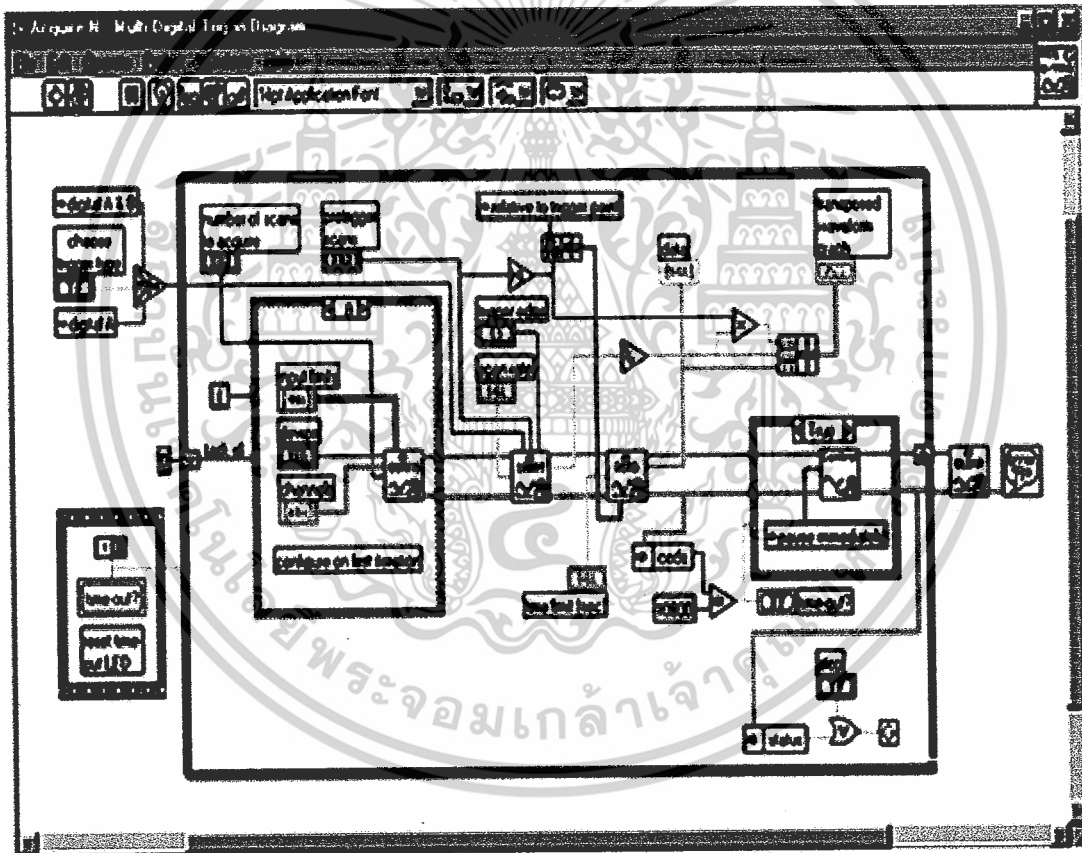
1. Front Panel หรือหน้าปัทม์ จะเป็นส่วนที่ใช้สื่อความกันระหว่างผู้ใช้กับโปรแกรม (หรือที่นิยมเรียก user interface) โดยทั่วไปจะมีลักษณะเหมือนกับหน้าปัทม์ของเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้งานด้านกรวัดต่างๆ ไปด้วยทั่วไปจะประกอบด้วย สวิตช์เปิดปิด ปุ่มบิด ปุ่มกด จอแสดงผลหรือแม้แต่ว่าผู้ใช้สามารถกำหนด ซึ่ง Front Panel นี้จะเปรียบเสมือนเป็น GUI ของโปรแกรมหรือ VI นั้นเอง ลักษณะของ Front Panel แสดงในรูปต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่เฉพาะเจาะจงเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Block Diagram เป็นเสมือนกับ Source Code หรือ โปรแกรมของ LABVIEW ซึ่งปรากฏว่าอยู่ในรูปของภาษา GUI ซึ่ง Block Diagram นี้ ถือว่าเป็น Executable Program คือสามารถที่จะทำงานได้ทันที และข้อดีอีกประการหนึ่งก็คือ LABVIEW จะมีการตรวจสอบความผิดพลาดของ โปรแกรมตลอดเวลา ทำให้โปรแกรมจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อไม่มีข้อผิดพลาดในโปรแกรมเท่านั้น โดยผู้ใช้สามารถที่จะดูรายละเอียดของความผิดพลาดแสดงให้เห็นได้ตลอดเวลา ทำให้การเขียน โปรแกรมง่ายขึ้น

ส่วนประกอบภายใน Block Diagram นี้จะประกอบด้วย ฟังก์ชัน ค่าคงที่ โปรแกรมควบคุมการทำงานหรือโครงสร้าง จากนั้นในแต่ละส่วนเหล่านี้ ซึ่งจะปรากฏในรูปของ Block เราจะได้รับการต่อสาย (wire) สำหรับ Block ที่เหมาะสมเข้าด้วยกัน เพื่อกำหนดลักษณะการไหลของข้อมูลระหว่าง block เหล่านี้ ทำให้ข้อมูลได้รับการประมวลผลตามที่ต้องการ และแสดงผลออกมาให้แก่ผู้ใช้ต่อไป



รูปที่ 2.55 ส่วนประกอบภายใน Block Diagram

3. Icon และ Connector เปรียบเสมือนโปรแกรมย่อย Subroutine ในโปรแกรมปกติทั่วไป โดย icon จะหมายถึง block diagram ตัวหนึ่งที่มีการส่งข้อมูลเข้าและออกผ่านทาง Connector ซึ่งใน LABVIEW เราจะเรียก Subroutine นี้ว่า sub VI ข้อดีของการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา GUI นี้ก็คือเราสามารถสร้าง VI ทีละส่วนขึ้นมาให้ทำงานด้วยตัวเองได้อย่างอิสระ จากนั้นในภายหลังหากต้องการก็สามารถเขียนโปรแกรมอื่นขึ้นมาเพื่อเรียกใช้งาน VI ที่เคยสร้างขึ้นก่อนหน้านี้ทีละตัว ซึ่งทำให้ VI ที่เราเขียนขึ้นก่อนกลายเป็น sub VI ไป การเขียนในลักษณะนี้เรียกว่า เขียนเป็น module เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับลักษณะทั่วไปของ Icon และ Connector จะแสดงในรูปต่อไปนี้ เราจะเห็นว่าเมื่อเราแสดงในรูปของ Connector เราจะพบว่ามิช้องต่อข้อมูลหรือที่เรียกว่า Terminal ปรากฏให้เห็น



รูปที่ 2.56 แสดง Icon และ Connector

### 2.12.3 DAQ, GPIB and serial communication

ในงานด้านการวัดและเครื่องมือวัดทางวิศวกรรม จะประกอบด้วยขั้นตอนหรือกระบวนการวัดหลักๆ ตามลำดับดังนี้

1. Sensor - Transducer ทำหน้าที่เปลี่ยนปรากฏการณ์ทางธรรมชาติหรือปริมาณต่างๆ ทางฟิสิกส์ให้เป็นปริมาณทางไฟฟ้าที่สามารถตรวจจับได้ ไม่ว่าจะเป็น กระแส ความต่างศักย์ แรงเคลื่อนไฟฟ้า หรือความต้านทานไฟฟ้า
2. Signal Conditioner ทำหน้าที่ปรับแต่งปริมาณสัญญาณที่ได้จากขั้นที่ 1 ให้มีขนาดปริมาณหรือลักษณะที่เหมาะสม เพราะสัญญาณที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 นั้น อาจมีขนาดไม่เหมาะสมหรือมีสัญญาณรบกวนมากเกินไปที่จะนำไปวิเคราะห์ในทันทีได้
3. Data Acquisition ทำหน้าที่ประมวลแปลความหมายหรือเปลี่ยนสัญญาณในลักษณะ Analog ให้มาอยู่ในรูปของ digital signal เพื่อประโยชน์ในการตีความหมายและใช้ในการควบคุมหน้าที่ของ DAQ boards อาจจะเป็นการอ่านสัญญาณ analog (A/D Conversion) การสร้างสัญญาณอนาลอก (D/A conversion) เขียนและอ่านสัญญาณ เพื่อเชื่อมต่อกับ Transducer

การติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และ transducer จึงเป็นเรื่องสำคัญสำหรับคอมพิวเตอร์โดยปกติแล้ว สามารถที่จะติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ภายนอกได้โดยการผ่าน Input/Output Board (I/O Board) ซึ่ง I/O board นี้จะมีหลายแบบแต่แบบที่สำคัญและสามารถเชื่อมต่อโดยผ่านคำสั่งของ LABVIEW ได้ทันทีจะประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

1. DAQ Board
2. GPIB Board
3. Serial Interface

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1. DAQ Board

โดยปกติแล้ว DAQ Board เป็นอุปกรณ์พิเศษ คือไม่ได้เป็นมาตรฐานที่ติดตั้งมากับคอมพิวเตอร์ สำหรับบอร์ดประเภทนี้จะมีผู้ผลิตหลายบริษัท ซึ่งลักษณะการทำงานก็อาจจะแตกต่างกันบ้างตามแต่ผู้ผลิต แต่ละแห่งออกแบบมา ข้อสำคัญที่เราต้องเข้าใจในเบื้องต้นนี้ก็คือไม่ใช่ว่า DAQ Board ทุกแบบ จะเหมาะสมกับการทำงานร่วมกับ LABVIEW ทั้งหมด

การเลือกใช้ DAQ Board ที่เหมาะสมกับคนที่จะใช้ถือว่าเป็นเรื่องที่สำคัญมากประการหนึ่ง เพราะราคาของเครื่องมือนี้จะเปลี่ยนแปลงไปอย่างมากหากเรากำหนดข้อจำกัดแตกต่างกันออกไป เช่น อัตราการเรียกสุ่มตัวอย่าง (sampling rate) จำนวนช่องรับ-ส่งสัญญาณ (I/O channel) หรืออื่นๆ

หน้าที่ของ DAQ Board นี้จะทำการติดต่อโดยตรงกับ Transducer ซึ่งอาจจะผ่านอุปกรณ์ Signal Conditioner หรือไม้ก็ได้ตามความจำเป็น นอกเหนือจากนั้นแล้วไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์อื่นเข้ามาร่วมในการสร้างเครื่องมือวัดเสมือนจริง ซึ่งจุดนี้เป็นจุดได้เปรียบของ DAQ Board

## 2. GPIB

General Purpose Interface Bus เป็นการขนถ่ายข้อมูลระบบใหม่ที่เพิ่งได้รับความนิยม แม้ว่าจะได้รับการพัฒนาโดยบริษัท Hewlett-Packard ตั้งแต่ปลายทศวรรษ 1960 และได้พัฒนาจนกระทั่งได้รับมาตรฐานจาก Institute of Electrical and Electronic Engineer (IEEE) ในปี 1975 ซึ่งต่อมารู้จักกันในชื่อ IEEE 488 standard

จุดประสงค์แรกของ GPIB คือใช้ในการควบคุมเครื่องมือวัดโดยคอมพิวเตอร์ อย่างไรก็ตาม จุดประสงค์ได้เปลี่ยนแปลงไปบ้างแล้ว โดยการนำ GPIB มาใช้ควบคุมและติดต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ด้วยกันหรือระหว่างคอมพิวเตอร์ กับ scanner หรือเครื่องมือวัดอื่นๆ ซึ่งปัจจุบันเครื่องคอมพิวเตอร์บางรุ่นเริ่มมี GPIB ติดมาเป็นอุปกรณ์มาตรฐานของเครื่องแล้ว

GPIB เป็นการติดต่อแบบใหม่ที่สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์หลายชิ้นเข้ากับ GPIB Port ตัวเดียวได้ โดยสามารถต่ออุปกรณ์ได้สูงถึง 15 ชิ้น โดยใช้ bus เพียงตัวเดียว ทำให้ประหยัด ส่วนข้อดีอื่นๆ มีดังนี้

- ส่งผ่านข้อมูลด้วยวิธีแบบขนาน ครั้งละ 1 byte (8-bits)
- Hardware จะเป็นผู้จัดการเรื่อง Handshaking, timing และอื่นๆ
- อัตราการส่งผ่านข้อมูล 800 Kbytes/sec หรือมากกว่า ซึ่งนับว่าเร็วมากเมื่อเทียบกับ port แบบเก่า
- ใช้คำสั่ง ASCII ในการติดต่อ

## 3. Serial Communication

ข้อดีของ serial communication ผ่านทาง Serial Port หรือพอร์ตอนุกรมก็คือราคาถูก และเครื่องมือมากมายได้ใช้อุปกรณ์นี้เป็นมาตรฐาน ซึ่งพอร์ตนี้จะใช้มาตรฐาน RS-232 หรือ RS-485 และการติดต่อข้อมูลจะต้องทำระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ที่มีพอร์ตนี้อยู่ด้วย

2.13 ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 18F458

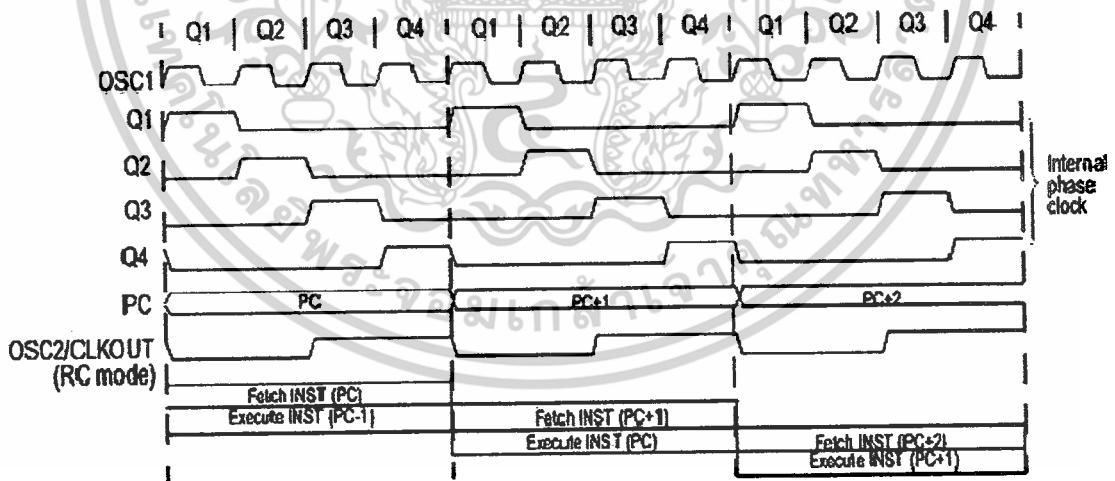
2.13.1 คุณสมบัติไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 18F458

คุณสมบัติ		
Program Memory Flash		32 Kbyte
Data Memory	RAM (Bytes)	1536
	EEPROM (Byte)	256
OSC max (MHz)		40MHz
Timers		4
PLL		YES

รูปที่ 2.57 แสดงภาพคุณสมบัติ PIC 18F458

2.13.2 สัญญาณนาฬิกา CLOCK

ไมโครคอนโทรลเลอร์จะมีการทำงานตามจังหวะสัญญาณนาฬิกาของระบบ ซึ่งใน 1 Cycle (Clock Bus) ของ CPU จะประกอบไปด้วย สัญญาณนาฬิกาจากภายนอกจำนวน 4 cycle คือ Q1, Q2, Q3 และ Q4 ดังรูปด้านล่าง



รูปที่ 2.58 แสดงสัญญาณนาฬิกาของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC

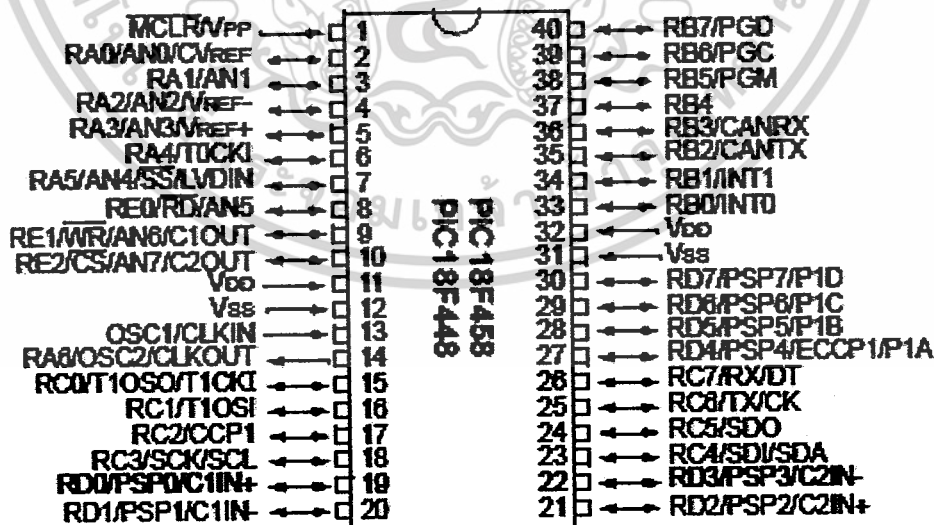
จะเห็นว่าเวลาที่ CPU ประมวลผลต่อคำสั่งจะเท่ากับ ความถี่จากคริสตอลภายนอกหารด้วย 4 หรือ อาจกล่าวได้ว่าความเร็วในการทำงานของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ต่อคำสั่งจะมีค่าเป็น ¼ เท่าของความถี่คริสตอลอสซิลเลเตอร์ภายนอกความถี่ของสัญญาณนาฬิกาที่จะป้อนให้กับ CPU เบอร์ 18F458 นั้น สามารถเลือกกำหนดแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกาได้ 2 แบบ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้ค่าความถี่จากวงจรกำเนิดความถี่แบบ Oscillator จากภายนอก โดยสามารถใช้ได้กับ Oscillator ที่มีค่าความถี่ระหว่าง 0-40MHz

- ใช้ค่าความถี่จากวงจร PLL(Phase-Lock-Loop) ที่บรรจุไว้ภายในตัว CPU แล้ว โดยวิธีการนี้ จะต้องป้อนค่าความถี่ Crystal ขนาด 0-10MHz ให้กับขา OSC1 และ OSC2 ของ CPU ด้วย แล้วจึงทำการกำหนดค่า Configuration ในการโปรแกรมให้อยู่ในโหมดของเฟสล็อกลูป ซึ่งเมื่อโปรแกรมการทำงานในโหมดนี้ CPU จะใช้วงจรเฟสล็อกลูปภายใน คุณสมบัติความถี่ที่เข้ามาทางขา OSC1 และ OSC2 ด้วยดี เช่น ใช้คริสตอลอสซิลเลเตอร์ขนาดความถี่ 10 MHz เมื่อผ่านวงจรเฟสล็อกลูปภายใน สัญญาณที่ได้ออกมาจะมีความถี่ 40 MHz ซึ่งเป็นสี่เท่าของสัญญาณนาฬิกาที่เข้ามา ซึ่งการทำงานของ CPU จะอาศัยสัญญาณนาฬิกาในระบบ หรือ BUS CLOCK เป็นจุดอ้างอิงการทำงานให้สัมพันธ์และสอดคล้องกับวงจรภายในอื่นๆ โดยที่ค่าความเร็วของสัญญาณนาฬิกาในระบบ หรือ BUS CLOCK ของ CPU นั้น จะมีค่าเป็น ¼ ของสัญญาณนาฬิกาจาก Oscillator ภายนอก หรือในกรณีที่มีการใช้งานวงจร PLL ด้วย ค่าความถี่ของ BUS CLOCK ก็จะมีค่าเป็น ¼ ของสัญญาณนาฬิกา Output ที่ได้จากวงจร PLL เช่นกัน ดังนั้นในกรณีที่ จะใช้สัญญาณนาฬิกาจาก Oscillator ภายนอก จะต้องเลือกใช้ Oscillator ที่มีค่าความถี่อยู่ระหว่าง 0- หรือในกรณีที่ จะใช้ค่าความถี่ของสัญญาณนาฬิกาจาก Crystal ภายนอกร่วมกับวงจร PLL นั้น ค่าคริสตอลที่นำมาต่อจะต้องมีค่าไม่เกิน 10MHz

### 2.13.3 รูปแบบขาต่างๆของไอซี PIC 18F458



รูปที่ 2.59 รูปแบบขาต่างๆของไอซี PIC 18F458

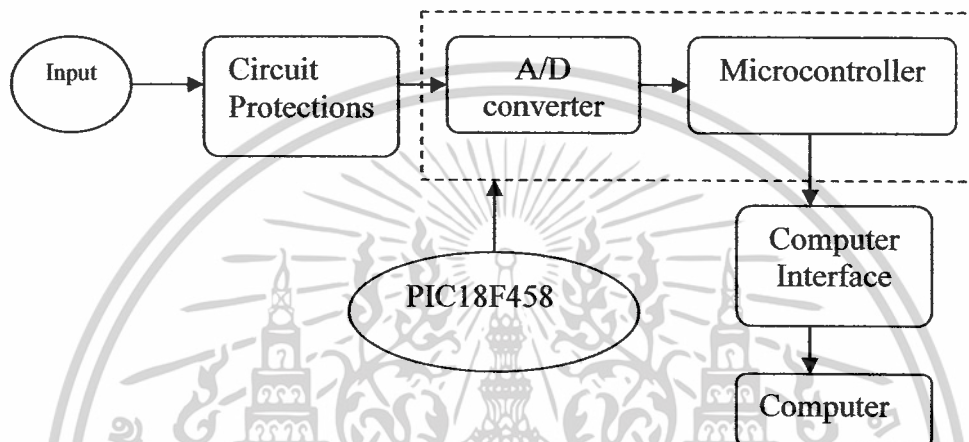
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

#### การออกแบบและการสร้าง

##### 3.1 บทนำ

หลังจากการศึกษาทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง เมื่อนำมาพิจารณาถึงการออกแบบวงจรทั้งหมด ทำให้สามารถเขียนแผนภาพการทำงานของระบบได้ดังแสดงในรูปที่ 3.1



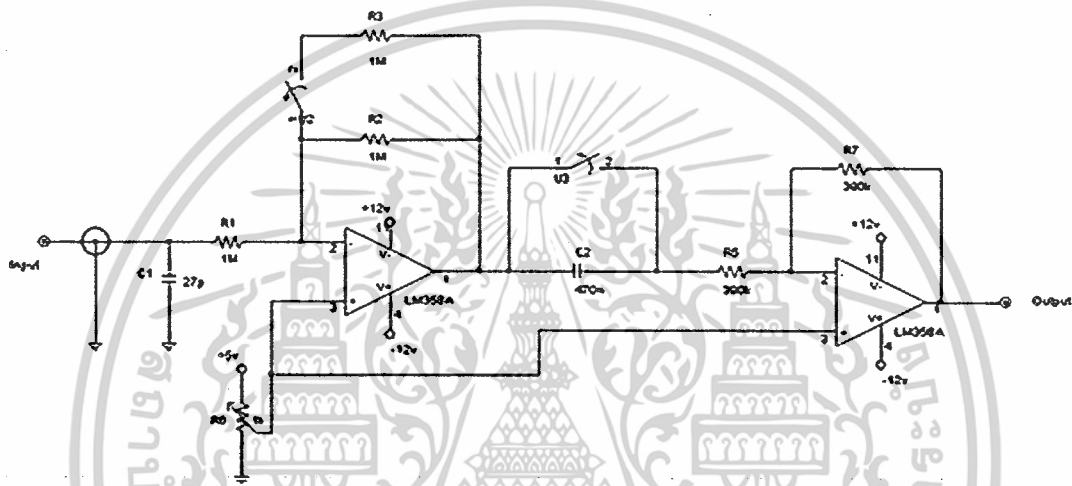
รูปที่ 3.1 แสดงแผนภาพการทำงานของระบบ

จากแผนภาพ ระบบจะประกอบด้วยวงจรสามส่วนหลักๆ คือ

1. วงจรอนาล็อกอินพุต (Analog Input) วงจรในส่วนนี้จะประกอบด้วยวงจร 2 ส่วนได้แก่วงจรป้องกันแรงดัน วงจรขจัดระดับแรงดัน (Offset Calibrator)
2. วงจรสำหรับควบคุม และติดต่อกับคอมพิวเตอร์ (Microcontroller & Computer Interfacing) โดยวงจรในส่วนนี้จะทำหน้าที่หลักในการรับส่งข้อมูลต่างๆกับคอมพิวเตอร์ ผ่านทางพอร์ต RS-232 ข้อมูลที่ส่งมาจากคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของระบบ และภายในจะมีวงจรแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล (Analog to Digital Converter) วงจรในส่วนนี้จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณจาก Analog เป็นสัญญาณ Digital
3. ส่วนแสดงผลโดยใช้โปรแกรม LABVIEW จะแสดงหน้าจอของออสซิลโลสโคปเพื่อให้สามารถใช้งานได้เหมือนเครื่องออสซิลโลสโคปทั่วไป

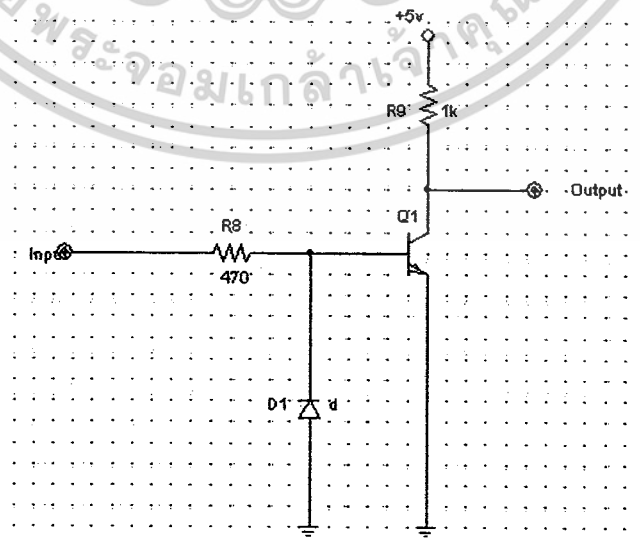
### 3.2 การออกแบบและสร้างวงจรถอดอินพุต (Analog Input)

ประกอบด้วยวงจร 2 ส่วน ได้แก่ วงจรยกระดับแรงดัน (Offset Calibrator) วงจรป้องกันแรงดัน (Protection Circuit) โดยวงจรส่วนที่เป็นวงจรถอดอินพุต จะต้องทำการปรับค่า P 1 เพื่อทำการยกระดับแรงดัน Offset ให้ได้ตามที่ต้องการ ซึ่งสัญญาณ AC ทำการปรับไว้ที่ 2.5 โวลต์ สัญญาณ AC ทำการปรับไว้ที่ 0.7 โวลต์ และปรับขนาดของสัญญาณ โดยปรับสวิทช์ S1 ส่วนสวิทช์ S2 ทำหน้าที่เลือกที่จะทำการวัดสัญญาณ AC หรือ DC จากนั้นจะเข้าสู่วงจรส่งผ่านแรงดันจะได้เอาท์พุตเพื่อเข้าสู่วงจรป้องกันแรงดัน วงจรที่ใช้ในการออกแบบดังรูปที่ 3.2



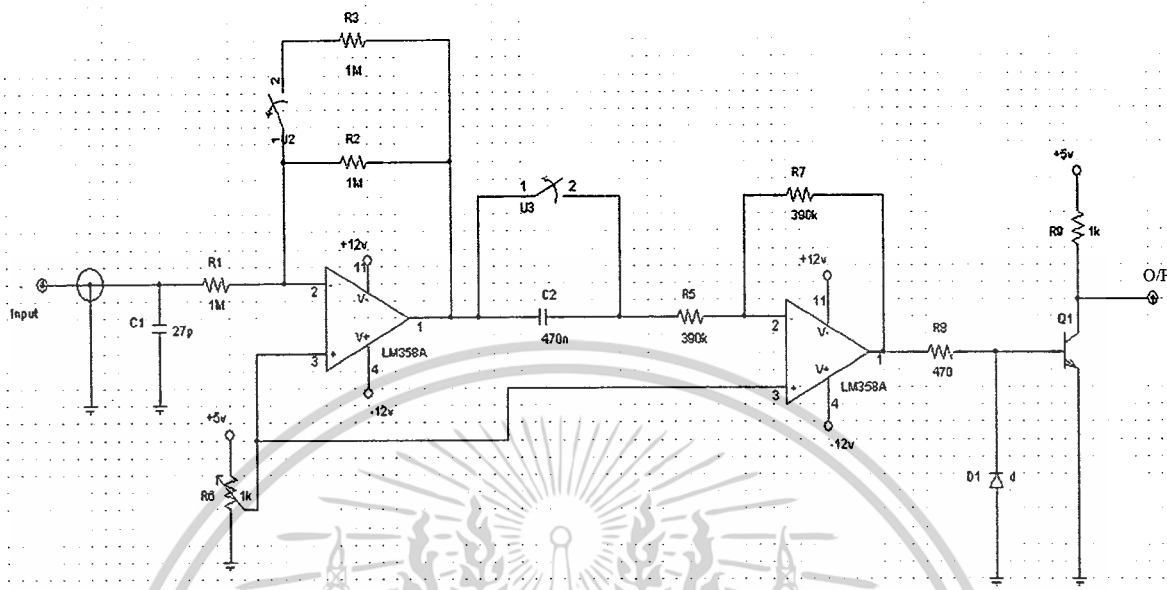
รูปที่ 3.2 แสดงวงจรถอดอินพุต (Offset Calibrator)

ส่วนที่สองจะเป็นวงจรป้องกันแรงดัน (Protection Circuit) ซึ่งจะยอมให้ระดับสัญญาณที่มีแรงดัน 0 - 5 โวลต์เท่านั้นที่สามารถผ่านวงจรได้ ใช้สำหรับป้องกันไม่ให้ใช้ไฟสูงเกินไปเข้าสู่วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ วงจรที่ใช้ในการออกแบบดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงวงจรป้องกันแรงดันเกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงวงจรรวมวงจรถอดสัญญาณอินพุต

### 3.3 การออกแบบและสร้างวงจรสำหรับควบคุม และติดต่อกับคอมพิวเตอร์

#### (Microcontroller & Computer Interfacing Design)

สำหรับวงจรในส่วนนี้จะประกอบด้วยสองส่วนคือ ส่วนติดต่อกับคอมพิวเตอร์ สำหรับรับส่งข้อมูล และควบคุมการทำงานของระบบทั้งหมด ในส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์จะมี วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล วงจรส่วนควบคุมการทำงานของระบบและส่วนติดต่อกับคอมพิวเตอร์ โดยในการออกแบบได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC ไอซีเบอร์ 18F458

#### 3.3.1 การออกแบบและสร้างวงจรแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล (A/D Converter)

ในออกแบบวงจร A/D Converter นั้น สิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาก่อนการออกแบบ ได้แก่

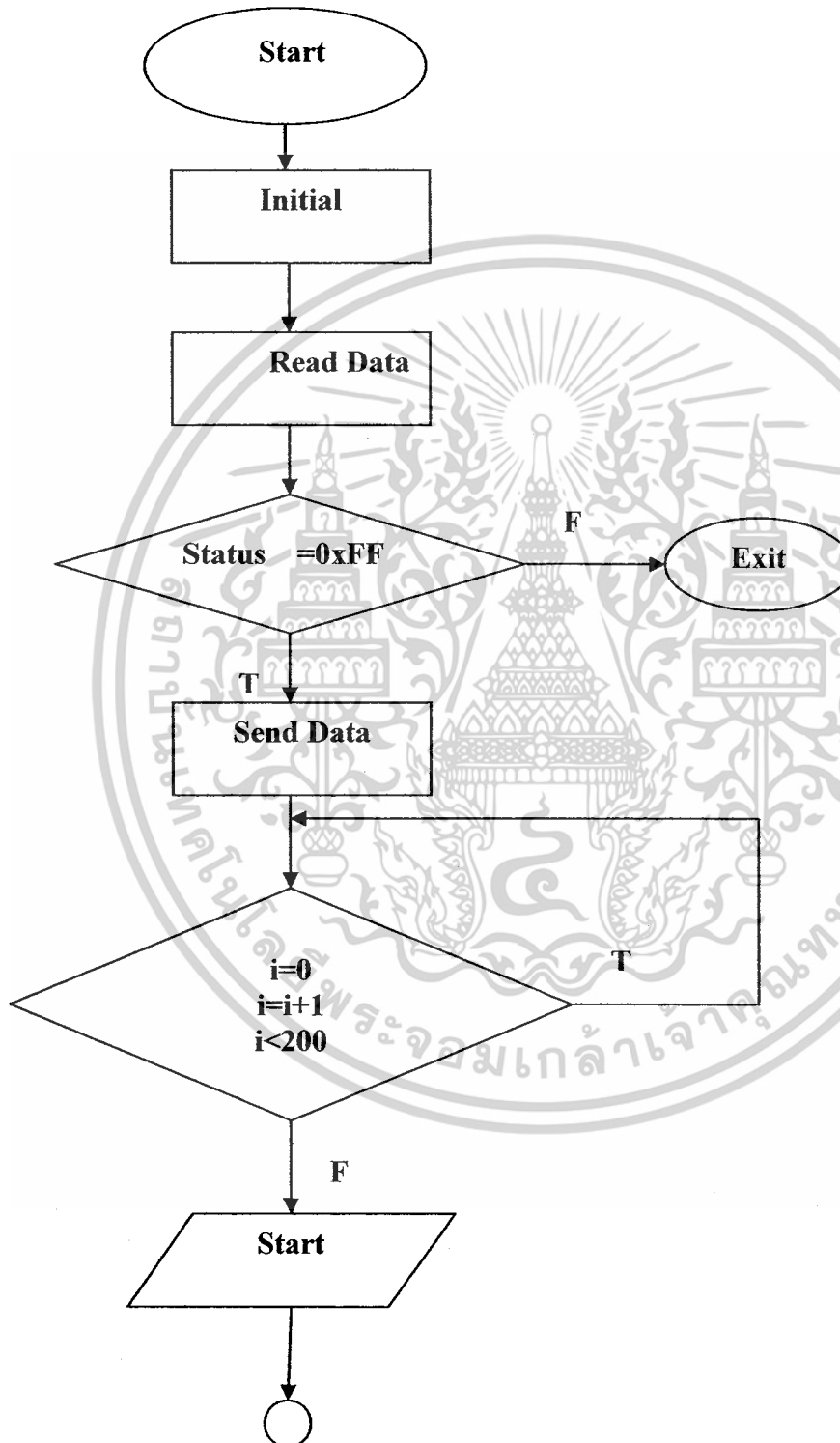
- ความเร็วในการแปลงสัญญาณ (Sampling Rate) ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดความถี่ที่วงจร A/D converter จะสามารถรับได้

- ความละเอียดในการแปลงสัญญาณ (Resolution) ซึ่งเป็นตัวกำหนดระดับขั้น (Step Size) ของสัญญาณที่แปลงแล้ว ซึ่งในการออกแบบจะใช้ความละเอียดในระดับ 8 bit ขึ้นไป

ซึ่งภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC เบอร์ 18F458 จะมีวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลอยู่ภายในตัวมันเอง จึงเลือกใช้ได้เลยไม่ต้องเพิ่มในส่วนของวงจร A/D Converter

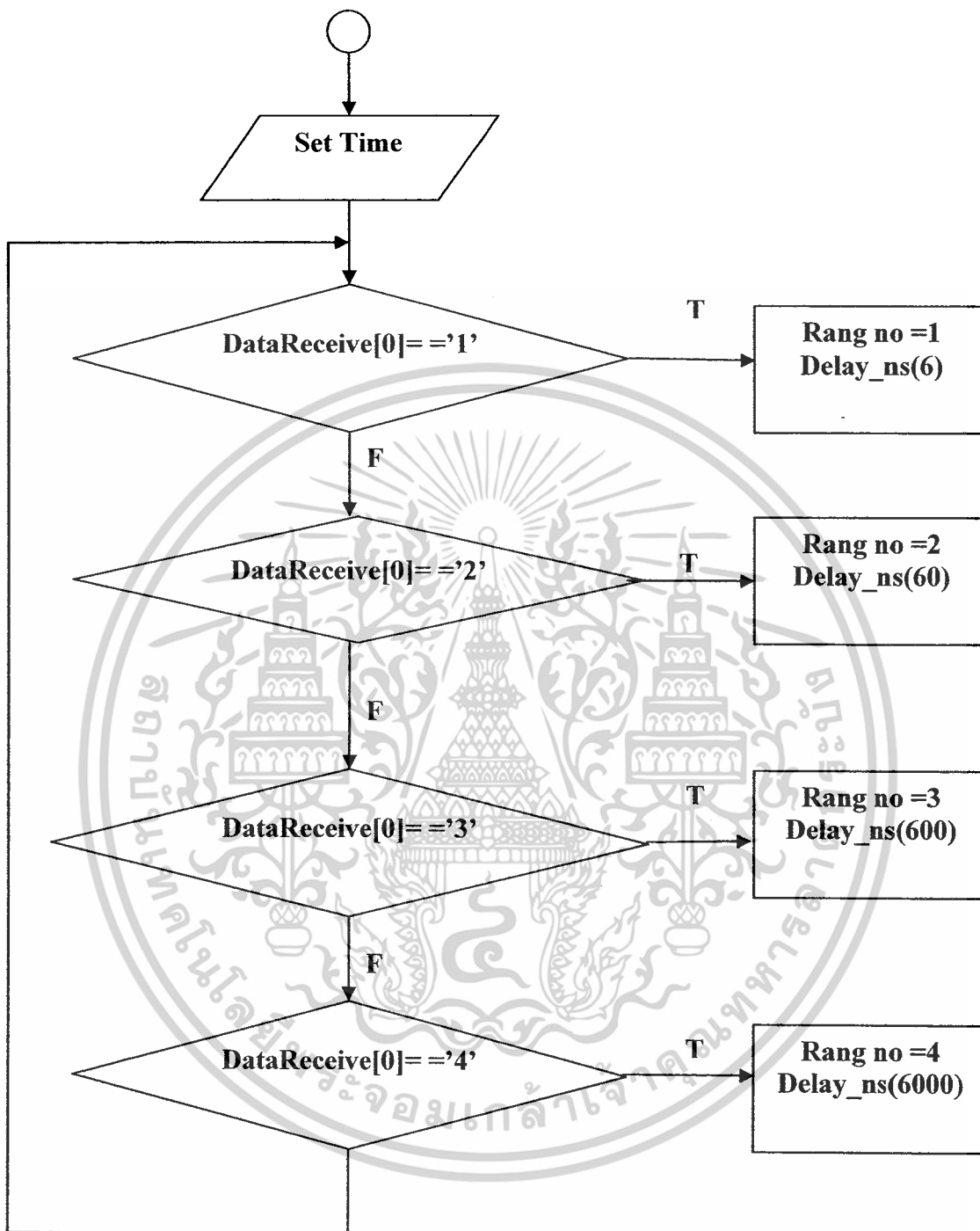
### 3.3.2 การออกแบบโปรแกรมสำหรับควบคุมการทำงานของระบบ

ซึ่งการควบคุมการทำงานของระบบจะใช้การเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานโดยใช้โปรแกรมซี ในการเขียนโปรแกรมซึ่งมีโฟลชาร์ตการทำงานดังนี้



รูปที่ 3.5 แสดงโฟลชาร์ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.6 แสดงโฟลว์ชาร์ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ (ต่อ)

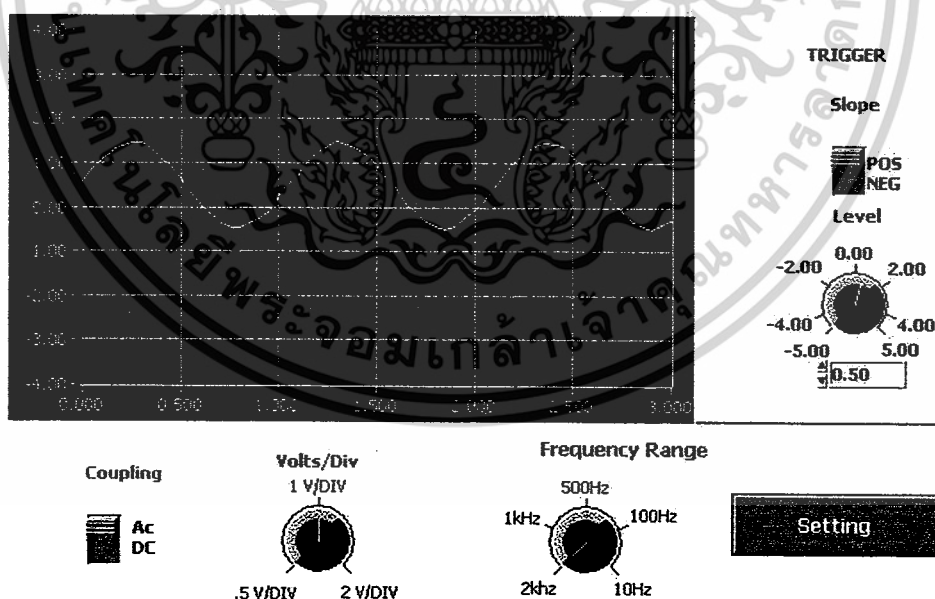
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3.3 การออกแบบและการสร้างวงจรเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

มีการสื่อสารแบบอนุกรม (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter : USART) ผ่านทางพอร์ต RS-232 ซึ่งวงจรส่วนนี้ทำการเขียนโปรแกรมควบคุมการสื่อสารข้อมูลของ CPU กับไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถกำหนดรูปแบบของการสื่อสารข้อมูลได้เองจากโปรแกรม ในส่วนความเร็วในการสื่อสาร (Baud rate) จำนวนบิตข้อมูลในการรับส่ง (Data Bit) การกำหนดคิตรวจสอบความถูกต้องข้อมูล (Parity) ได้เลือกใช้การสื่อสาร RS-232 แบบสองทิศทาง ซึ่งจะมีทั้งการรับข้อมูลและส่งข้อมูลไปมา ระหว่างด้านรับและด้านส่ง โดยในกรณีนี้จะต้องใช้สายสัญญาณจำนวน 3 เส้น สัญญาณรับข้อมูล (RXD) สัญญาณส่งข้อมูล (TXD) และสัญญาณอ้างอิง (GND) โดยในการเชื่อมต่อสายนั้นจะต้องทำการสลับสัญญาณกับอุปกรณ์ปลายทางด้วย คือ สัญญาณส่ง (TXD) จากบอร์ด CP-PIC V3 จะต้องต่อเข้ากับสัญญาณรับ (RXD) ของอุปกรณ์ และสัญญาณส่ง (TXD) จากอุปกรณ์ก็ต้องต่อกับสัญญาณรับ (RXD) ของบอร์ด ส่วนสัญญาณอ้างอิง (GND) จะต้องต่อตรงถึงกัน จึงจะสามารถทำการ รับ-ส่ง ข้อมูลกันได้

### 3.4 การออกแบบและสร้างส่วนแสดงผลโดยใช้โปรแกรม LAB VIEW

สำหรับการออกแบบหน้าจอของเครื่องออสซิลโลสโคปให้สามารถใช้งานได้เหมือนกับเครื่องทั่วไปนั้น จะประกอบไปด้วยปุ่มปรับค่าต่างๆ และมีหน้าจอแสดงผลจากการวัดสัญญาณจริง ซึ่งจากการออกแบบทำให้ได้หน้าจอดังรูป 3.7



รูปที่ 3.7 แสดงหน้าจอของออสซิลโลสโคป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4.1 ส่วนประกอบของหน้าจอออสซิลโลสโคป

#### 1. ปุ่ม Coupling

เป็นการเลือกที่จะให้มีการกำหนดจุดเริ่มต้นระดับสัญญาณหรือไม่โดยเลือก AC แสดงว่าสามารถกำหนดจุดเริ่มต้นระดับสัญญาณได้ แต่ถ้าเป็น DC ไม่ต้องกำหนดจุดเริ่มต้นระดับสัญญาณ

#### 2. ปุ่ม Volts/Div

ทำงานเหมือนกับออสซิลโลสโคปทั่วไป เป็นการเลือกใช้ในการอ่านค่าสัญญาณเพื่อความเหมาะสมโดยจะแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 0.5 , 1, 2 V/Div

#### 3. ปุ่ม Frequency Range

เป็นการปรับความถี่ของสัญญาณเพื่อความสะดวกในการอ่านค่าสัญญาณซึ่งสามารถปรับได้หลายระดับตั้งแต่ 10 - 2000 Hz

#### 4. ปุ่ม Slope

เป็นส่วนของการทริกสัญญาณว่าจะให้สัญญาณเริ่มต้นที่ด้าน Negative หรือ Positive ใช้สำหรับการวัดสัญญาณ AC

#### 5. ปุ่ม Level

เป็นส่วนของการกำหนดจุดเริ่มต้นสัญญาณว่าจะให้เริ่มต้นสัญญาณที่ระดับแรงดันเท่าใด สามารถปรับได้ตามต้องการ ใช้สำหรับการวัดสัญญาณ AC

#### 6. ปุ่ม Setting

เมื่อมีการปรับค่าต่างๆที่หน้าจอจะต้องทำการกดที่ปุ่มนี้เพื่อเป็นการเริ่มต้นการทำงานตามค่าที่ตั้งไว้

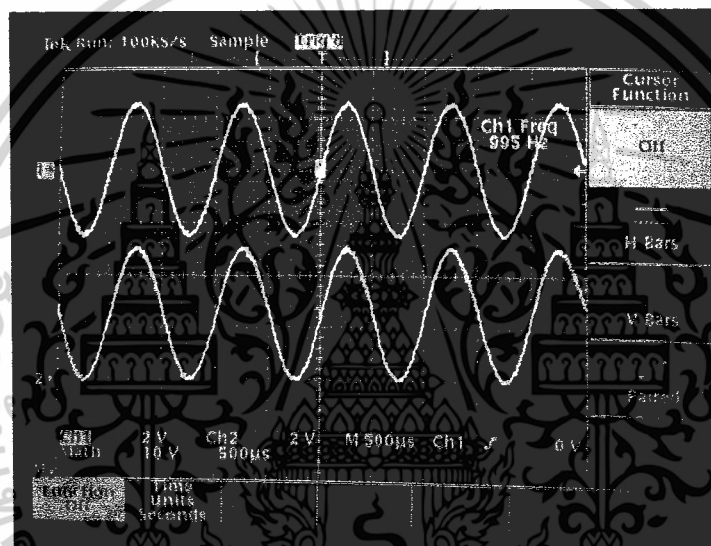
## บทที่ 4

### ผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลการทดลอง

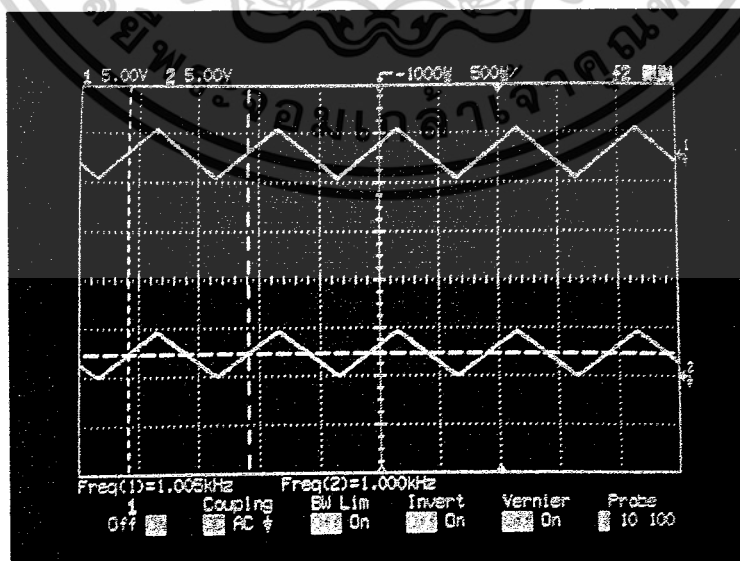
#### 4.1 การทดสอบวงจร Analog Input

##### 4.1.2 การทดลองวงจรยกระดับสัญญาณอินพุต

โดยทำการปรับค่า R1 เพื่อให้ยกกระดับแรงดันขึ้นไป โดยที่ไม่ทำให้สัญญาณเกิดความผิดเพี้ยน เพื่อกำหนด ขนาดของสัญญาณอินพุตที่สามารถวัดได้โดย ในการทดสอบจะทดสอบป้อนสัญญาณ Sine และสัญญาณ Saw tooth ขนาดต่างๆเข้า Input ของวงจร แล้วดูผลการตอบสนองที่ได้เมื่อวัดสัญญาณที่ขา 1 ของ IC 2 โดยผลการทดสอบแสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2



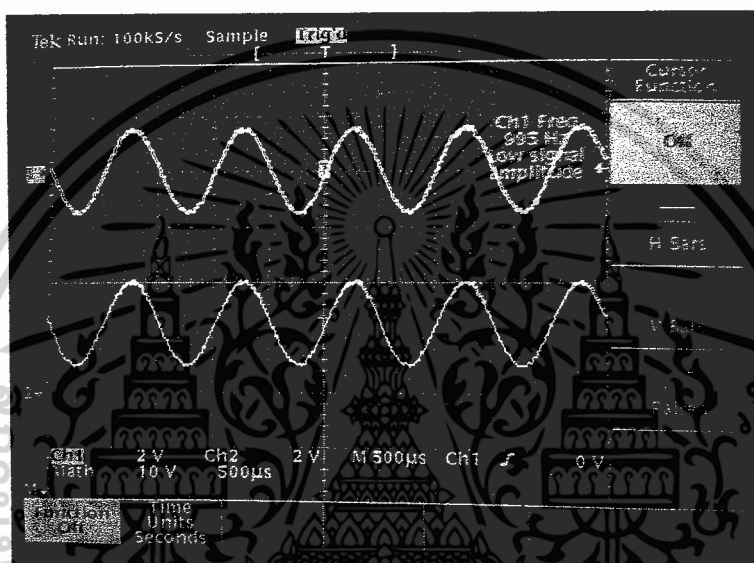
รูปที่ 4.1 แสดงผลการทดลองวงจรยกระดับแรงดันที่ 2.5 โวลต์เมื่อป้อนสัญญาณ Sine ขนาด 2.5 Vpp



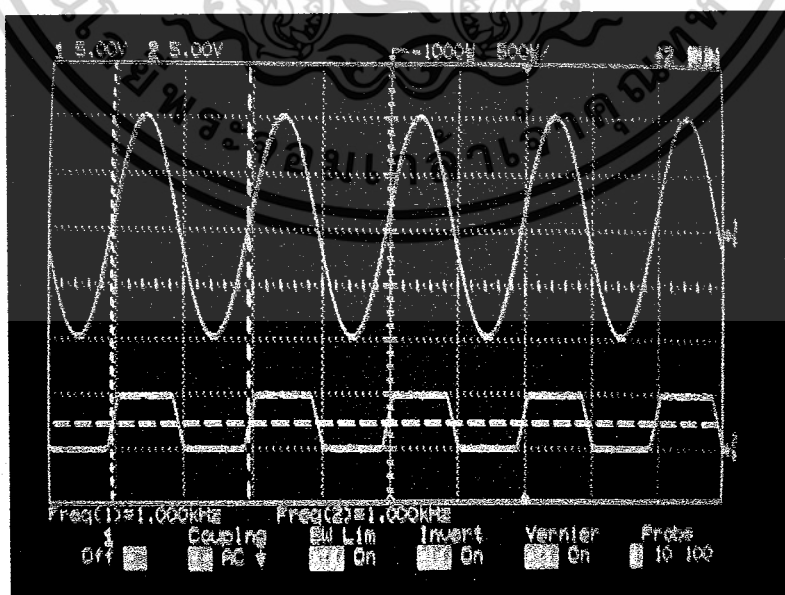
เอกสารรูปที่ 4.2 แสดงผลการทดลองวงจรยกระดับแรงดันที่ 2.5 โวลต์เมื่อป้อนสัญญาณ Saw Tooth ขนาด 2.5 Vpp คำ  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.1.2 การทดสอบวงจรป้องกันแรงดันเกิน (Protection Circuit)

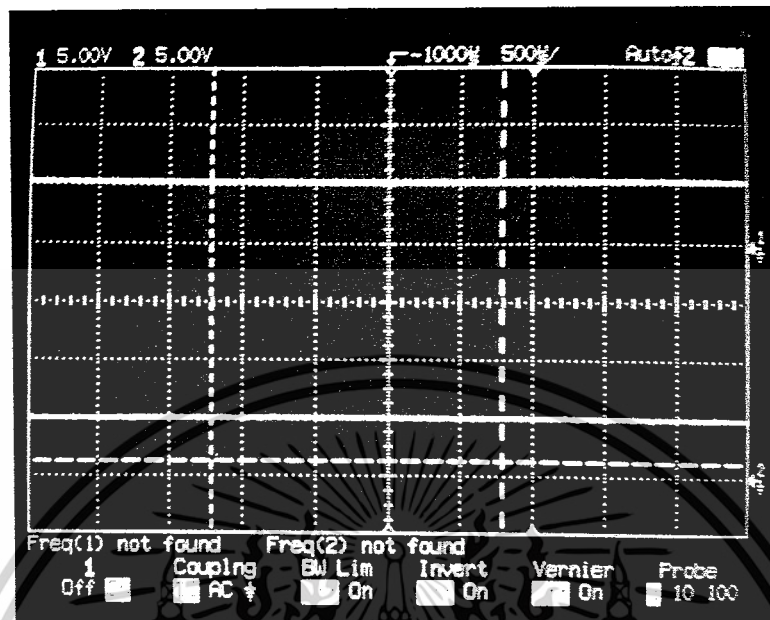
ในการทดลองนั้น จะเป็นการทดสอบ เพื่อดูการทำงานของวงจรป้องกันแรงดันเกิน โดยวงจรป้องกันหน้าที่เป็น Buffer เพื่อไม่ให้แรงดัน Input เกินจากค่าที่กำหนด โดย ในการทดสอบ จะทดสอบโดยป้อนสัญญาณ Sine ความถี่ 1 KHz ขนาด 1.5 Vpp ขนาด 10 Vpp และป้อนสัญญาณ DC ขนาด 5 V และ ขนาด 10 V เข้า Input ของวงจร ในภาพคือสัญญาณด้านบน แล้วดูผลการตอบสนองที่ได้ ในภาพคือสัญญาณด้านล่าง



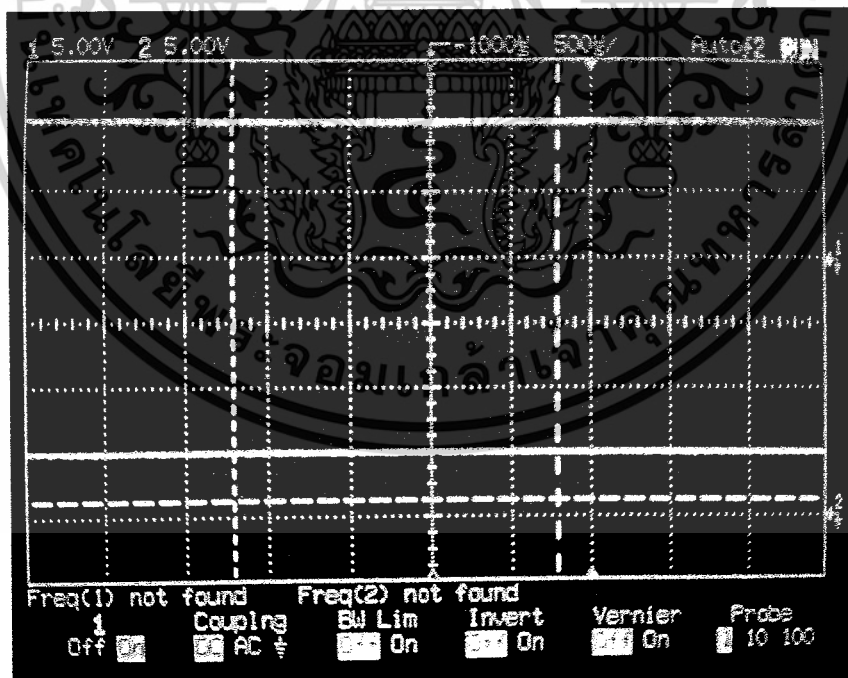
รูปที่ 4.3 แสดงผลการตอบสนองที่ได้จากวงจรป้องกันแรงดันเกิน เมื่อป้อนสัญญาณ Sine ขนาด 1.5 Vpp



เอกสารรูปที่ 4.4 แสดงผลการตอบสนองที่ได้จากวงจรป้องกันแรงดันเกิน เมื่อป้อนสัญญาณ Sine ขนาด 10 Vpp ด้านการตั้งค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 แสดงผลการตอบสนองที่ได้จากวงจรป้องกันแรงดัน เมื่อป้อนสัญญาณ DC ขนาด 5 v



รูปที่ 4.6 แสดงผลการตอบสนองที่ได้จากวงจรป้องกันแรงดัน เมื่อป้อนสัญญาณ DC ขนาด 10 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 การทดสอบการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

ทำการเชื่อมต่อพอร์ต RS-232 แล้วเปิดที่โปรแกรมการอินเตอร์เฟซ ทำการพิมพ์ 1234 จะได้รับการตอบกลับเป็น 1234 เช่นกัน

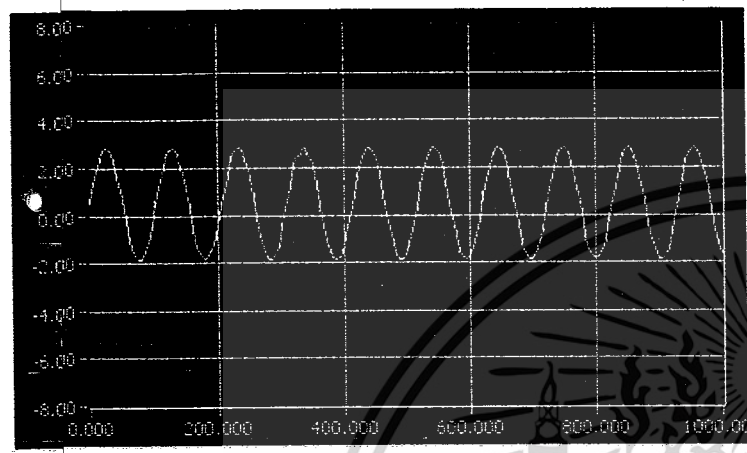


รูปที่ 4. 7 แสดงการทดสอบการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การทดลองการทำงานของออสซิลโลสโคป

ทำการต่อวงจรรวมและป้อนสัญญาณอินพุตด้วยค่าต่างๆ ที่วงจรมอลอกอินพุตออสซิลโลสโคป  
แสดงผลดังนี้



TRIGGER

Slope

POS  
NEG

Level

2.00  
0.00  
-2.00  
-4.00  
-5.00  
4.00  
5.00  
0.00

Coupling

Ac  
DC

Volts/Div

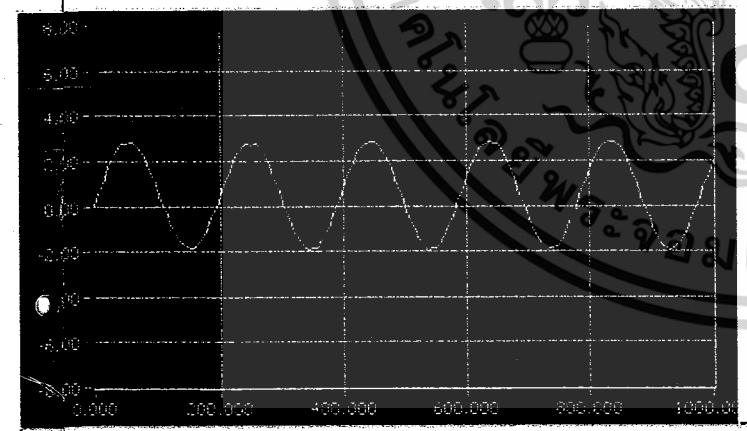
1 V/DIV  
0.5 V/DIV  
2 V/DIV

Frequency Range

500Hz  
1kHz  
2kHz  
100Hz  
10Hz

Setting

รูปที่ 4.8 แสดงผลการทดลองวัดสัญญาณเมื่อป้อนสัญญาณ Sine ขนาด 2.5 Vpp 10 Hz



TRIGGER

Slope

POS  
NEG

Level

2.00  
0.00  
-2.00  
-4.00  
-5.00  
4.00  
5.00  
0.00

Coupling

Ac  
DC

Volts/Div

1 V/DIV  
0.5 V/DIV  
2 V/DIV

Frequency Range

500Hz  
1kHz  
2kHz  
100Hz  
10Hz

Setting

รูปที่ 4.9 แสดงผลการทดลองวัดสัญญาณเมื่อป้อนสัญญาณ Sine ขนาด 2.5 Vpp 50 Hz ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ER

ne

POS  
NEG

rel

0 2.00  
4.00  
5.00

0

g

Hz

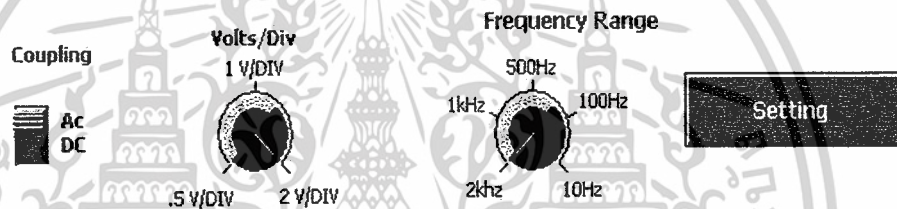
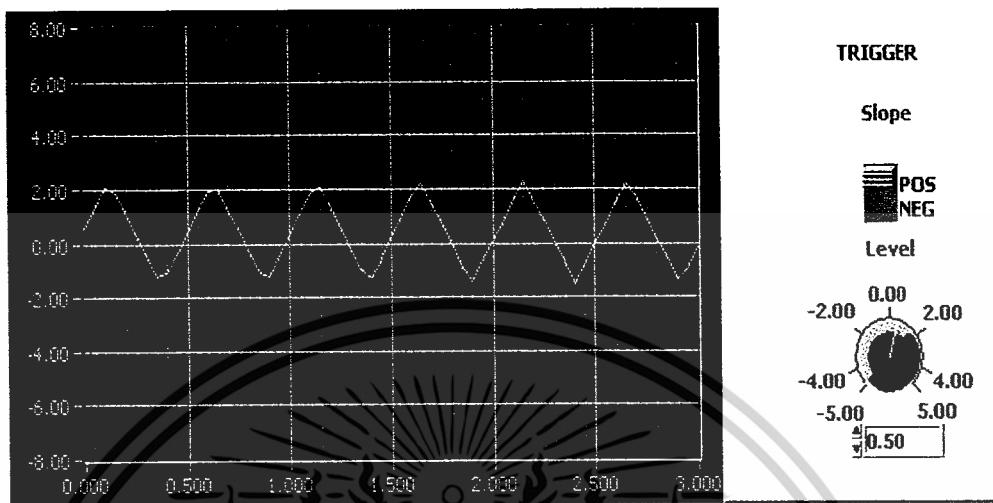
5

5.00

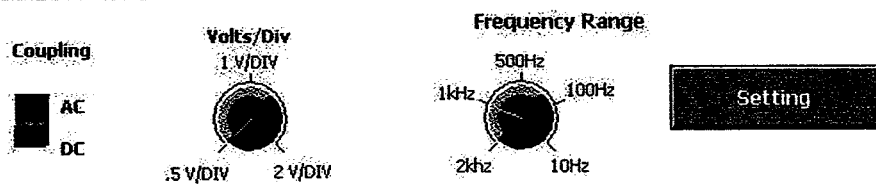
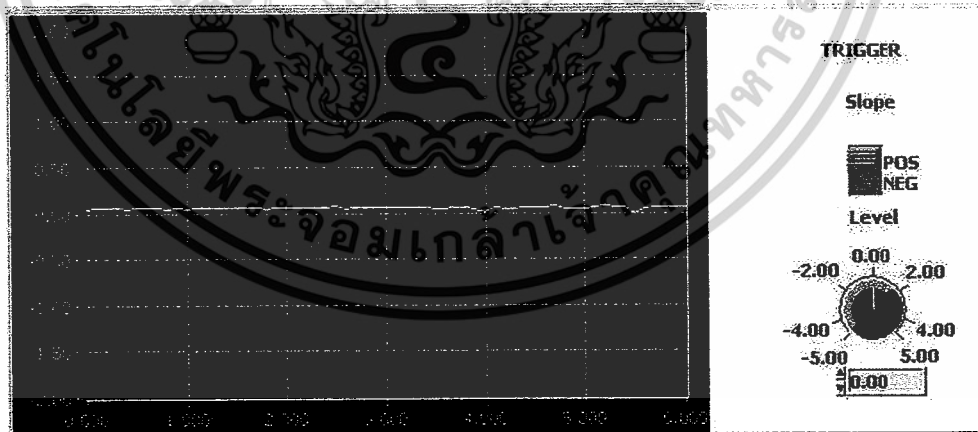
4.00  
0.00

Setting

Setting

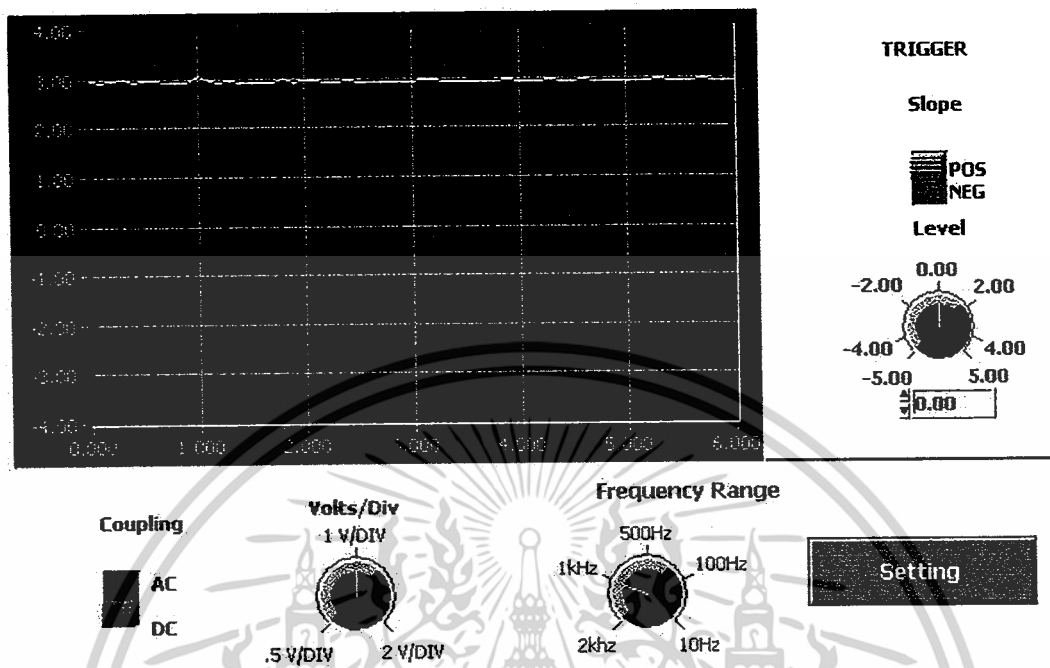


รูปที่ 4.12 แสดงผลการทดลองวัดสัญญาณ Saw tooth ขนาด 1.5 Vpp 2000 Hz



รูปที่ 4.13 แสดงผลการทดลองวัดสัญญาณ DC ขนาด 0.1 V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงผลการทดลองวัดสัญญาณ DC ขนาด 3 V



รูปที่ 4.15 แสดงเครื่องคอมพิวเตอร์ออกซิด โลส โคป(ด้านหน้า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 แสดงเครื่องคอมพิวเตอร์ออสซิลโลสโคป(ด้านหลัง)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

### สรุปผลและวิจารณ์การทดลอง

#### 5.1 ผลที่ได้จากการดำเนินงาน

จากการดำเนินการที่ผ่านมา ทำให้สามารถออกแบบวงจรได้ในส่วนของ วงจรการรับสัญญาณอนาล็อก วงจรแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัล ส่วนของวงจรสำหรับควบคุม และติดต่อกับคอมพิวเตอร์ ส่วนแสดงผลด้วยโปรแกรม LABVIEW ซึ่งวงจรรวมสามารถทำงานได้โดยสามารถวัดสัญญาณ AC ขนาด 4 Vpp ความถี่ 2,000 Hz สัญญาณ DC ขนาด -4 ถึง 4 V และสามารถใช้งานหน้าจอออสซิลโลสโคปได้ตามที่ออกแบบไว้

#### 5.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินโครงการ

1. การทดสอบวงจรหลายส่วน และแต่ละส่วนก็เกิดปัญหาต่าง ๆ กันทำให้ต้องใช้เวลากการทดสอบวงจรเป็นเวลานาน
2. มีปัญหาเกี่ยวกับการเชื่อมต่อวงจรเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อแสดงผลการวัด โดยการใช้อยู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC และใช้โปรแกรม LABVIEW ในส่วนแสดงผลผ่านจอคอมพิวเตอร์
3. นักศึกษาไม่มีความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการใช้งานโปรแกรมแสดงผลทำให้ต้องใช้เวลาในการศึกษาการใช้งานโปรแกรม ทำให้เกิดความล่าช้าในการทำงาน

#### 5.3 ข้อเสนอแนะในการพัฒนาครั้งต่อไป

1. ออกแบบให้วงจรสามารถรับสัญญาณที่มีขนาดสูงกว่านี้ เพราะจะทำให้มีความสามารถใกล้เคียงกับออสซิลโลสโคปทั่วไป
2. ปรับเปลี่ยนวงจรแปลงอนาล็อกเป็นดิจิทัลที่มีขนาดของการแซมปลิงสูงกว่านี้ จะทำให้วัดสัญญาณที่มีความถี่สูงๆ ได้
3. ออกแบบโปรแกรมแสดงผลที่มีหน้าปัดการใช้งานให้เหมือนกับออสซิลโลสโคปมากขึ้น จะทำให้การใช้งานมีความสะดวกมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บรรณานุกรม

1. นคร ภักดีชาติ,ปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51,บริษัทอินโนเวตีฟ จำกัด ,กรุงเทพ,พ.ศ. 2521
2. สมยศ จุณณะปิยะ,การประยุกต์ใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์.สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพ, พ.ศ.2550
3. ชัยวัฒน์ ลัมพรจิตรวิไล,เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51, บริษัทอินโนเวตีฟ จำกัด กรุงเทพ,พ.ศ.2550
4. วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล, เรียนลัด Lab view ,บริษัทอินโนเวตีฟ จำกัด, กรุงเทพ,พ.ศ.2548
5. LC Filters. <http://www.ericsson.com>
6. Operational Amplifier. <http://www2.cmtc.ac.th>
7. Oscillator <http://www.takasila.coe.psu.ac.th>
8. Shift Register. <http://elec.chandra.ac.th>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# LM158/LM258/LM358/LM2904

## Low Power Dual Operational Amplifiers

### General Description

The LM158 series consists of two independent, high gain, internally frequency compensated operational amplifiers which were designed specifically to operate from a single power supply over a wide range of voltages. Operation from split power supplies is also possible and the low power supply current drain is independent of the magnitude of the power supply voltage.

Application areas include transducer amplifiers, dc gain blocks and all the conventional op amp circuits which now can be more easily implemented in single power supply systems. For example, the LM158 series can be directly operated off of the standard +5V power supply voltage which is used in digital systems and will easily provide the required interface electronics without requiring the additional  $\pm 15V$  power supplies.

The LM358 and LM2904 are available in a chip sized package (8-Bump micro SMD) using National's micro SMD package technology.

### Unique Characteristics

- In the linear mode the input common-mode voltage range includes ground and the output voltage can also swing to ground, even though operated from only a single power supply voltage.
- The unity gain cross frequency is temperature compensated.
- The input bias current is also temperature compensated.

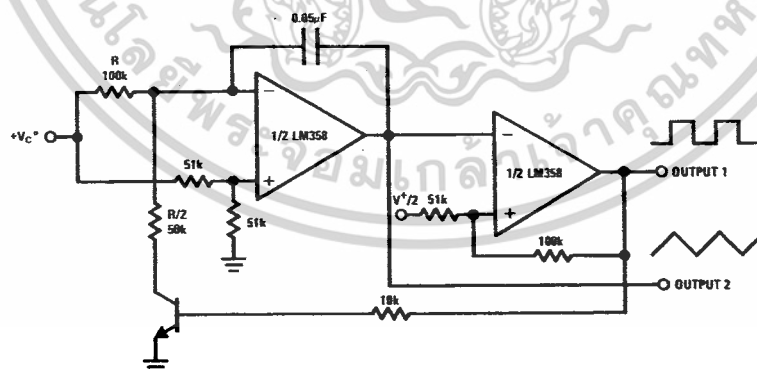
### Advantages

- Two internally compensated op amps
- Eliminates need for dual supplies
- Allows direct sensing near GND and  $V_{OUT}$  also goes to GND
- Compatible with all forms of logic
- Power drain suitable for battery operation

### Features

- Available in 8-Bump micro SMD chip sized package, (See AN-1112)
- Internally frequency compensated for unity gain
- Large dc voltage gain:  $\sim 100$  dB
- Wide bandwidth (unity gain): 1 MHz (temperature compensated)
- Wide power supply range:
  - Single supply: 3V to 32V
  - or dual supplies:  $\pm 1.5V$  to  $\pm 16V$
- Very low supply current drain (500  $\mu A$ )—essentially independent of supply voltage
- Low input offset voltage: 2 mV
- Input common-mode voltage range includes ground
- Differential input voltage range equal to the power supply voltage
- Large output voltage swing

### Voltage Controlled Oscillator (VCO)



00778723

**Absolute Maximum Ratings** (Note 9)

If Military/Aerospace specified devices are required,  
please contact the National Semiconductor Sales Office/

Distributors for availability and specifications.

	LM158/LM258/LM358	LM2904
	LM158A/LM258A/LM358A	
Supply Voltage, $V^+$	32V	26V
Differential Input Voltage	32V	26V
Input Voltage	-0.3V to +32V	-0.3V to +26V
Power Dissipation (Note 1)		
Molded DIP	830 mW	830 mW
Metal Can	550 mW	
Small Outline Package (M)	530 mW	530 mW
micro SMD	435mW	
Output Short-Circuit to GND (One Amplifier) (Note 2) $V^+ \leq 15V$ and $T_A = 25^\circ C$	Continuous	Continuous
Input Current ( $V_{IN} < -0.3V$ ) (Note 3)	50 mA	50 mA
Operating Temperature Range		
LM358	0°C to +70°C	-40°C to +85°C
LM258	-25°C to +85°C	
LM158	-55°C to +125°C	
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C	-65°C to +150°C
Lead Temperature, DIP (Soldering, 10 seconds)	260°C	260°C
Lead Temperature, Metal Can (Soldering, 10 seconds)	300°C	300°C
Soldering Information		
Dual-In-Line Package		
Soldering (10 seconds)	260°C	260°C
Small Outline Package		
Vapor Phase (60 seconds)	215°C	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C	220°C
See AN-450 "Surface Mounting Methods and Their Effect on Product Reliability" for other methods of soldering surface mount devices.		
ESD Tolerance (Note 10)	250V	250V

**Electrical Characteristics**

$V^+ = +5.0V$ , unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM158A			LM358A			LM158/LM258			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 5), $T_A = 25^\circ C$	1	2		2	3		2	5		mV
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$ , $T_A = 25^\circ C$ , $V_{CM} = 0V$ , (Note 6)	20	50		45	100		45	150		nA
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$ , $V_{CM} = 0V$ , $T_A = 25^\circ C$	2	10		5	30		3	30		nA
Input Common-Mode Voltage Range	$V^+ = 30V$ , (Note 7) (LM2904, $V^+ = 26V$ ), $T_A = 25^\circ C$	0	$V^+ - 1.5$		0	$V^+ - 1.5$		0	$V^+ - 1.5$		V
Supply Current	Over Full Temperature Range $R_L = \infty$ on All Op Amps $V^+ = 30V$ (LM2904 $V^+ = 26V$ ) $V^+ = 5V$	1	2		1	2		1	2		mA
		0.5	1.2		0.5	1.2		0.5	1.2		mA

## Electrical Characteristics

$V^+ = +5.0V$ , unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM358			LM2904			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Input Offset Voltage	(Note 5), $T_A = 25^\circ C$		2	7		2	7	mV
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$ , $T_A = 25^\circ C$ , $V_{CM} = 0V$ , (Note 6)		45	250		45	250	nA
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$ , $V_{CM} = 0V$ , $T_A = 25^\circ C$		5	50		5	50	nA
Input Common-Mode Voltage Range	$V^+ = 30V$ , (Note 7) (LM2904, $V^+ = 26V$ ), $T_A = 25^\circ C$	0		$V^+ - 1.5$	0		$V^+ - 1.5$	V
Supply Current	Over Full Temperature Range $R_L = \infty$ on All Op Amps $V^+ = 30V$ (LM2904 $V^+ = 26V$ ) $V^+ = 5V$		1	2		1	2	mA
			0.5	1.2		0.5	1.2	mA

## Electrical Characteristics

$V^+ = +5.0V$ , (Note 4), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM158A			LM358A			LM158/LM258			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage Gain	$V^+ = 15V$ , $T_A = 25^\circ C$ , $R_L \geq 2 k\Omega$ , (For $V_O = 1V$ to 11V)	50	100		25	100		50	100		V/mV
Common-Mode Rejection Ratio	$T_A = 25^\circ C$ , $V_{CM} = 0V$ to $V^+ - 1.5V$	70	85		65	85		70	85		dB
Power Supply Rejection Ratio	$V^+ = 5V$ to 30V (LM2904, $V^+ = 5V$ to 26V), $T_A = 25^\circ C$	65	100		65	100		65	100		dB
Amplifier-to-Amplifier Coupling	$f = 1 kHz$ to 20 kHz, $T_A = 25^\circ C$ (Input Referred), (Note 8)		-120			-120			-120		dB
Output Current	Source $V_{IN^+} = 1V$ , $V_{IN^-} = 0V$ , $V^+ = 15V$ , $V_O = 2V$ , $T_A = 25^\circ C$	20	40		20	40		20	40		mA
	Sink $V_{IN^-} = 1V$ , $V_{IN^+} = 0V$ , $V^+ = 15V$ , $T_A = 25^\circ C$ , $V_O = 2V$	10	20		10	20		10	20		mA
	$V_{IN^-} = 1V$ , $V_{IN^+} = 0V$ , $T_A = 25^\circ C$ , $V_O = 200 mV$ , $V^+ = 15V$	12	50		12	50		12	50		$\mu A$
Short Circuit to Ground	$T_A = 25^\circ C$ , (Note 2), $V^+ = 15V$		40	60		40	60		40	60	mA
Input Offset Voltage	(Note 5)		4			5			7		mV
Input Offset Voltage Drift	$R_S = 0\Omega$		7	15		7	20		7		$\mu V/^\circ C$
Input Offset Current	$I_{IN(+)} - I_{IN(-)}$		30			75			100		nA
Input Offset Current Drift	$R_S = 0\Omega$		10	200		10	300		10		$pA/^\circ C$
Input Bias Current	$I_{IN(+)}$ or $I_{IN(-)}$		40	100		40	200		40	300	nA
Input Common-Mode Voltage Range	$V^+ = 30V$ , (Note 7) (LM2904, $V^+ = 26V$ )	0		$V^+ - 2$	0		$V^+ - 2$	0		$V^+ - 2$	V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Electrical Characteristics** (Continued)V<sup>+</sup> = +5.0V, (Note 4), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM158A			LM358A			LM158/LM258			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage Gain	V <sup>+</sup> = +15V (V <sub>O</sub> = 1V to 11V) R <sub>L</sub> ≥ 2 kΩ	25			15			25			V/mV
Output Voltage Swing	V <sub>OH</sub> V <sup>+</sup> = +30V (LM2904, V <sup>+</sup> = 26V)	26			26			26			V
	R <sub>L</sub> = 2 kΩ	27 28			27 28			27 28			V
	R <sub>L</sub> = 10 kΩ	5 20			5 20			5 20			mV
Output Current	Source V <sub>IN</sub> <sup>+</sup> = +1V, V <sub>IN</sub> <sup>-</sup> = 0V, V <sup>+</sup> = 15V, V <sub>O</sub> = 2V	10 20			10 20			10 20			mA
	Sink V <sub>IN</sub> <sup>-</sup> = +1V, V <sub>IN</sub> <sup>+</sup> = 0V, V <sup>+</sup> = 15V, V <sub>O</sub> = 2V	10 15			5 8			5 8			mA

**Electrical Characteristics**V<sup>+</sup> = +5.0V, (Note 4), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM358			LM2904			Units		
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max			
Large Signal Voltage Gain	V <sup>+</sup> = 15V, T <sub>A</sub> = 25°C, R <sub>L</sub> ≥ 2 kΩ, (For V <sub>O</sub> = 1V to 11V)	25	100		25	100		V/mV		
Common-Mode Rejection Ratio	T <sub>A</sub> = 25°C, V <sub>CM</sub> = 0V to V <sup>+</sup> -1.5V	65	85		50	70		dB		
Power Supply Rejection Ratio	V <sup>+</sup> = 5V to 30V (LM2904, V <sup>+</sup> = 5V to 26V), T <sub>A</sub> = 25°C	65	100		50	100		dB		
Amplifier-to-Amplifier Coupling	f = 1 kHz to 20 kHz, T <sub>A</sub> = 25°C (Input Referred), (Note 8)	-120			-120			dB		
Output Current	Source V <sub>IN</sub> <sup>+</sup> = 1V, V <sub>IN</sub> <sup>-</sup> = 0V, V <sup>+</sup> = 15V, V <sub>O</sub> = 2V, T <sub>A</sub> = 25°C	20	40		20	40		mA		
	Sink V <sub>IN</sub> <sup>-</sup> = 1V, V <sub>IN</sub> <sup>+</sup> = 0V V <sup>+</sup> = 15V, T <sub>A</sub> = 25°C, V <sub>O</sub> = 2V	10	20		10	20		mA		
	V <sub>IN</sub> <sup>-</sup> = 1V, V <sub>IN</sub> <sup>+</sup> = 0V T <sub>A</sub> = 25°C, V <sub>O</sub> = 200 mV, V <sup>+</sup> = 15V	12	50		12	50		μA		
Short Circuit to Ground	T <sub>A</sub> = 25°C, (Note 2), V <sup>+</sup> = 15V	40 60			40 60			mA		
Input Offset Voltage	(Note 5)	9			10			mV		
Input Offset Voltage Drift	R <sub>S</sub> = 0Ω	7			7			μV/°C		
Input Offset Current	I <sub>IN(+)</sub> - I <sub>IN(-)</sub>	150			45 200			nA		
Input Offset Current Drift	R <sub>S</sub> = 0Ω	10			10			pA/°C		
Input Bias Current	I <sub>IN(+)</sub> or I <sub>IN(-)</sub>	40 500			40 500			nA		
Input Common-Mode Voltage Range	V <sup>+</sup> = 30 V, (Note 7) (LM2904, V <sup>+</sup> = 26V)	0			V <sup>+</sup> -2			0	V <sup>+</sup> -2	V

**Electrical Characteristics** (Continued)V<sup>+</sup> = +5.0V, (Note 4), unless otherwise stated

Parameter	Conditions	LM358			LM2904			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
Large Signal Voltage Gain	V <sup>+</sup> = +15V (V <sub>O</sub> = 1V to 11V) R <sub>L</sub> ≥ 2 kΩ	15			15			V/mV
Output Voltage Swing	V <sub>OH</sub> V <sup>+</sup> = +30V (LM2904, V <sup>+</sup> = 26V)	R <sub>L</sub> = 2 kΩ	26		22			V
		R <sub>L</sub> = 10 kΩ	27	28	23	24		V
	V <sub>OL</sub> V <sup>+</sup> = 5V, R <sub>L</sub> = 10 kΩ	5			20	5	100	mV
Output Current	Source V <sub>IN</sub> <sup>+</sup> = +1V, V <sub>IN</sub> <sup>-</sup> = 0V, V <sup>+</sup> = 15V, V <sub>O</sub> = 2V	10			20	10	20	mA
	Sink V <sub>IN</sub> <sup>-</sup> = +1V, V <sub>IN</sub> <sup>+</sup> = 0V, V <sup>+</sup> = 15V, V <sub>O</sub> = 2V	5			8	5	8	mA

**Note 1:** For operating at high temperatures, the LM358/LM358A, LM2904 must be derated based on a +125°C maximum junction temperature and a thermal resistance of 120°C/W for MDIP, 182°C/W for Metal Can, 189°C/W for Small Outline package, and 230°C/W for micro SMD, which applies for the device soldered in a printed circuit board, operating in a still air ambient. The LM258/LM258A and LM158/LM158A can be derated based on a +150°C maximum junction temperature. The dissipation is the total of both amplifiers—use external resistors, where possible, to allow the amplifier to saturate or to reduce the power which is dissipated in the integrated circuit.

**Note 2:** Short circuits from the output to V<sup>+</sup> can cause excessive heating and eventual destruction. When considering short circuits to ground, the maximum output current is approximately 40 mA independent of the magnitude of V<sup>+</sup>. At values of supply voltage in excess of +15V, continuous short-circuits can exceed the power dissipation ratings and cause eventual destruction. Destructive dissipation can result from simultaneous shorts on all amplifiers.

**Note 3:** This input current will only exist when the voltage at any of the input leads is driven negative. It is due to the collector-base junction of the input PNP transistors becoming forward biased and thereby acting as input diode clamps. In addition to this diode action, there is also lateral NPN parasitic transistor action on the IC chip. This transistor action can cause the output voltages of the op amps to go to the V<sup>+</sup> voltage level (or to ground for a large overdrive) for the time duration that an input is driven negative. This is not destructive and normal output states will re-establish when the input voltage, which was negative, again returns to a value greater than -0.3V (at 25°C).

**Note 4:** These specifications are limited to -55°C ≤ T<sub>A</sub> ≤ +125°C for the LM158/LM158A. With the LM258/LM258A, all temperature specifications are limited to -25°C ≤ T<sub>A</sub> ≤ +85°C, the LM358/LM358A temperature specifications are limited to 0°C ≤ T<sub>A</sub> ≤ +70°C, and the LM2904 specifications are limited to -40°C ≤ T<sub>A</sub> ≤ +85°C.

**Note 5:** V<sub>O</sub> = 1.4V, R<sub>S</sub> = 0Ω with V<sup>+</sup> from 5V to 30V; and over the full input common-mode range (0V to V<sup>+</sup> - 1.5V) at 25°C. For LM2904, V<sup>+</sup> from 5V to 26V.

**Note 6:** The direction of the input current is out of the IC due to the PNP input stage. This current is essentially constant, independent of the state of the output so no loading change exists on the input lines.

**Note 7:** The input common-mode voltage of either input signal voltage should not be allowed to go negative by more than 0.3V (at 25°C). The upper end of the common-mode voltage range is V<sup>+</sup> - 1.5V (at 25°C), but either or both inputs can go to +32V without damage (+26V for LM2904), independent of the magnitude of V<sup>+</sup>.

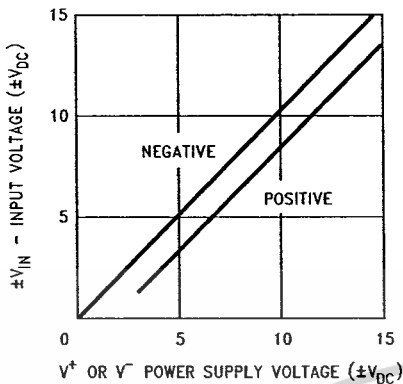
**Note 8:** Due to proximity of external components, insure that coupling is not originating via stray capacitance between these external parts. This typically can be detected as this type of capacitance increases at higher frequencies.

**Note 9:** Refer to RETS158AX for LM158A military specifications and to RETS158X for LM158 military specifications.

**Note 10:** Human body model, 1.5 kΩ in series with 100 pF.

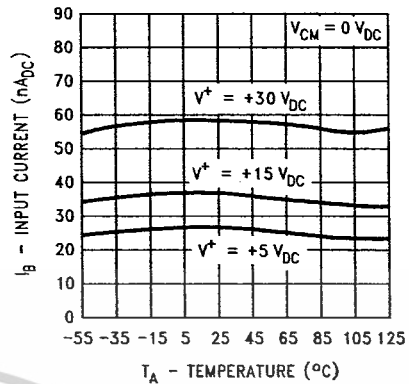
## Typical Performance Characteristics

Input Voltage Range



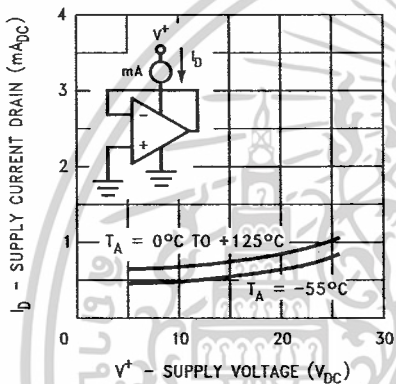
00778734

Input Current



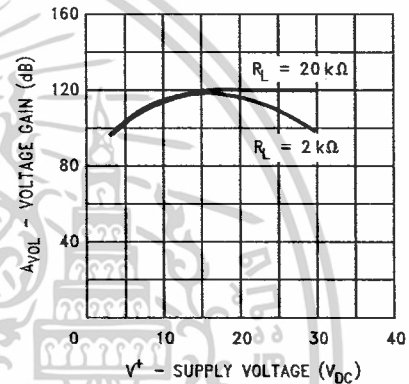
00778735

Supply Current



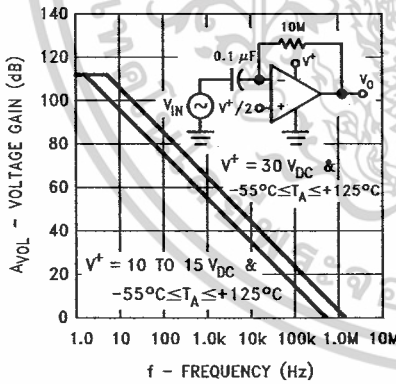
00778736

Voltage Gain



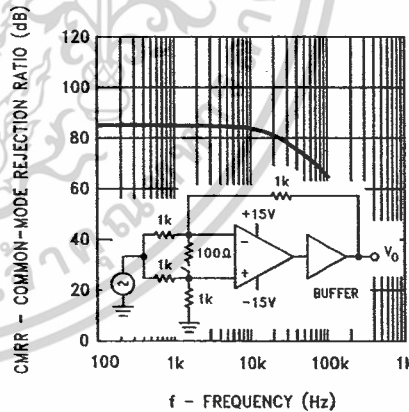
00778737

Open Loop Frequency Response



00778738

Common-Mode Rejection Ratio

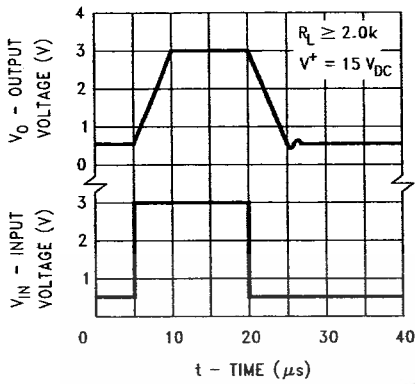


00778739

# Typical Performance Characteristics (Continued)

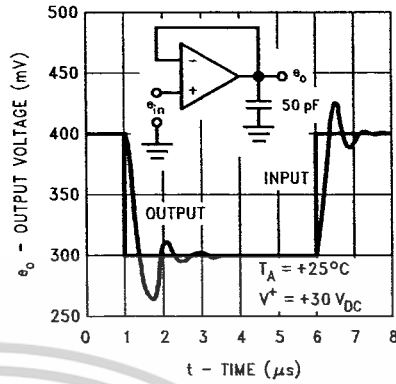
LM158/LM258/LM358/LM2904

**Voltage Follower Pulse Response**



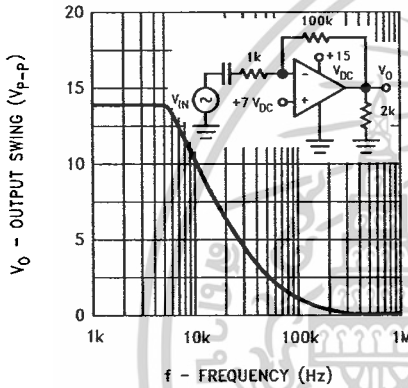
00778740

**Voltage Follower Pulse Response (Small Signal)**



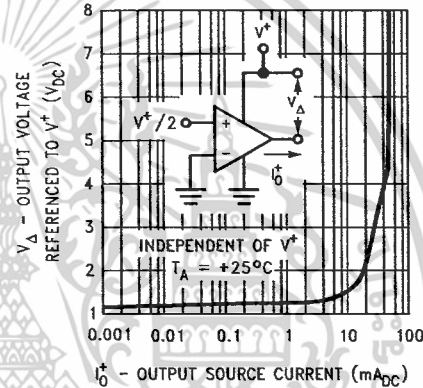
00778741

**Large Signal Frequency Response**



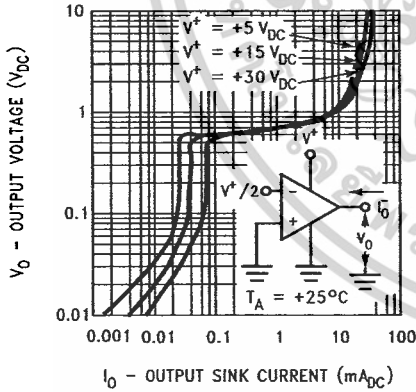
00778742

**Output Characteristics Current Sourcing**



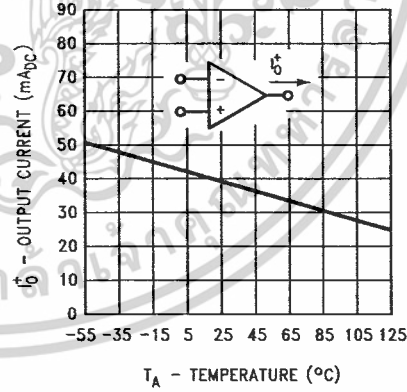
00778743

**Output Characteristics Current Sinking**



00778744

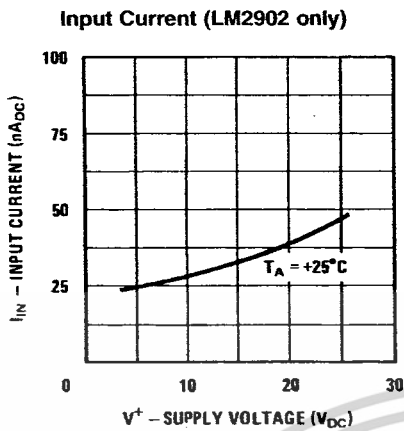
**Current Limiting**



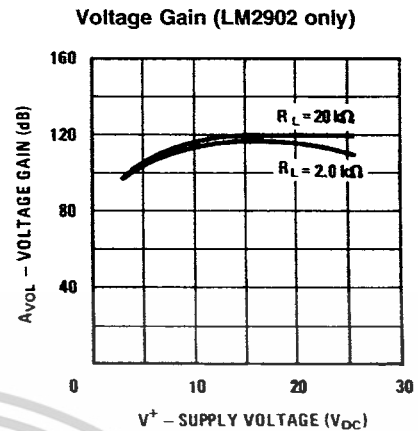
00778745

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Typical Performance Characteristics (Continued)



00778746



00778747

### Application Hints

The LM158 series are op amps which operate with only a single power supply voltage, have true-differential inputs, and remain in the linear mode with an input common-mode voltage of  $0 V_{DC}$ . These amplifiers operate over a wide range of power supply voltage with little change in performance characteristics. At  $25^\circ\text{C}$  amplifier operation is possible down to a minimum supply voltage of  $2.3 V_{DC}$ .

Precautions should be taken to insure that the power supply for the integrated circuit never becomes reversed in polarity or that the unit is not inadvertently installed backwards in a test 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.

Large differential input voltages can be easily accommodated and, as input differential voltage protection diodes are not needed, no large input currents result from large differential input voltages. The differential input voltage may be larger than  $V^+$  without damaging the device. Protection should be provided to prevent the input voltages from going negative more than  $-0.3 V_{DC}$  (at  $25^\circ\text{C}$ ). An input clamp diode with a resistor to the IC input terminal can be used.

To reduce the power supply current drain, the amplifiers have a class A output stage for small signal levels which converts to class B in a large signal mode. This allows the amplifiers to both source and sink large output currents. Therefore both NPN and PNP external current boost transistors can be used to extend the power capability of the basic amplifiers. The output voltage needs to raise approximately 1 diode drop above ground to bias the on-chip vertical PNP transistor for output current sinking applications.

For ac applications, where the load is capacitively coupled to the output of the amplifier, a resistor should be used, from the output of the amplifier to ground to increase the class A bias current and prevent crossover distortion. Where the load is directly coupled, as in dc applications, there is no crossover distortion.

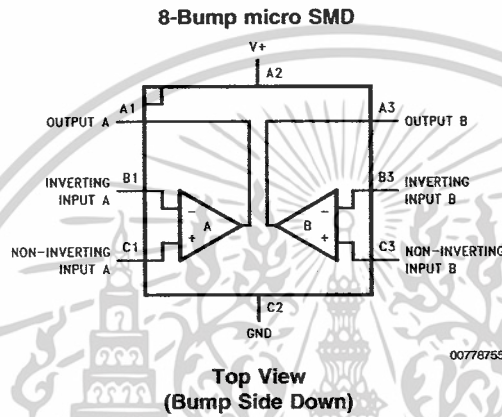
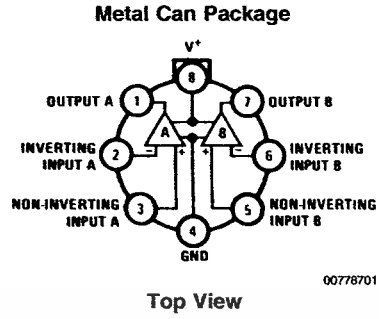
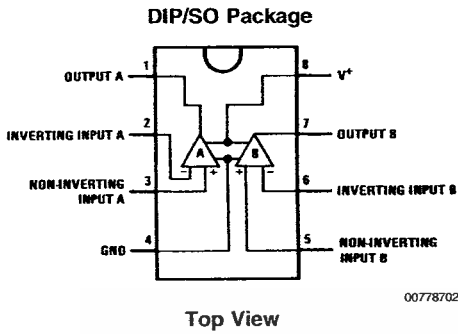
Capacitive loads which are applied directly to the output of the amplifier reduce the loop stability margin. Values of 50 pF can be accommodated using the worst-case non-inverting unity gain connection. Large closed loop gains or resistive isolation should be used if larger load capacitance must be driven by the amplifier.

The bias network of the LM158 establishes a drain current which is independent of the magnitude of the power supply voltage over the range of  $3 V_{DC}$  to  $30 V_{DC}$ .

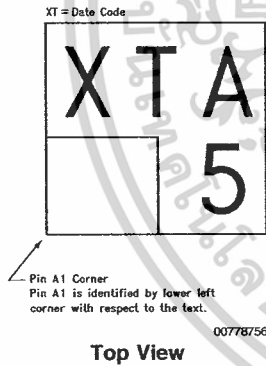
Output short circuits either to ground or to the positive power supply should be of short time duration. Units can be destroyed, not as a result of the short circuit current causing metal fusing, but rather due to the large increase in IC chip dissipation which will cause eventual failure due to excessive junction temperatures. Putting direct short-circuits on more than one amplifier at a time will increase the total IC power dissipation to destructive levels, if not properly protected with external dissipation limiting resistors in series with the output leads of the amplifiers. The larger value of output source current which is available at  $25^\circ\text{C}$  provides a larger output current capability at elevated temperatures (see typical performance characteristics) than a standard IC op amp.

The circuits presented in the section on typical applications emphasize operation on only a single power supply voltage. If complementary power supplies are available, all of the standard op amp circuits can be used. In general, introducing a pseudo-ground (a bias voltage reference of  $V^+/2$ ) will allow operation above and below this value in single power supply systems. Many application circuits are shown which take advantage of the wide input common-mode voltage range which includes ground. In most cases, input biasing is not required and input voltages which range to ground can easily be accommodated.

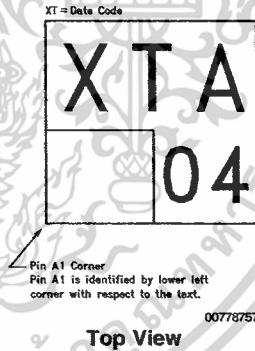
# Connection Diagrams



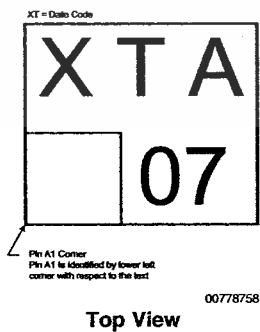
**LM358BP micro SMD Marking Orientation**



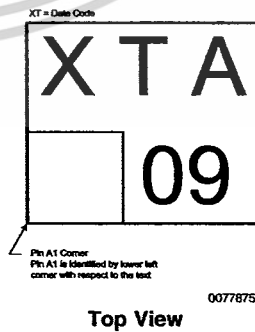
**LM2904IBP micro SMD Marking Orientation**



**LM358TP micro SMD Marking Orientation**



**LM2904ITP micro SMD Marking Orientation**



## Ordering Information

Package	Temperature Range				NSC Drawing
	-55°C to 125°C	-25°C to 85°C	0°C to 70°C	-40°C to 85°C	
SO-8			LM358AM LM358AMX LM358M LM358MX	LM2904M LM2904MX	M08A
8-Pin Molded DIP			LM358AN LM358N	LM2904N	N08E
8-Pin Ceramic DIP	LM158AJ/883(Note 11) LM158J/883(Note 11) LM158J LM158AJLQML(Note 12) LM158AJQMLV(Note 12)				J08A
TO-5, 8-Pin Metal Can	LM158AH/883(Note 11) LM158H/883(Note 11) LM158AH LM158H LM158AHLQML(Note 12) LM158AHLQMLV(Note 12)	LM258H	LM358H		H08C
8-Bump micro SMD			LM358BP LM358BPX	LM2904IBP LM2904IBPX	BPA08AAB 0.85 mm Thick
8-Bump micro SMD Lead Free			LM358TP LM358TPX	LM2904ITP LM2904ITPX	TPA08AAA 0.50 mm Thick
14-Pin Ceramic SOIC	LM158AWG/883				WG10A

**Note 11:** LM158 is available per SMD #5962-8771001

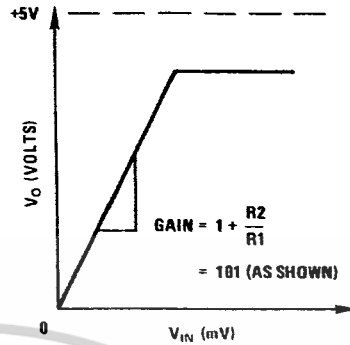
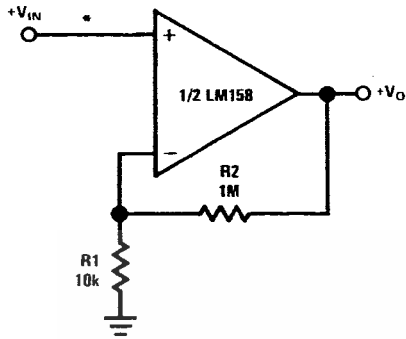
LM158A is available per SMD #5962-8771002

**Note 12:** See STD Mil DWG 5962L87710 for Radiation Tolerant Devices

# Typical Single-Supply Applications

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

## Inverting DC Gain (0V Output)



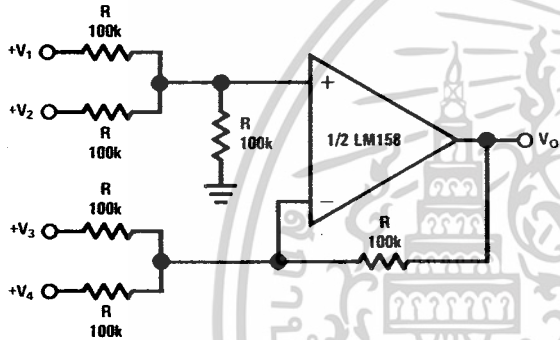
R1 not needed due to temperature independent  $I_{IN}$

00778706

00778707

## DC Summing Amplifier

( $V_{IN'S} \geq 0 V_{DC}$  and  $V_O \geq 0 V_{DC}$ )

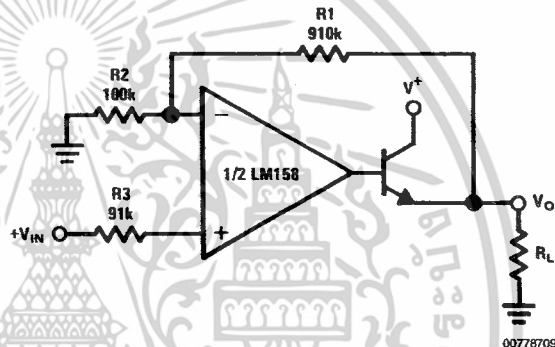


Where:  $V_O = V_1 + V_2 - V_3 - V_4$   
 $V_1 + V_2 \geq (V_3 + V_4)$  to keep  $V_O > 0 V_{DC}$

00778708

$V_O = 0 V_{DC}$  for  $V_{IN} = 0 V_{DC}$   
 $A_V = 10$

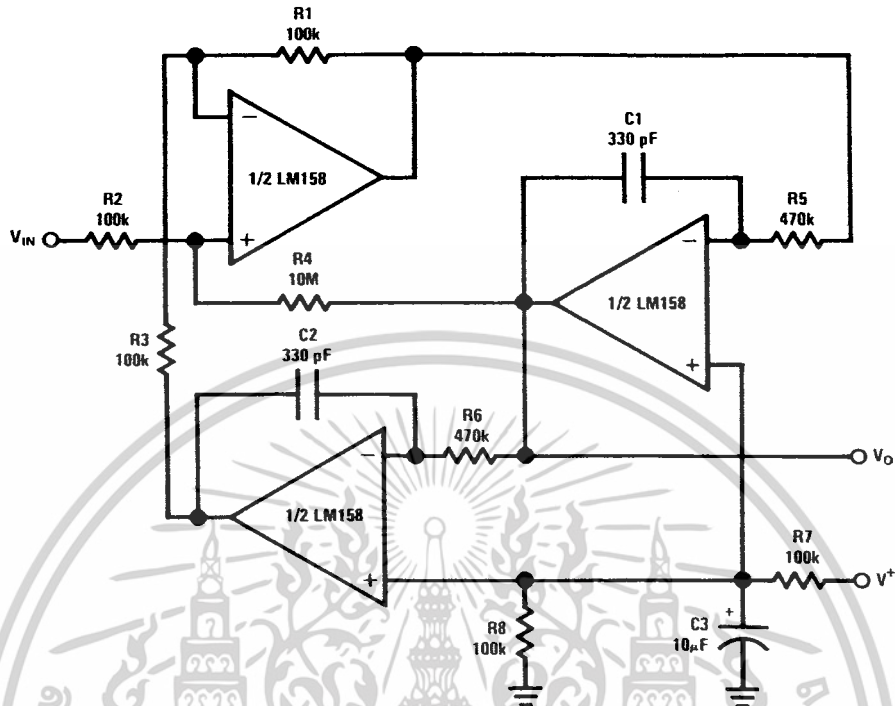
## Power Amplifier



00778709

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

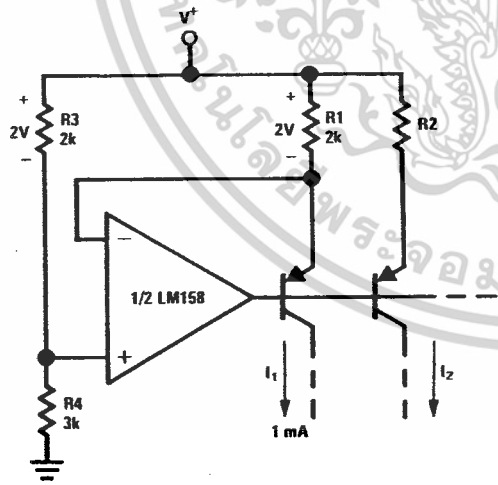
“BI-QUAD” RC Active Bandpass Filter



$f_0 = 1 \text{ kHz}$   
 $Q = 50$   
 $A_v = 100 \text{ (40 dB)}$

00778710

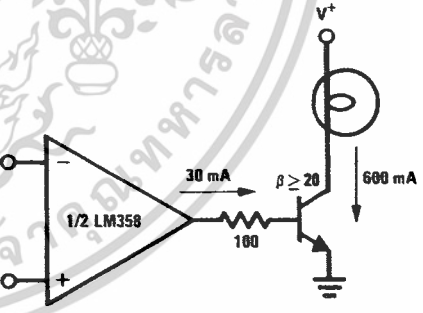
Fixed Current Sources



00778711

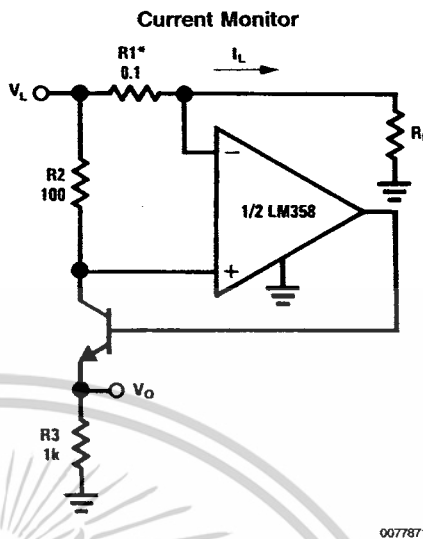
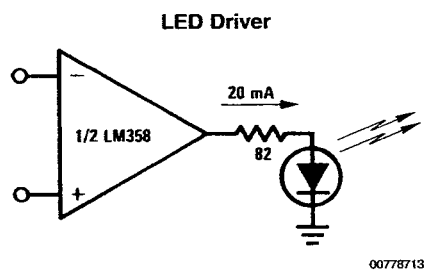
$$I_2 = \left( \frac{R_1}{R_2} \right) I_1$$

Lamp Driver



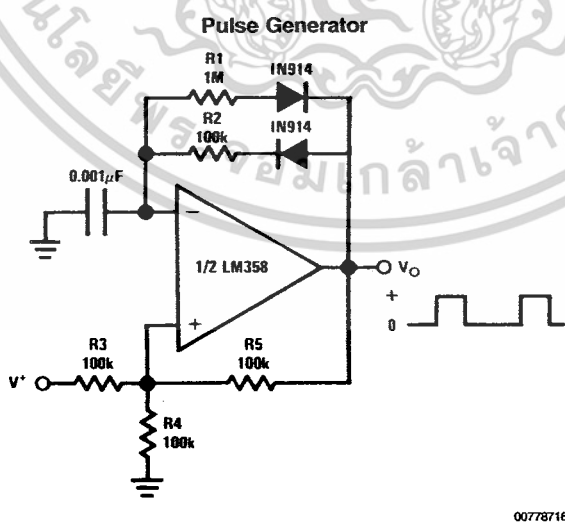
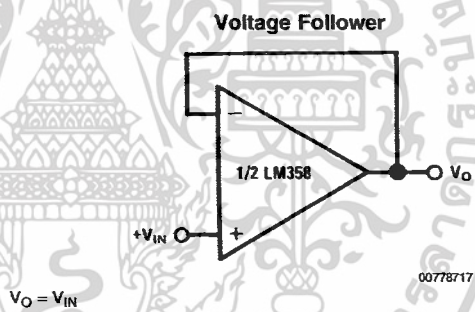
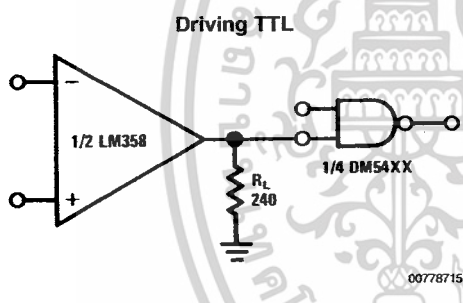
00778712

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



$$V_O = \frac{1V (I_L)}{1A}$$

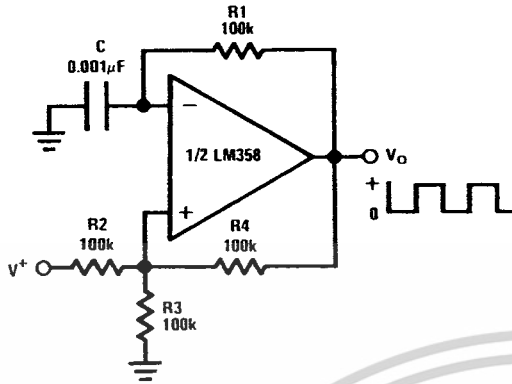
\*(Increase R1 for  $I_L$  small)  
 $V_L \leq V^+ - 2V$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

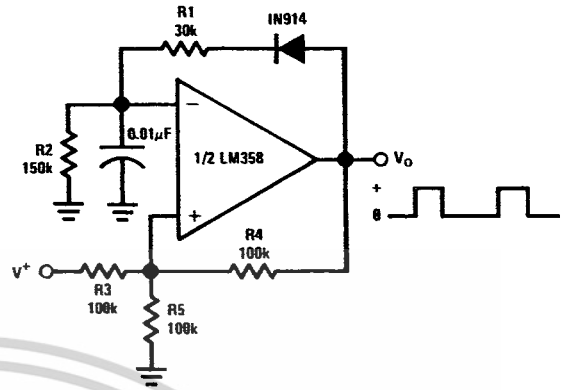
Typical Single-Supply Applications ( $V^+ = 5.0 V_{DC}$ ) (Continued)

Squarewave Oscillator



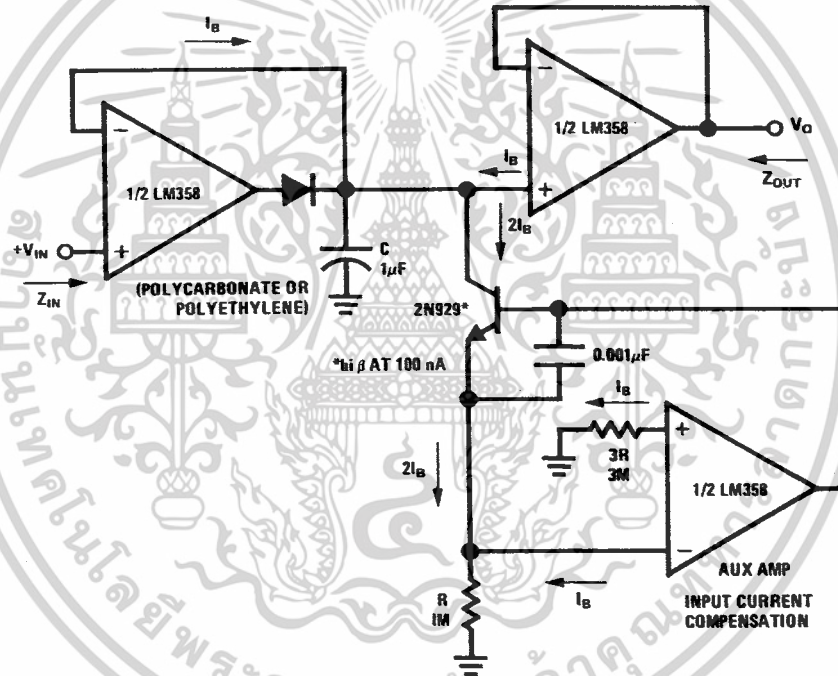
00778718

Pulse Generator



00778719

Low Drift Peak Detector

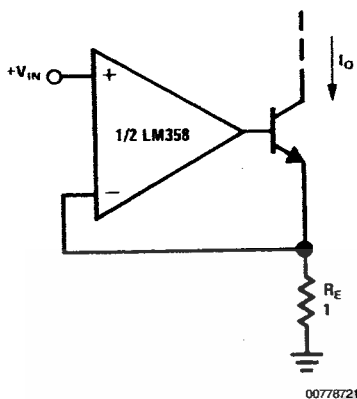


00778720

HIGH  $Z_{IN}$   
LOW  $Z_{OUT}$

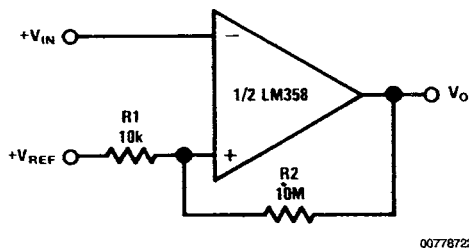
Typical Single-Supply Applications ( $V^+ = 5.0 V_{DC}$ ) (Continued)

High Compliance Current Sink

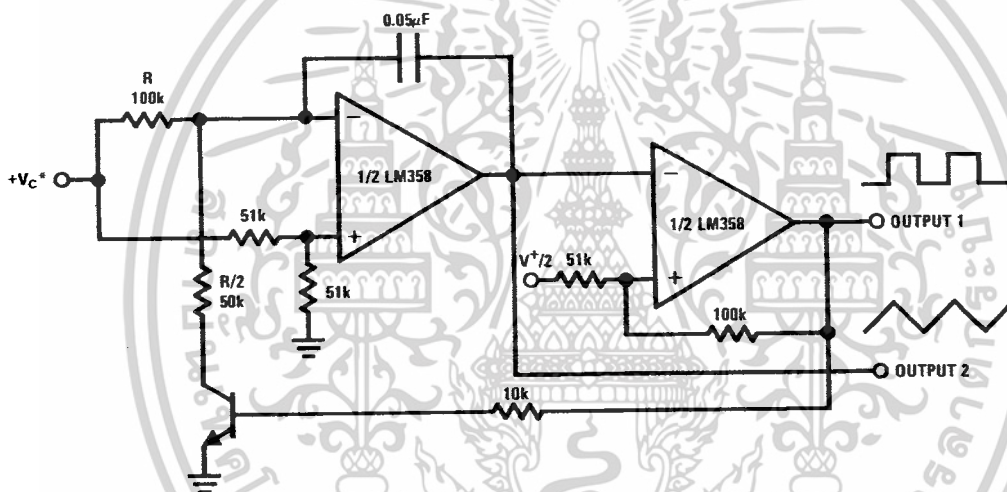


$I_O = 1 \text{ amp/volt } V_{IN}$   
(Increase  $R_E$  for  $I_O$  small)

Comparator with Hysteresis



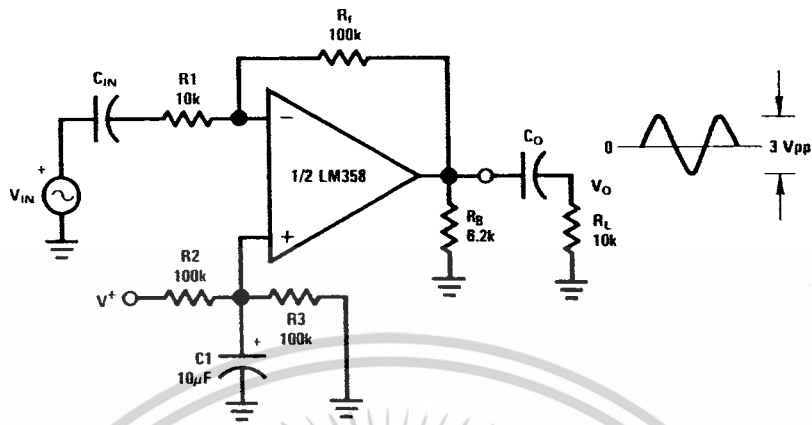
Voltage Controlled Oscillator (VCO)



\*WIDE CONTROL VOLTAGE RANGE:  $0 V_{DC} \leq V_C \leq 2 (V^+ - 1.5V_{DC})$

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

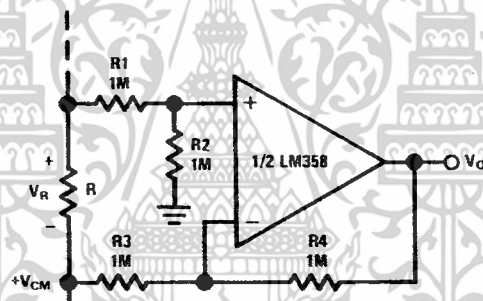
AC Coupled Inverting Amplifier



00778724

$$A_v = \frac{R_f}{R_1} \quad (\text{As shown, } A_v = 10)$$

Ground Referencing a Differential Input Signal

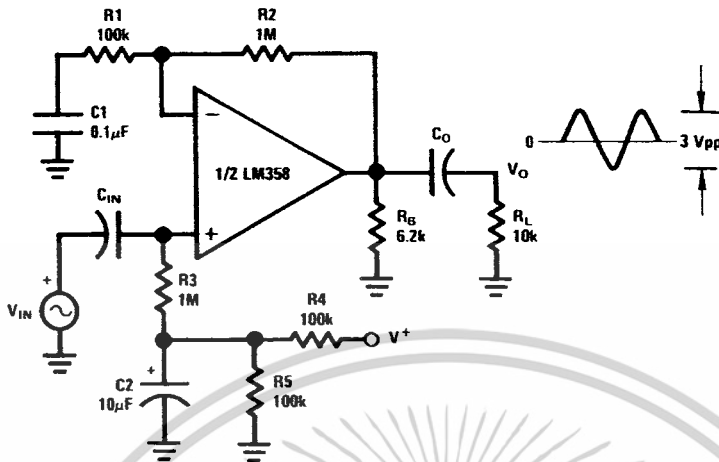


00778725

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

LM158/LM258/LM358/LM2904

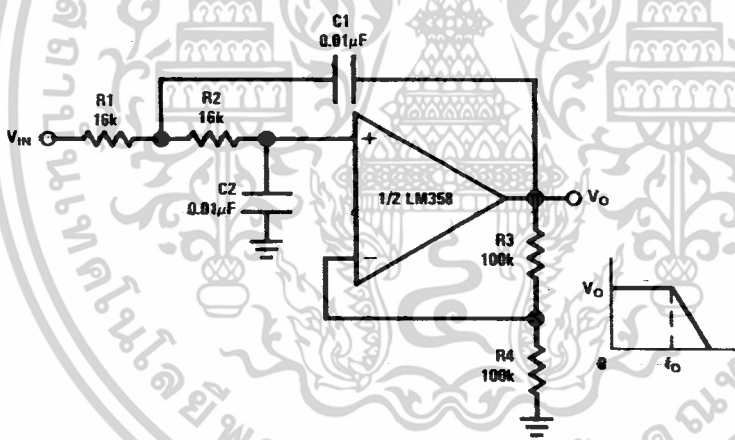
AC Coupled Non-Inverting Amplifier



$$A_v = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$A_v = 11$  (As Shown)

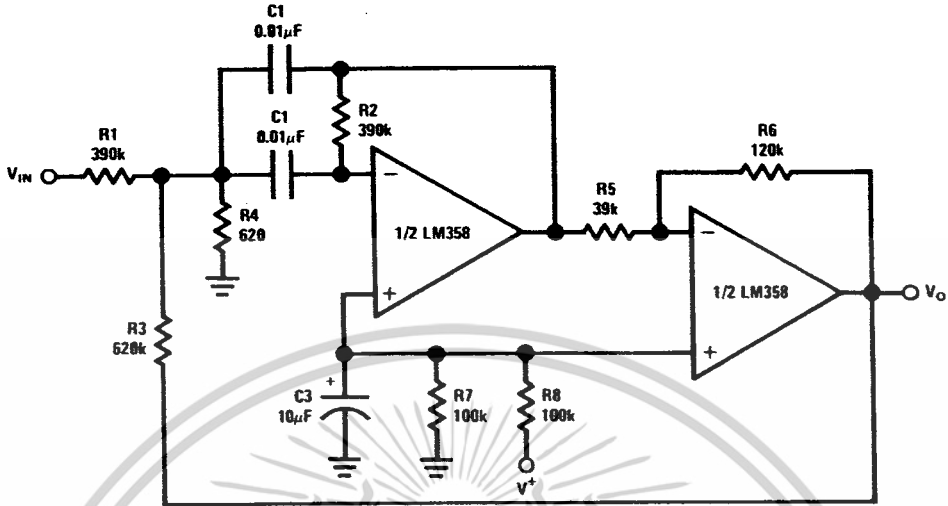
DC Coupled Low-Pass RC Active Filter



$f_o = 1 \text{ kHz}$   
 $Q = 1$   
 $A_v = 2$

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

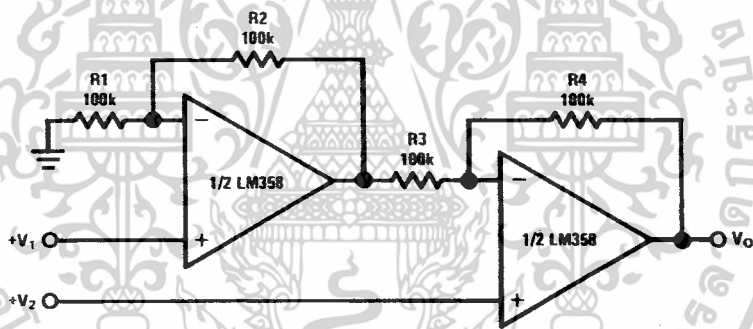
Bandpass Active Filter



00778728

$f_o = 1 \text{ kHz}$   
 $Q = 25$

High Input Z, DC Differential Amplifier



00778729

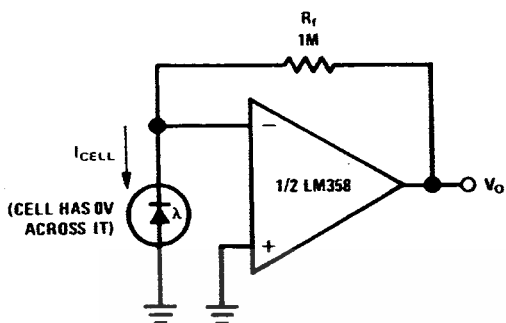
For  $\frac{R1}{R2} = \frac{R4}{R3}$  (CMRR depends on this resistor ratio match)

$$V_O = 1 + \frac{R4}{R3} (V_2 - V_1)$$

As Shown:  $V_O = 2 (V_2 - V_1)$

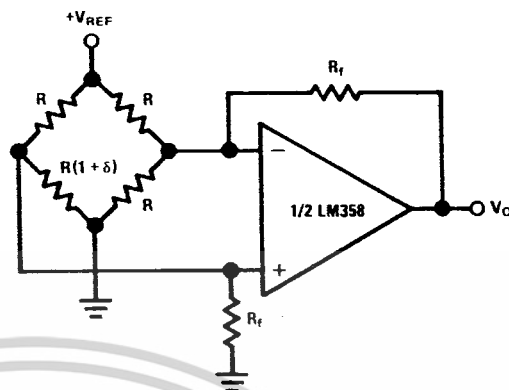
## Typical Single-Supply Applications ( $V^+ = 5.0 V_{DC}$ ) (Continued)

**Photo Voltaic-Cell Amplifier**



00778730

**Bridge Current Amplifier**

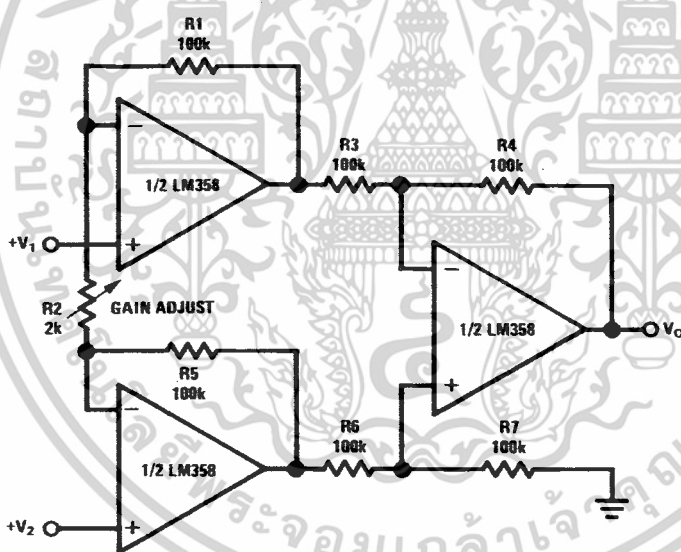


00778733

For  $\delta \ll 1$  and  $R_f \gg R$

$$V_O \approx V_{REF} \left( \frac{\delta}{2} \right) \frac{R_f}{R}$$

**High Input Z Adjustable-Gain DC Instrumentation Amplifier**



00778731

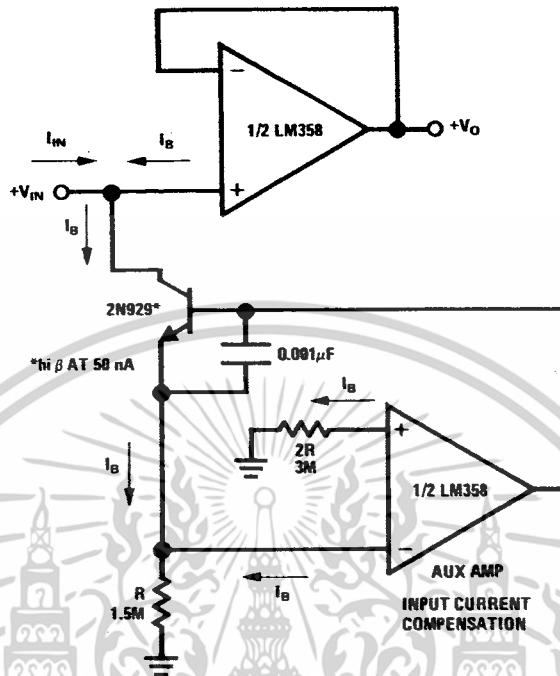
If  $R_1 = R_5$  &  $R_3 = R_4 = R_6 = R_7$  (CMRR depends on match)

$$V_O = 1 + \frac{2R_1}{R_2} (V_2 - V_1)$$

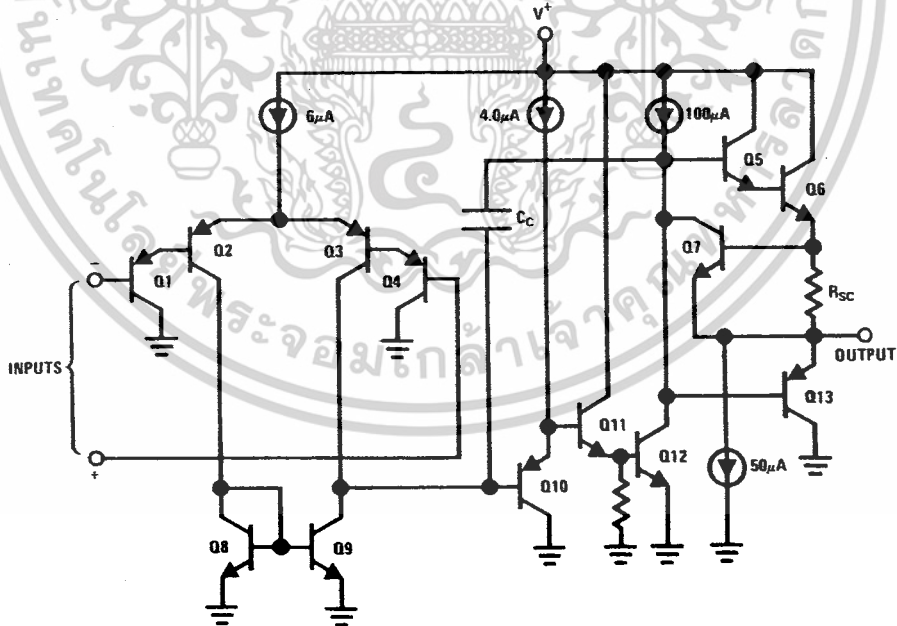
As shown  $V_O = 101 (V_2 - V_1)$

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

Using Symmetrical Amplifiers to Reduce Input Current (General Concept)



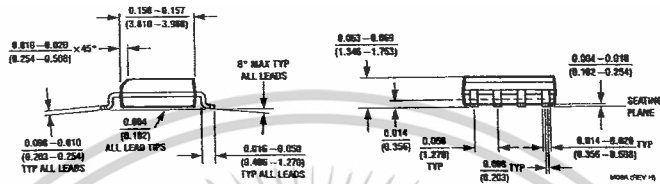
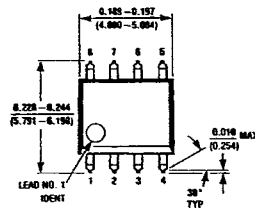
Schematic Diagram (Each Amplifier)



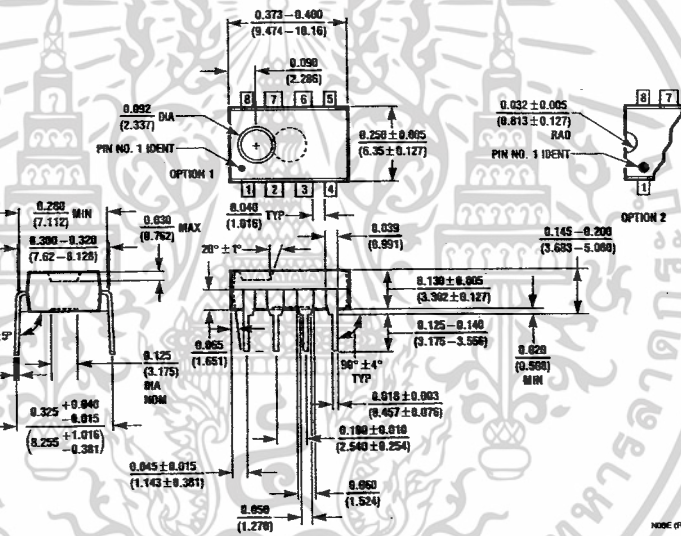
00778703



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

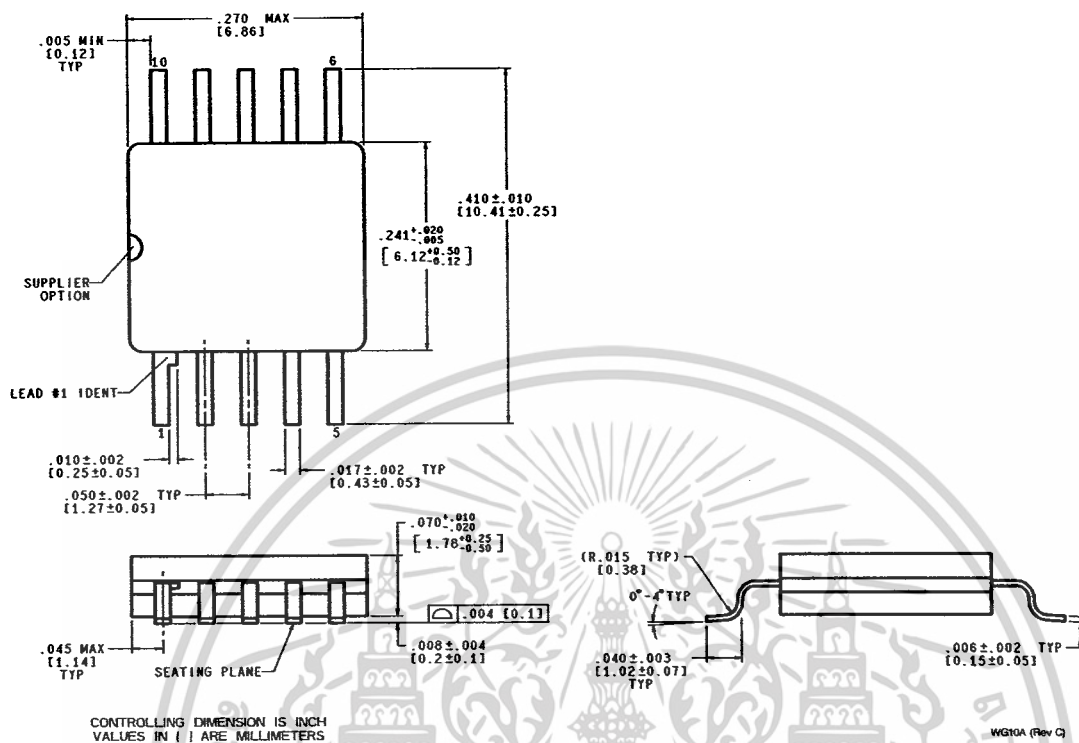


**SOIC Package (M)**  
NS Package Number M08A



**Molded Dip Package (N)**  
NS Package Number N08E

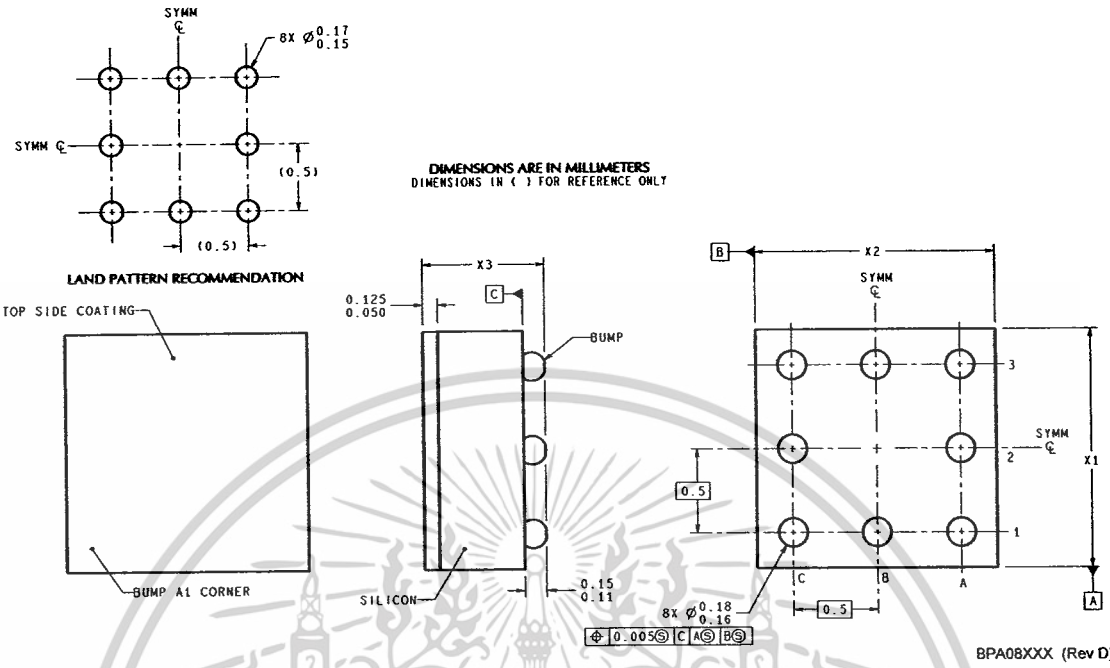
**Physical Dimensions** inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



Order Number LM158AWG/883  
NS Package Number WG10A

WG10A (Rev C)

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



- NOTES: UNLESS OTHERWISE SPECIFIED
1. EPOXY COATING
  2. 63Sn37Pb EUTECTIC BUMP
  3. RECOMMEND NON-SOLDER MASK DEFINED LANDING PAD.
  4. PIN A1 IS ESTABLISHED BY LOWER LEFT CORNER WITH RESPECT TO TEXT ORIENTATION REMAINING PINS ARE NUMBERED COUNTERCLOCKWISE.
  5. XXX IN DRAWING NUMBER REPRESENTS PACKAGE SIZE VARIATION WHERE X<sub>1</sub> IS PACKAGE WIDTH, X<sub>2</sub> IS PACKAGE LENGTH AND X<sub>3</sub> IS PACKAGE HEIGHT.
  6. REFERENCE JEDEC REGISTRATION MO-211, VARIATION BC.

**8-Bump micro SMD**  
**NS Package Number BPA08AAB**  
**X<sub>1</sub> = 1.285 X<sub>2</sub> = 1.285 X<sub>3</sub> = 0.850**