

เครื่องตรวจวัดคุณภาพของโรเตอร์แบบกรงกระรอก  
SQUIRREL-CAGE ROTOR QUALITY MEASUREMENT



เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 45873  
วัน, เดือน, ปี 19 ก.พ. 2546

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

ปฏิญญาพันธบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1923

# SQUIRREL-CAGE ROTOR QUALITY MEASUREMENT

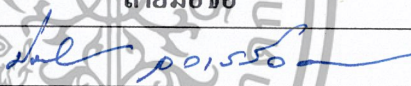


A THESIS SUBMITTED IN PATIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING  
DEPARTMENT OF INSTURMENTATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ เครื่องตรวจวัดคุณภาพของโรเตอร์แบบกรงกระรอก  
SQUIRREL-CAGE ROTOR QUALITY MEASUREMENT  
นักศึกษาผู้จัดทำ นายภัทรารุช จิตเลิศรังสี รหัสประจำตัว 42015395  
นายสมภพ น้อยประชา รหัสประจำตัว 42015407  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม  
ปีการศึกษา 2544

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
อาจารย์ เชื้อ นกอยู่	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันที่ 27 มีนาคม พ.ศ.2545  
สถานที่สอบ ณ ห้องสอบปริญญาานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชารับรองแล้ว



(ผศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ เครื่องตรวจวัดคุณภาพของโรเตอร์แบบกรงกระรอก  
SQUIRREL-CAGE ROTOR QUALITY MEASUREMENT  
นักศึกษาผู้จัดทำ นายภัทรารุช จิตเลิศรังสี  
นายสมภพ น้อยประชา  
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ เชื้อ นกอยู่  
ปีการศึกษา 2544

บทคัดย่อ

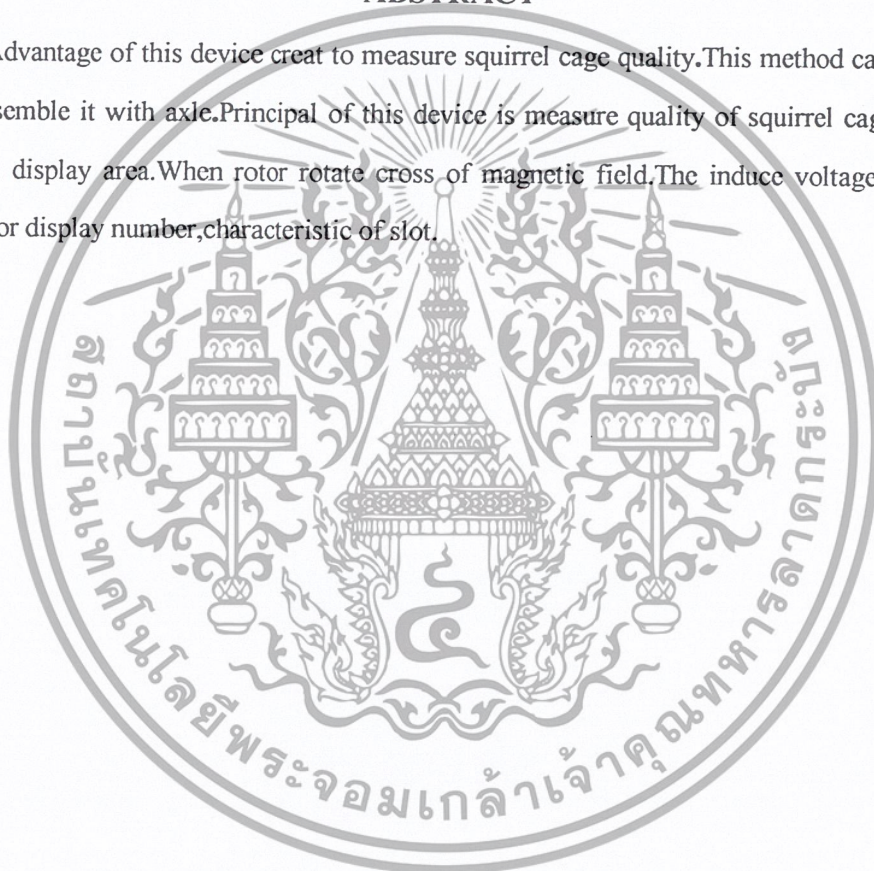
ปริญญานิพนธ์นี้ได้จัดทำเครื่องตรวจวัดคุณภาพของโรเตอร์แบบกรงกระรอกที่สร้างขึ้นนี้ ประโยชน์คือ เป็นเครื่องมือตรวจวัดคุณภาพของโรเตอร์แบบกรงกระรอกก่อนที่จะนำไปประกอบกับเฟลาซึ่งเป็นประโยชน์ในการตรวจสอบจำนวนซี่สลีตของโรเตอร์ สภาพของโรเตอร์ เมื่อผ่านกระบวนการผลิต ก่อนที่จะนำไปขึ้นรูปเป็นโรเตอร์ที่ใช้เป็นส่วนหนึ่งของโรเตอร์ ซึ่งอาศัยหลักของการเหนี่ยวนำโดยสร้างสนามแม่เหล็กขึ้นแล้ว จึงใช้โรเตอร์ที่ผลิตขึ้นเป็นตัวนำหมุนตัดสนามเหล็ก ซึ่งจะทำการวัดค่าที่ได้ไปแสดงผลที่ส่วนแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	Squirrel-Cage Rotor Quality Measurement
<b>Authors</b>	Mr.Pattawut Jitlertrungsri Mr.Somphop Noypracha
<b>Thesis Advisor</b>	Mr.Chuae Nokyoo
<b>Year</b>	2001

### ABSTRACT

Advantage of this device creat to measure squirrel cage quality.This method can measure before assemble it with axle.Principal of this device is measure quality of squirrel cage rotor to display at display area.When rotor rotate cross of magnetic field.The induce voltage of it can measure for display number,characteristic of slot.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาจารย์ เชื้อ นกอยู่ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำปรึกษา และคำแนะนำต่างๆ จนช่วยให้การทำปริญญานิพนธ์สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

นอกจากนี้ต้องขอขอบคุณ ภาคโทรคมนาคม ที่ให้ยืมห้องในการทำโปรเจค และ เพื่อนๆ ทุกคนที่ได้ให้การช่วยเหลือทั้งทางตรงและทางอ้อมเสมอมา คอยอยู่เคียงข้างเป็นเพื่อน ให้ยืมคอมพิวเตอร์ไว้พิมพ์งานในบางครั้ง และคอยให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายต้องขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และ พี่สาวที่ให้การสนับสนุนและคอยให้กำลังใจเสมอมา คุณความดีที่พึงมีจากการทำปริญญานิพนธ์ ฉบับนี้ ผู้เขียนขอบแต่ บิดา - มารดาอีกทั้ง ครู - อาจารย์ และผู้มีพระคุณทุกท่าน



คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	II
กิตติกรรมประกาศ .....	III
สารบัญ .....	IV
สารบัญตาราง .....	VII
สารบัญรูป .....	VIII

<b>บทที่ 1 บทนำ</b> .....	1
1.1 ความเป็นมาเครื่องตรวจวัดคุณภาพของ โรเตอร์แบบกรงกระรอก .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริิญาานิพนธ์ .....	1
1.3 ขอบเขตของปริิญาานิพนธ์ .....	1
1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน .....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	2
<b>บทที่ 2 โครงสร้างโรเตอร์แบบสโรว์เรจเจจ</b> .....	3
2.1 โรเตอร์แบบสโรว์เรจเจจ .....	3
<b>บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับปริิญาานิพนธ์</b> .....	6
3.1 หลักการของการเกิดแม่เหล็กไฟฟ้า .....	6
3.2 การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า .....	7
3.3 สนามแม่เหล็กหมุน .....	10
3.4 หลักของการเหนี่ยวนำร่วม .....	12
3.5 การเกิดสัญญาณเป็นกระแสสลับเกิดการหมุนของ โรเตอร์ตัดผ่านสนามแม่เหล็ก .....	15
3.6 กฎของเลนซ์ .....	15
<b>บทที่ 4 ไมโครคอนโทรลเลอร์</b> .....	16
4.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 .....	16
4.2 สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 .....	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใ้ใช้งานที่อาคารตีพิมพ์เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
4.2 สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 .....

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.3 ขาใช้งานต่างๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ มีดังนี้.....	18
4.4 รีจิสเตอร์สำหรับใช้งานทั่วไปใน MCS-51 .....	20
4.5 รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษใน MCS-51 .....	20
4.6 วงจรปรับระดับสัญญาณ (clumper circuit ) .....	23
<b>บทที่ 5 พอร์ตอนุกรม RS232</b> .....	<b>28</b>
5.1 คำจำกัดความต่างๆที่ควรรู้เกี่ยวกับการสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรมมีดังนี้ .....	28
5.2. พอร์ตอนุกรม (Serial Port).....	28
5.3 รูปแบบของเฟรมข้อมูล.....	29
<b>บทที่ 6 Microsoft Visual Basic</b> .....	<b>31</b>
6.1 คอมพิวเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับใช้งาน .....	31
6.2 ไฟล์ประเภทต่างๆ ที่มีในโปรเจกต์ของVB6.....	31
6.3 คอนโทรลที่สำคัญที่ใช้ในโครงการ.....	32
<b>บทที่ 7 Analog to Digital Converter(ADC)</b> .....	<b>40</b>
7.1 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล.....	40
7.2 หลักการทำงานของ A/D คอนเวอร์เตอร์.....	41
7.3 ความผิดพลาดของ A/D Converter.....	42
7.4 ซีตเชสซีฟแอบพล็อกซีเมชันA/D Converter .....	45
<b>บทที่ 8 เครื่องตรวจวัดคุณภาพของโรเตอร์แบบกรงกระรอก</b> .....	<b>48</b>
8.1 หลักการทำงานของเครื่องตรวจวัดคุณภาพของ โรเตอร์แบบกรงกระรอก .....	48
8.2 การทำงานของอุปกรณ์วัดสัญญาณ โรเตอร์.....	48
8.3 รูปแบบของ โปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ .....	49
8.4 อุปกรณ์แสดงผล.....	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 9 ผลการทดลอง .....	55
9.1 ลักษณะของรูปคลื่นที่วัดได้จากสโครปโดยวัดการเปลี่ยนแปลง โวลท์ที่จ่ายเข้าขดลวด และมอเตอร์กระแสตรงที่มอเตอร์คุณภาพดี.....	55
9.2 ลักษณะของรูปคลื่นที่วัดได้จากสโครปโดยวัดการเปลี่ยนแปลง โวลท์ที่จ่ายเข้าขดลวด และมอเตอร์กระแสตรงที่มอเตอร์คุณภาพไม่ดี.....	57
บทที่ 10 สรุปและวิจารณ์.....	65
10.1สรุป.....	65
10.2วิจารณ์.....	65
บรรณานุกรม.....	66
ภาคผนวก.....	67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 Serial Port Control Register.....	19
4.2 แสดงโหมดต่างๆของการรับส่งแบบอนุกรม.....	20
4.1 แสดงค่าในรีจิสเตอร์ TMOD ค่าต่างสำหรับ Timer0.....	21
4.4 แสดงค่าในรีจิสเตอร์ TMOD ค่าต่างสำหรับ Counter0.....	21
4.5 แสดงค่าในรีจิสเตอร์ TMOD ค่าต่างสำหรับ Timer1.....	21
4.6 แสดงค่าในรีจิสเตอร์ TMOD ค่าต่างสำหรับ Counter1.....	22
4.7 แสดงรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะPSW (Program Status Word) เข้าถึงข้อมูลได้ในระดับบิต.....	23
6.1 แสดงกลุ่มไฟโปรเจกต์.....	32
6.2 แสดงการตรวจเหตุการณ์.....	37



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แผ่นลามิเนทของโรเตอร์.....	3
2.2 แกน โรเตอร์ที่มีตัวนำแท่งอลูมิเนียมอัดอยู่ในสล๊อทและแหวนอลูมิเนียมพร้อมครีบบีบยึดติดอยู่... 4	4
2.3 แสดงให้เห็นถึง โรเตอร์แบบกรงกระรอกที่ประกอบด้วยแกน โรเตอร์ขดลวด (แท่งอลูมิเนียม) ครีบบ (ใบพัด) และเพลลา.....	4
2.4 แสดงให้เห็นเพลลาที่อัดแน่นอยู่กับแกน โรเตอร์.....	4
2.5 ตัวนำของโรเตอร์ที่ต่อกันเหมือนกับกรงกระรอก.....	5
3.1 สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบๆตัวนำเมื่อมีกระแสไหลผ่าน.....	6
3.2 แท่งเหล็กรูปตัวยูวางคว่ำเข้าหาแกนตัวนำ.....	7
3.3 ลักษณะเส้นแรงแม่เหล็กรวมรอบตัวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก.....	8
3.4 ตัวนำรูปทรงระบอกเคลื่อนที่เนื่องจากกระแส ไฟฟ้าเหนี่ยวนำ.....	9
3.5 สนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์สองเฟสชนิดสอง โพล.....	11
3.6 แสดงการเหนี่ยวนำร่วม.....	13
3.7 แสดงเสมือนการเกิดฟลักซ์เหนี่ยวนำระหว่างสเตเตอร์และ โรเตอร์แต่ละบาร์ที่ทดสอบ.....	14
3.8 แสดงตัวนำหมุนตัดสนามแม่เหล็ก.....	15
4.1 โครงสร้างภายในชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051.....	17
4.2 แสดงคุณสมบัติและลักษณะของสัญญาณปรับระดับ.....	24
4.3 เป็นวงต่อใช้งานจริง.....	24
4.1 แสดงการเปรียบเทียบการปรับสัญญาณ.....	25
5.1 แสดงการเชื่อมต่อสายสัญญาณระหว่าง CPU ของเครื่องคอมพิวเตอร์กับพอร์ตอนุกรม.....	27
6.1 แสดง Control ของ Visual Basic.....	35
6.2 แสดงการส่งเปลี่ยนของสายข้อมูล.....	38
7.1 แสดงสัญญาณของ A/D คอนเวอร์เตอร์.....	40
7.2 คุณสมบัติของA/D Converterแบบ4บิต.....	40
7.3 แสดงการตอบสนองของเวลาแปลงสัญญาณของA/D converter.....	41
7.4 ขบวนการแปลงสัญญาณดิจิทัลด้วยA/D converter.....	42
7.5 ข้อผิดพลาดของA/D converter.....	43
7.6 A/D คอนเวอร์เตอร์.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
7.7 กราฟเอาต์พุตของส่วน D/A ของ A/D Converter .....	45
7.8 คอนเวอร์เตอร์ซึ่งใช้เทคนิค SAR.....	46
7.9 กราฟของส่วน ระหว่างการแปลงสัญญาณ .....	46
8.1 แสดงการทำงานของเครื่องตรวจวัดคุณภาพของโรเตอร์แบบกรงกระรอก .....	48
8.2 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์วัดสัญญาณ โรเตอร์ .....	48
8.3 แสดงลำดับการทำงานของอุปกรณ์แปลง อนาล็อก เป็น ดิจิตอล .....	49
8.1 แสดงฟอร์ม visual basic .....	51
9.1 แสดงการต่อเครื่องวัดคุณภาพโรเตอร์แบบกรงกระรอกที่ใช้ในการทดลอง .....	55
9.2 ผลการทดลองที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 40 v ขดลวด 1.8 v โรเตอร์คุณภาพดี .....	55
9.3 ผลการทดลองที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 35 v ขดลวด 1.5 v โรเตอร์คุณภาพดี .....	56
9.4 ผลการทดลองที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 45 v ขดลวด 2.2 v โรเตอร์คุณภาพดี .....	56
9.5 ผลการทดลองที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 40 v ขดลวด 1.6 v โรเตอร์คุณภาพดี .....	57
9.6 ผลการทดลองที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 35 v ขดลวด 1.6 v โรเตอร์คุณภาพดี .....	57
9.7 ผลการทดลองที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 35 v ขดลวด 1.8 v โรเตอร์คุณภาพดี .....	58
9.8 ผลการทดลองที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 40 v ขดลวด 2.0 v โรเตอร์คุณภาพดี .....	58
9.9 ผลการทดลองที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 40 v ขดลวด 2.0 v โรเตอร์คุณภาพดี .....	59
9.10 ผลการทดลองที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 50 v ขดลวด 3.0 v โรเตอร์คุณภาพดี .....	59
9.11 ผลการทดลองที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 40 v ขดลวด 2.0 v โรเตอร์คุณภาพดี ไม่ดี โดยที่บาร์ภายใน โรเตอร์ขาด .....	60
9.12 ผลการทดลองที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 35 v ขดลวด 1.5 v โรเตอร์คุณภาพดี ไม่ดี โดยที่บาร์ภายใน โรเตอร์ขาด .....	60
9.13 ผลการทดลองที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 40 v ขดลวด 2.0 v โรเตอร์คุณภาพดี ไม่ดี โดยที่บาร์ภายใน โรเตอร์ขาดเมื่อ โรเตอร์หมุน 1 รอบภายใน 1 รอบ square wave .....	61
9.14 ผลการทดลองที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 45 v ขดลวด 2.0 v โรเตอร์คุณภาพดี ไม่ดี โดยที่บาร์ภายใน โรเตอร์ขาด .....	61
9.15 ผลการทดลองที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 40 v ขดลวด 2.5 v โรเตอร์คุณภาพดี ไม่ดี โดยที่บาร์ภายใน โรเตอร์ขาด .....	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
9.16 ผลการทดลองที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง45 v ขดลวด2.5 v โรเตอร์คุณภาพดีไม่ดี โดยที่บาร์ภายในโรเตอร์ขาด.....	62
9.17 แสดงการต่อร่วมกันของเครื่องวัดคุณภาพโรเตอร์แบบกรงกระรอกกับไมโครโปรเซสเซอร์และAnalog to Digital แสดงผลผ่านหน้าคอมพิวเตอร์โดยใช้ Visual Basic 6 โดยจ่ายไฟฟ้าให้ขดลวด3.0 Vจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ให้มอเตอร์ 45 V แสดงโรเตอร์คุณภาพดี.....	63
9.18 แสดงการต่อร่วมกันของเครื่องวัดคุณภาพโรเตอร์แบบกรงกระรอกกับไมโครโปรเซสเซอร์และAnalog to Digital แสดงผลผ่านหน้าคอมพิวเตอร์โดยใช้ Visual Basic 6 โดยจ่ายไฟฟ้าให้ขดลวด2.5 Vจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ให้มอเตอร์ 45 V แสดงโรเตอร์คุณภาพดี.....	63
9.19 แสดงการต่อร่วมกันของเครื่องวัดคุณภาพโรเตอร์แบบกรงกระรอกกับไมโครโปรเซสเซอร์และAnalog to Digital แสดงผลผ่านหน้าคอมพิวเตอร์โดยใช้ Visual Basic 6 โดยจ่ายไฟฟ้าให้ขดลวด3.0 Vจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ให้มอเตอร์ 45 V แสดงโรเตอร์คุณภาพไม่ดี.....	64
9.20 แสดงการต่อร่วมกันของเครื่องวัดคุณภาพโรเตอร์แบบกรงกระรอกกับไมโครโปรเซสเซอร์และAnalog to Digital แสดงผลผ่านหน้าคอมพิวเตอร์โดยใช้ Visual Basic 6 โดยจ่ายไฟฟ้าให้ขดลวด2.5 Vจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ให้มอเตอร์ 40 V แสดงโรเตอร์คุณภาพไม่ดี.....	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

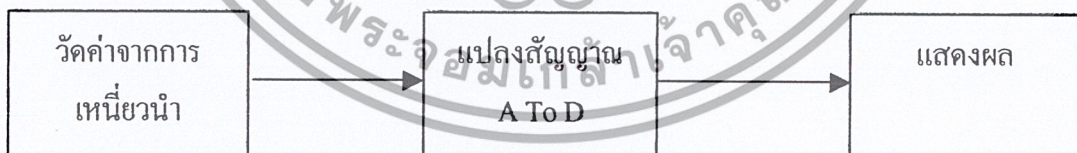
### 1.1 เครื่องตรวจวัดคุณภาพของโรเตอร์แบบกรงกระรอก

ปัจจุบันกระบวนการผลิตต่างๆ ในอุตสาหกรรมได้พัฒนาไปรวดเร็ว ซึ่งชิ้นส่วนต่างๆ ได้จากการผลิตจะมีจำนวนมากและใช้เวลาเล็กน้อย โดยก่อนที่ชิ้นส่วนที่ผลิตขึ้นก่อนที่จะนำไปประกอบเป็นงานหนึ่งชิ้น จะต้องผ่านการตรวจวัดคุณภาพเสียก่อน

โครงการเครื่องตรวจวัดคุณภาพของโรเตอร์กรงกระรอกนี้เป็นการตรวจวัดจำนวนสล็อตสภาพของโรเตอร์ว่าชี้ตัวนำภายใน หัก แตก จำนวนชี้สล็อตไม่ครบ ฯลฯ โดยใช้หลักการเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กแล้ว ทำการแสดงผลโดยใช้ ADC(analog to digital converter) และส่งไปยังส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์รวบรวมเป็นชุดในช่วงเวลาหนึ่ง แล้วจึงส่งให้กับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรมมาตรฐาน RS-232 รับข้อมูลเพื่อแสดงผลเป็นกราฟ เพื่อสามารถเห็นภาพทางหน้าจอคอมพิวเตอร์ ซึ่งในอีกกรณีอาจจะดูผลการวัดได้โดยใช้ Scope แทนก็ได้เช่นกัน

ประโยชน์ในการใช้งาน จะใช้ในการตรวจเช็คคุณภาพของโรเตอร์ก่อนจะนำไปผลิตเป็นชิ้นงานเป็นตัวแกน โรเตอร์ที่ประกอบกับเพลาแล้ว เพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาด ซึ่งสามารถทำให้เราทราบข้อผิดพลาดในการผลิต และนำไปหาสาเหตุเพื่อปรับปรุงในการผลิตต่อไป

บล็อกไดอะแกรมการทำงาน



### 1.2 วัตถุประสงค์ของปฏิญานិพนธ์

1. เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการเกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำมาประยุกต์ใช้งาน
2. เพื่อใช้เป็นเครื่องมือวัดคุณภาพ โรเตอร์แบบกรงกระรอก
3. เพื่อนำ MCS – 51 มาประยุกต์ใช้งาน
4. เพื่อสร้างเครื่องมือที่ใช้วัดและทดสอบ โรเตอร์ในโรงงานอุตสาหกรรม

#### 5. เพื่อศึกษาโปรแกรม Visual Basic นำมาใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. สร้างเครื่องมือวัดคุณภาพโรเตอร์แบบกรงกระรอก
2. สร้างอุปกรณ์เชื่อมต่อการแสดงผลเข้ากับคอมพิวเตอร์
3. แสดงสัญญาณที่ได้จากหน้าจอคอมพิวเตอร์

### 1.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาทฤษฎีการทำงานของมอเตอร์กระแสสลับที่โรเตอร์เป็นแบบกรงกระรอก
2. ศึกษาโครงสร้างกระบวนการผลิตของโรเตอร์แบบกรงกระรอก
3. ศึกษาการทำงานของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล และ เลือกใช้งานวงจรแปลง สัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล
4. ศึกษาการเขียน โปรแกรม Visual Basic
5. ศึกษาไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51
6. ออกแบบ ชุดการสร้างสนามสนามแม่เหล็ก และ วงจรขยายสัญญาณ
7. ออกแบบ และเขียน โปรแกรม MSC-51 Visual Basic เพื่อต่อไปแสดงผล
8. นำผลที่ออกแบบมาสร้างทั้งในส่วนทั้งในส่วนฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์
9. ทดสอบการทำงานของตัววัดโรเตอร์ให้เอาท์พุตแสดงเป็นสัญญาณชานัน์
10. ทดสอบการทำงานในการแสดงผลผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์
11. ทดสอบการทำงานการต่อทำงานร่วมกันทั้งหมด และแก้ไขส่วนผิดพลาดที่เกิดขึ้นตลอดจนทำการปรับปรุงการทำงานของเครื่องวัดคุณภาพโรเตอร์แบบกรงกระรอก
12. สรุปผลการทดลองและปัญหาในการทำงาน

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้เราทราบและเข้าใจในการนำ MCS – 51 และ Visual Basic ไปประยุกต์ใช้งาน
2. ทำให้เรารู้จักการออกแบบวงจรขยายสัญญาณ
3. ทำให้ได้เครื่องตรวจวัดคุณภาพของ โรเตอร์แบบกรงกระรอก
4. สามารถนำโครงการนี้ไปพัฒนาให้ดีขึ้นและนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป
5. รู้จักนำเอาทฤษฎีทางไฟฟ้ามาประยุกต์เป็นแนวทางที่จะพัฒนาความรู้ไปใช้งานในส่วนของโรงงานอุตสาหกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# โครงสร้างโรเตอร์แบบสไลด์เวลดอก

### 2.1 โรเตอร์แบบสไลด์เวลดอก

เป็นโรเตอร์ที่ใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับหรือมอเตอร์ที่ทำงานด้วยหลักการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้าที่เรียกว่า อินдукชันมอเตอร์ แกนโรเตอร์จะทำด้วยแผ่นเหล็กบางๆที่เราจะเรียกว่า แผ่นเหล็กลามิเนต (laminated sheet steel) เช่นเดียวกับแกนขดลวดของสเตเตอร์ มีลักษณะกลมเพราะที่ส่วนผิวภายนอกให้เป็นร่องโดยรอบที่เรียกว่า สล็อต ตรงกลางแผ่นจะถูกเจาะรูสำหรับสอดเพลابرินเวอร์ระหว่างสล็อตรอบๆ ขอบกับรูกลางแผ่นจะเจาะเป็นรูไว้เพื่อช่วยในการระบายความร้อน และให้โรเตอร์มีน้ำหนักเบา ดังรูปที่ 2.1 เมื่อนำเอาแผ่นลามิเนตเหล่านี้มาอัดเข้าด้วยกัน จะได้แกนโรเตอร์



รูปที่ 2.1 แผ่นลามิเนตของโรเตอร์

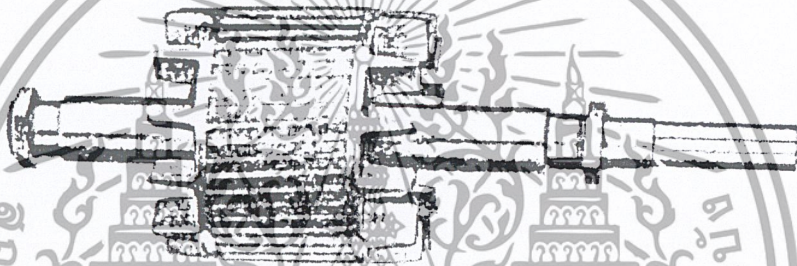
ขดลวดที่อัดเข้าไปในแกนสล็อตของแกนโรเตอร์นั้นแทนที่จะทำด้วยลวดทองแดงเส้นเล็กๆ ดังเช่นกรณีของขดลวดสเตเตอร์ แต่จะทำด้วยแท่งอลูมิเนียมหล่อ อัดเข้าไปในสล็อตให้แน่นแล้วใช้ควางแหวนที่มีครีบบนออกมาเข้ากับปลายแต่ละข้างของแท่งอลูมิเนียมที่โผล่ออกมาจากสล็อต เพื่อให้แท่งอลูมิเนียมเหล่านั้นครบวงจรทางไฟฟ้าหรือไม่ก็นำเอาแกนโรเตอร์เข้าไปไว้ในแบบพิมพ์ (Mold) แล้วฉีดอลูมิเนียมเหลวเข้าไปจะได้อลูมิเนียมอัดแน่นอยู่ในสล็อตจนเต็มและมีครีบบนออกไปทั้งสองข้างของแกนโรเตอร์ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แกนโรเตอร์ที่มีตัวนำแท่งอลูมิเนียมอัดอยู่ในสล๊อทและแหวนอลูมิเนียมพร้อมครีบบีบอัด

ครีบบีบที่ยื่นออกไปเหล่านี้เรียกว่าไบพัด ใช้สำหรับระบายความร้อน และเมื่ออัดเข้าไปที่รูกลางของแกนแล้ว จะได้แกนโรเตอร์ดังรูปที่ 2.3 และ รูปที่ 2.4

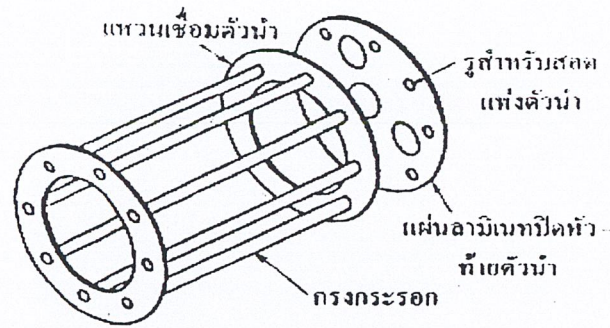


รูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นโรเตอร์แบบกรงกระรอกที่ประกอบด้วยแกนโรเตอร์ขดลวด (แท่งอลูมิเนียม) ครีบบีบ (ไบพัด) และเพลลา



รูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นเพลลาที่อัดแน่นอยู่กับแกนโรเตอร์

สาเหตุที่เรียกแกนโรเตอร์แบบนี้ว่า แกนแบบกรงกระรอกเพราะว่า ถ้านำเอาแท่งอลูมิเนียมที่อัดอยู่ในสล๊อทของแกนโรเตอร์ออกมาประกอบร่วมกับแผ่นวงแหวนที่บีบอัดหัวท้าย จะได้ตัวนำที่มีโครงสร้างเหมือนกับกรงกระรอก หรือถ้านำเอาแกนโรเตอร์ออกจากโรเตอร์ ก็จะเหลือตัวนำทั้งหมดที่มีโครงสร้างเหมือนกับกรงกระรอกดังรูปที่ 2.5 ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ค้ำว้ของโรเตอร์ที่ต่อกันเหมือนกับกรงกระรอก

จากรูปที่ 2.2 จะเห็นว่า สล๊อทจะมีลักษณะทำมุมเอียงกับแกนเพลลาของโรเตอร์แต่บางแบบนั้น สล๊อทมีลักษณะเป็นเส้นตรงขนานกับเพลลา ข้อดีของโรเตอร์ที่มีสล๊อททำมุมเอียงกับเพลลา (Skewed) ก็คือเมื่อมอเตอร์ทำงานจะหมุนเรียบและเงียบกว่าแบบที่มีสล๊อทขนาน



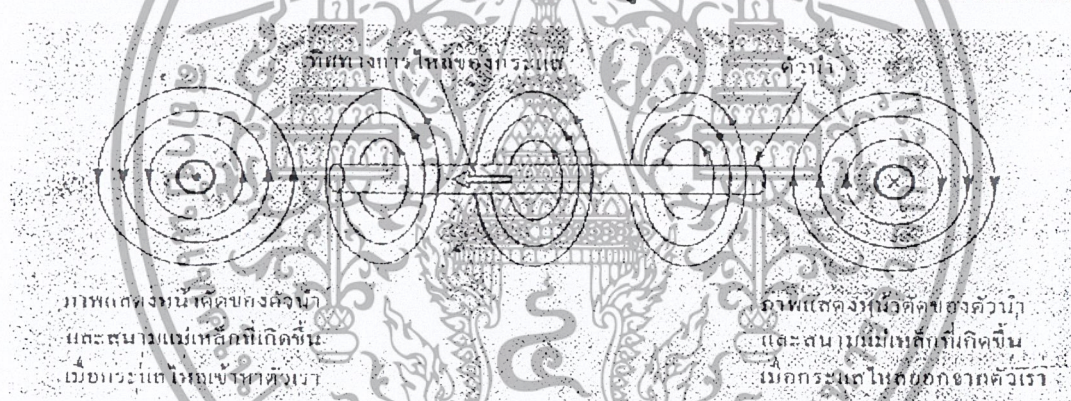
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับปรีญญานิพนธ์

### 3.1 หลักการของการเกิดแม่เหล็กไฟฟ้า

เมื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับตัวนำจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นรอบๆตัวนำสนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นนี้เกิดจากการเคลื่อนตัวของอิเล็กตรอนที่เคลื่อนไปในสายตัวนำซึ่งจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนแม่เหล็ก แรงเคลื่อนแม่เหล็กจะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวดและจำนวนกระแสที่ไหลในแต่ละขดลวดถ้าแรงเคลื่อนของแม่เหล็กมากจะทำให้มีความเข้มของสนามแม่เหล็กมากขึ้นตามไปด้วย(ในกรณีที่ความยาวคงที่) ขณะเดียวกันหากค่าความเข้มสนามแม่เหล็กมากก็จะทำให้ค่าฟลักซ์แม่เหล็กมีค่ามากตามไปด้วย นอกจากค่าฟลักซ์แม่เหล็กจะขึ้นอยู่กับค่าความเข้มของสนามแม่เหล็กแล้วยังแปรผันตามค่าความซึมซาบของวัตถุที่มาทำเป็นสารแม่เหล็กอีกด้วย ขั้วของตัวของแม่เหล็กไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับการไหลของกระแสไฟฟ้าในขดลวด



รูปที่ 3.1 สนามแม่เหล็กที่เกิดขึ้นรอบๆตัวนำเมื่อมีกระแสไหลผ่าน

สมการแรงเคลื่อนแม่เหล็ก

$$\mathcal{E}_m = NI \dots \dots \dots (3.1)$$

โดยที่

$$\mathcal{E}_m = \text{แรงเคลื่อนแม่เหล็ก (AT)}$$

$$N = \text{จำนวนรอบของขดลวด (T)}$$

$$I = \text{กระแสไฟฟ้า (A)}$$

สมการความเข้มสนามแม่เหล็ก

$$H = \mathcal{E}_m/L \dots \dots \dots (3.2)$$

โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
H = ความเข้มสนามแม่เหล็ก (AT/m)  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$H$  = ความเข้มสนามแม่เหล็ก (AT/m)

$L$  = ความยาวของลวด(m)

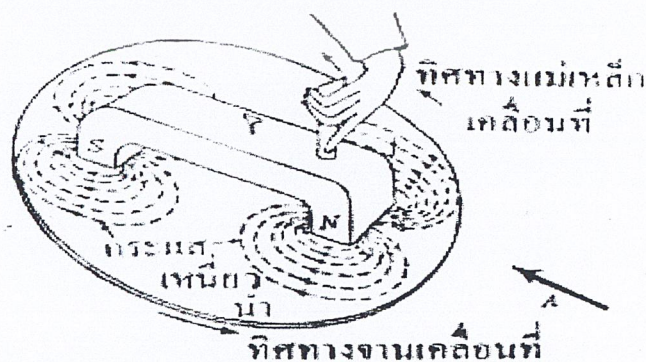
ดังนั้นเมื่อแทนค่าสมการที่ (3.1) ลงไป สมการ(3.2) จะได้สมการเป็น

$$H = (NI) / L \dots \dots \dots (3.3)$$

### 3.2 การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า

หลักการของการเกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าคือการที่ตัวนำ เคลื่อนที่ตัดสนามแม่เหล็ก จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าและทำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำอีกกรณีหนึ่งคือ การที่สนามแม่เหล็กเคลื่อนที่ตัดตัวนำที่อยู่กับที่ก็จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำเช่น เดียวกันกับกรณีแรก จะเห็นได้ว่า การเกิดแรงเคลื่อนนั้นมีความสัมพันธ์กันระหว่างตัวนำและสนามแม่เหล็ก ถ้าเราให้สนามแม่เหล็กเกิดจากส่วนที่อยู่กับที่คือ สเตเตอร์ แล้วตัวนำก็คือ โรเตอร์ ถ้าเราหมุน โรเตอร์ ตัดสนามแม่เหล็กเพื่อให้ตัวนำเคลื่อนที่ตัดกับ เส้นแรงของสนามแม่เหล็กก็จะเกิดการเหนี่ยวนำ ทำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำ โดยแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำจะมากหรือน้อย ขึ้นอยู่กับฟลักซ์แม่เหล็กนั่นเอง

เมื่อให้ส่วนเคลื่อนที่มีลักษณะเป็นจานตัวนำกลมบาง นำเอาแท่งเหล็กรูปตัวยูวางคว่ำให้ ขั้วแม่เหล็ก N และ S หนีเข้าหาจานตัวนำที่ทำด้วยแผ่นเหล็กหรือทองแดงหรืออลูมิเนียม ดัง รูปที่ 2.21 โดยให้จานตัวนำและแท่งเหล็กมีศูนย์กลางร่วมกัน เส้นแรงแม่เหล็กจากขั้ว N จะพุ่งหาจาน ตัวนำและกลับเข้าหาขั้ว S เมื่อแท่งแม่เหล็กและจานตัวนำอยู่หนึ่งกับที่ จะไม่เกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นที่จานตัวนำ ถึงแม้ว่าจะมีเส้นแรงแม่เหล็กพุ่งผ่านจานตัวนำก็ตาม เพราะเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้ว N จะพุ่งหาจานตัวนำและกลับเข้าหาขั้ว S เมื่อแท่งแม่เหล็กและจานตัวนำอยู่หนึ่งกับที่ จะไม่เกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นที่จานตัวนำ ถึงแม้ว่าจะมีเส้นแรงแม่เหล็กพุ่งผ่านจานตัวนำก็ตาม เพราะเส้นแรงแม่เหล็กและจานตัวนำไม่มีการเคลื่อนที่



รูปที่ 3.2 แท่งเหล็กรูปตัวยูวางคว่ำเข้าหาจานตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าให้งานตัวนำอยู่กับที่แล้วให้แท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกา ในกรณีนี้ก็เหมือนกับให้แท่งแม่เหล็กอยู่กับที่แล้วให้งานตัวนำเคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกา ก็ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กขึ้นที่งานตัวนำ จะเกิดทั้งแรงเคลื่อนไฟฟ้าเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำทิศทางการเคลื่อนที่ของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำหาโดยใช้กฎมือขวาของเฟลมมิ่ง จะได้ว่าทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N จะไหลจากขอบงานใต้ขั้วแม่เหล็ก N ไปขอบงานตัวนำเมื่อมองจากจุด A เข้าหางานตัวนำและก็จะพบว่าทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก S จะไหลจากขอบงานตัวนำเข้าสู่ภายใต้ขั้วแม่เหล็ก S ทิศทางการไหลของกระแสเหนี่ยวนำได้โดยใช้กฎมือขวาของเฟลมมิ่ง

จากทิศทางการไหลของกระแสเหนี่ยวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็กแต่ละขั้วจะพิจารณาต่อไปอีกว่าที่ขั้วแม่เหล็ก N เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากกระแสเหนี่ยวนำด้านซ้ายมือจะเสริมกับเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งออกมาจากขั้วแม่เหล็ก N และเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำด้านขวามือ จะหักล้างกับเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งออกมาจากขั้วแม่เหล็ก N ที่ขั้วแม่เหล็ก S เส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำด้านซ้ายมือ จะหักล้างกับเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งเข้าหาขั้วแม่เหล็ก S และในส่วนเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำด้านขวามือจะเสริมกับเส้นแรงแม่เหล็กที่พุ่งเข้าหาขั้วแม่เหล็ก S ทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นแรงแม่เหล็ก ที่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำส่วนนี้หาได้จากกฎมือขวา (Right hand rule) ดังนั้นลักษณะเป็นเส้นแรงแม่เหล็ก รวบรวมตัวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N จะเห็นได้จากรูป 3.3 ซึ่งเป็นเส้นแรงแม่เหล็กรอบตัวนำที่งานตัวนำภายใต้ขั้ว



รูปที่ 3.3 ลักษณะเส้นแรงแม่เหล็กรวบรวมตัวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N

แม่เหล็ก N นี้ เกิดจากเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดจากกระแสเหนี่ยวนำและเส้นแรงแม่เหล็กจากขั้วของแม่เหล็ก N เมื่อเป็นเช่นนี้จะทำให้เกิดแรงขึ้นที่ตัวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N และมีทิศทางการเคลื่อนที่ไปทางขวามือดังรูป 3.3 หรืองานตัวนำจะมีทิศทางการเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกานั้นก็คือ งานตัวนำจะเคลื่อนที่ไปทางเดียวกับทิศทางการเคลื่อนที่ของแม่เหล็กที่กำหนดไว้ครั้งแรก ซึ่งทิศทางการเคลื่อนที่ของงานตัวนำนี้ก็หาได้โดยใช้กฎมือซ้ายของเฟลมมิ่ง และงานตัวนำดังรูป 3.2 ซึ่งเป็น

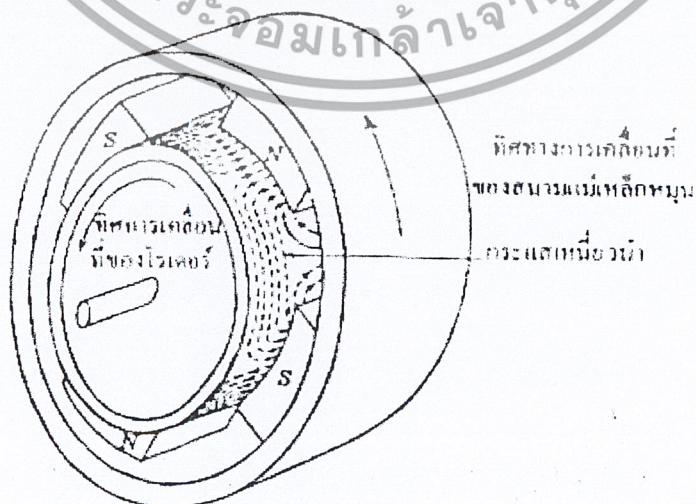
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนเคลื่อนที่นี้จะเคลื่อนที่หรือหมุนด้วยความเร็วที่น้อยกว่าความเร็วของแท่งแม่เหล็กเคลื่อนที่หรือแท่งแม่เหล็กหมุนเสมอ

เมื่อให้ส่วนเคลื่อนที่เป็นแกนทรงกระบอก จากรูปที่ 3.4 ส่วนเคลื่อนที่เป็นตัวนำรูปทรงกระบอก จะอยู่ภายใน โครงเหล็กทรงกระบอกที่มีขั้วแม่เหล็ก N และ S ยึดติดอยู่ 2 คู่หรือ มีขนาด 4 ขั้วแม่เหล็กสมมุติว่าถ้าทำให้ตัวนำของทรงกระบอกอยู่กับที่แล้วขั้วแม่เหล็กที่ยึดติดอยู่กับส่วน โครงเหล็กเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกา ก็เหมือนกับว่าถ้าขั้วแม่เหล็กอยู่กับที่แล้วทำให้ตัวนำทรงกระบอกเคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกา จะเกิดการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าขึ้นที่ตัวนำ ทิศทางการเคลื่อนที่หรือการไหลของกระแสเหนี่ยวนำหาได้โดยใช้กฎมือขวาของเฟลมมิ่ง ซึ่งจะได้ว่ากระแสเหนี่ยวนำภายใต้ขั้วของแม่เหล็ก N จะไหลจากขอบแกนทรงกระบอกเข้าสู่ภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N และกระแสเหนี่ยวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก S จะไหลจากแกนทรงกระบอกผ่านภายใต้ขั้วแม่เหล็ก S ไปยังขอบแกนซ้ายมือด้านนอก

ดังนั้นทิศทางของกระแสเหนี่ยวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก N ทั้งสองขั้วนี้จะมีทิศทางเหมือนกันคือไหลจากขอบด้านนอกของแกนตัวนำซ้ายมือ ผ่านใต้ขั้ว N ไปสู่ขอบแกนตัวนำขวามือ และทิศทางของกระแสเหนี่ยวนำภายใต้ขั้วแม่เหล็ก S ทั้งสองขั้วก็จะมีทิศทางเหมือนกันคือไหลจากขอบแกนตัวนำด้านขวามือ ภายใต้ขั้ว S ออกมาสู่ขอบแกนตัวนำด้านซ้ายมือ

เมื่อเกิดกระแสเหนี่ยวนำขึ้นภายใต้ขั้วแม่เหล็กแล้ว จะทำให้แกนตัวนำทรงกระบอกเคลื่อนที่หมุนไป ซึ่งทิศทางการเคลื่อนที่หมุนไปของแกนตัวนำทรงกระบอกนี้หาโดยใช้กฎมือซ้ายของ เฟลมมิ่ง คือคางนิ้วหัวแม่มือ นิ้วชี้ และนิ้วกลางให้ตั้งฉากซึ่งกันและกัน เมื่อให้นิ้วชี้แทนการเคลื่อนที่ของเส้นแรงแม่เหล็ก N หรือ S แล้วนิ้วหัวแม่มือแทนการเคลื่อนที่ของแกนตัวนำทรงกระบอกที่เคลื่อนที่ไป ดังนั้นจะทำให้แกนตัวนำทรงกระบอก ตามรูป 3.4 หมุนทวนเข็มนาฬิกาตามทิศทางการเคลื่อนที่ของขั้วแม่เหล็กที่กำหนดไว้ครั้งแรก



รูปที่ 3.4 ตัวนำรูปทรงกระบอกเคลื่อนที่เนื่องจากกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการความหนาแน่นฟลักซ์แม่เหล็ก

$$B = \mu H \dots\dots\dots(3.4)$$

โดยที่

$B$  = ความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็ก (Tesla)

$\mu$  = ความซึมซาบได้ของวัตถุ (H/m)

เมื่อแทนค่าสมการ (3.3) ในสมการ(3.4) จะได้สมการ

$$B = \mu\{NI/L\} \dots\dots\dots(3.5)$$

สมการฟลักซ์แม่เหล็ก

$$\phi = BA \dots\dots\dots(3.6)$$

โดยที่

$\phi$  = ฟลักซ์แม่เหล็กหรือปริมาณเส้นแรงแม่เหล็ก (Wb)

$A$  = พื้นที่หน้าตัด (m<sup>2</sup>)

เมื่อแทนค่าสมการ (3.5) ในสมการ(3.6) จะได้สมการ

$$\phi = \{ \mu NI/L \} A \dots\dots\dots(3.7)$$

จากสมการ(3.7) การเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าจะแปรผันตามจำนวนรอบกระแสไฟฟ้าในขดลวดและพื้นที่หน้าตัดของทางเดินเส้นแรงแม่เหล็กแต่แปรผกผันกับความยาวขดลวด

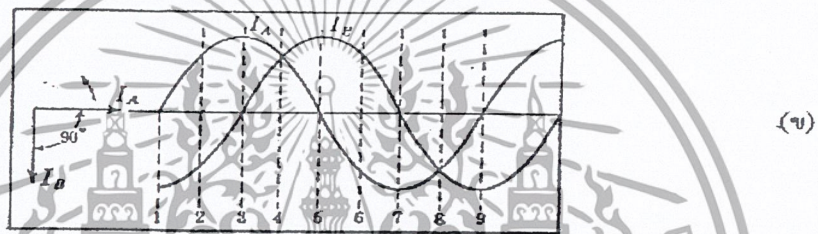
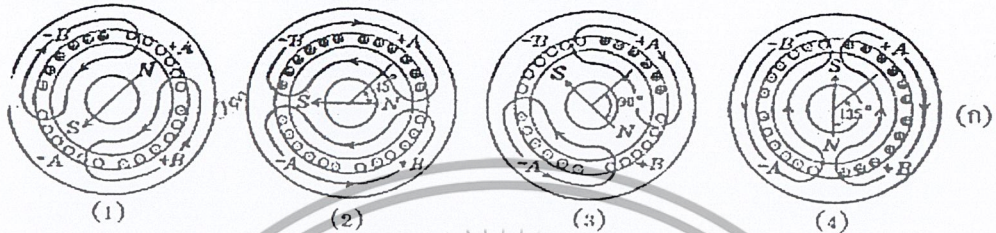
### 3.3 สนามแม่เหล็กหมุน (Revoling field หรือ Rotaring field)

สนามแม่เหล็กหมุนในมอเตอร์สองเฟส ก่อนอื่นต้องทำความเข้าใจให้ดีกว่านั้นว่ามอเตอร์หนึ่งเฟส จะมีขดลวดสนามแม่เหล็กสเตเตอร์หนึ่งชุด ต่อขั้วแม่เหล็กหนึ่งขั้ว ในมอเตอร์สองเฟส จะมีขดลวดสนามแม่เหล็กสเตเตอร์สองชุดต่อขั้วแม่เหล็กหนึ่งขั้ว และมอเตอร์สามเฟสจะมีขดลวดสนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์สามชุดต่อขั้วแม่เหล็กหนึ่งขั้ว

ดังนั้นในกรณีที่กำลังกล่าวอยู่นี้ เป็นมอเตอร์สองเฟส ถ้าเป็นมอเตอร์ชนิดสองขั้วแม่เหล็กหรือสองโพล คือมีขั้ว N หนึ่งขั้วและขั้ว S หนึ่งขั้ว ขั้ว N ก็จะมีขดลวดสนามแม่เหล็ก 2 ชุด และที่ขั้ว S จะมีขดลวดสนามแม่เหล็ก 2 ชุดเช่นเดียวกัน โดยที่ขดลวดแต่ละชุดพันห่างกัน 90 องศาไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้เกิดความเข้าใจได้ง่าย จะกล่าวถึงขดลวดสเตเตอร์ชนิดที่พันลงในสล็อต หนึ่งคอยล์ที่เรียกว่า Single layer ตามรูป 3.5 ก ดังนั้นขดลวดทั้งชุด ก และชุด ข ภายใต้ ขั้วแม่เหล็ก N หรือขั้วแม่เหล็ก S ดังนั้นจะพันลงในสล็อตให้ห่างกัน 90 องศาไฟฟ้า หรือที่เรียกว่า แรงดันไฟฟ้าเฟสที่หนึ่งจะนำหน้าแรงดันไฟฟ้าเฟสที่สองเป็นมุม 90 องศาไฟฟ้า



รูปที่ 3.5 สนามแม่เหล็กหมุนของมอเตอร์สองเฟสชนิดสอง โพล

เพื่อให้เกิดความเข้าใจได้ง่าย จะกล่าวถึงขดลวดสเตเตอร์ชนิดที่พันลงในสล็อต หนึ่งคอยล์ที่เรียกว่า Single layer ตามรูป 3.5 ก ดังนั้นขดลวดทั้งชุด ก และชุด ข ภายใต้ ขั้วแม่เหล็ก N หรือขั้วแม่เหล็ก S ดังนั้นจะพันลงในสล็อตให้ห่างกัน 90 องศาไฟฟ้า หรือที่เรียกว่า แรงดันไฟฟ้าเฟสที่หนึ่งจะนำหน้าแรงดันไฟฟ้าเฟสที่สองเป็นมุม 90 องศาไฟฟ้า

จากรูป 3.5 ก ขดลวดชุด A หรือเฟส A มีต้นกับปลายคือ +A และ -A ขดลวดชุด B หรือเฟส B มีต้นกับปลายคือ +B และ -B สมมติให้กระแสไฟจากระบบสองเฟสที่เป็นบวกไหลเข้าขดลวด ด้าน + ออกทางด้าน - และกระแสไฟที่เป็นลบเข้าขดลวดทางด้าน - ออกทางด้าน + สำหรับรูป 3.1 ข เป็นลักษณะไฟสองเฟสคือ กระแสไฟเฟส A ia และกระแสไฟเฟส B ib กระแสไฟเฟส ia จะเกิดการล้าหลังกระแสไฟ ia อยู่ 90 องศาไฟฟ้า เมื่อป้อนกระแสไฟฟ้า ia และ ib เข้าขดลวดเฟส A และเฟส B จะเกิดผลดังนี้

ณ จุดที่ 1 ในรูป 3.5 ก และ รูป 3.5 ข กระแส ia มีค่าเป็นศูนย์ กระแส ib มีค่าเป็นลบสูงสุด (-ib) ดังนั้นกระแส i จะไหลเข้าขดลวดเฟส B ที่ด้าน -B และไหลออกทางด้าน +B เมื่อทราบ ทิศทางของกระแสไหลในขดลวดแต่ละเฟสแล้ว ก็หาทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กเคลื่อนที่ได้โดย

ใช้มือขวา กำขดลวดแต่ละขดละด้าน ให้หัวแม่มือแทนทิศทางกรไหลของกระแส เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้โดยไม่ผิดเงื่อนไขใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนนิวที่ทั้งสี่ที่เหลือนั้นจะแทนทิศทางการเคลื่อนที่ของเส้นแรง ดังนั้นเส้นแรงแม่เหล็ก ที่เกิดขึ้นจากขดลวด B จะเคลื่อนที่ทะแยงลงจากขวามือ ไปสู่ซ้ายมือ หรือจากด้าน A ไปสู่ด้าน  $-A$  ของขดลวด A

ณ จุดที่ 2 กระแส  $ia$  จะมีค่าเป็นบวก จึงไหลเข้าขดลวดเฟส A ที่ด้าน  $+A$  และไหลออกที่ด้าน  $A-$  กระแส  $ib$  จะมีค่าเป็นลบ จึงไหลเข้าขดลวดเฟส B ที่ด้าน  $B-$  และไหลออกที่ด้าน  $+B$  เมื่อใช้มือขวาหาทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดทั้งสองเฟสแล้ว ก็จะได้ว่าเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดเฟส A ที่ด้าน  $+A$  และเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดเฟส B ที่ด้าน  $-B$  จะมีทิศทางการเคลื่อนที่เสริมกัน และเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดเฟส A ที่ด้าน  $-A$  และเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดเฟส B ที่ด้าน  $+B$  จะมีทิศทางการเคลื่อนที่เสริมกันทำให้เส้นแรงแม่เหล็กรวมเคลื่อนที่ในแนวระดับจากขวาไปซ้ายมือ

ณ จุดที่ 3 กระแส  $ia$  มีค่าเป็นบวก จึงไหลเข้าขดลวดเฟส A ที่ด้าน  $+A$  และไหลออกที่ด้าน  $-A$  กระแส  $ib$  จะมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นขดลวดเฟส B จึงไม่มีกระแสไฟไหลเข้า เมื่อใช้มือขวาหาทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กเคลื่อนที่พบว่าเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจะเคลื่อนที่ทะแยงขึ้นทางขวามือ ไปสู่ซ้ายมือ

ณ จุดที่ 4 กระแส  $ia$  และ  $ib$  เป็นบวก จึงไหลเข้าขดลวดเฟส A และเฟส B ที่ด้าน  $+A$  และด้าน  $+B$  และไหลออกทางด้าน  $-A$  และด้าน  $-B$  ตามลำดับ เมื่อใช้กฎไขควงมือขวาหาทิศทางของเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดทั้ง 2 เฟส จะพบว่าเส้นแรงแม่เหล็กที่เกิดขึ้นจากขดลวดเฟส A และ เฟส B มีทิศทางการเคลื่อนที่เสริมกัน

### 3.4 หลักของการเหนี่ยวนำร่วม

การเหนี่ยวนำร่วม (Mutual inductance) การไหลของประจุหรือกระแส สามารถทำให้เกิด สนามแม่เหล็ก ถ้ากระแสแปรเปลี่ยนตามเวลาไหลผ่านขดลวดมีความเหนี่ยวนำ  $L_1$  ดังนั้นส่วนของฟลักซ์แม่เหล็กแปรเปลี่ยนตามเวลา เหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันตามกฎของฟาราเดย์ (Faraday's law) ถ้าหากส่วนของฟลักซ์แปรเปลี่ยนตามเวลาที่เกิดขึ้นในตัวเหนี่ยวนำ  $L_1$  (inductor) เชื่อมต่อเข้ากับขดลวดอื่นๆ ซึ่งมีความเหนี่ยวนำ  $L_2$  ทำให้แรงดันถูกเหนี่ยวนำคคร่อมที่ขั้ว  $L_2$  เมื่อขดลวดจำนวนสองขดหรือมากกว่าเชื่อมต่อกัน โดยสนามแม่เหล็กร่วม (mutual magnetic field) เกิดขึ้นจริงและวงจรไฟฟ้าที่มีความเหนี่ยวนำร่วมจึงหมายถึง วงจรที่เชื่อมต่อกันโดยสนามแม่เหล็ก

ความเหนี่ยวนำร่วม (Mutual inductance) เนื่องจากสนามแม่เหล็กเปลี่ยนแปลงทำให้เกิดกระแสไม่คงที่และสามารถเหนี่ยวนำแรงดันคคร่อมขดลวด โดยอาศัยการสังเกตดังกล่าวจึงนำไปสู่แนวคิดของการค้ำของฟลักซ์แม่เหล็ก (magnetic flux linkage)  $\lambda = N\Phi$  เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยทางเว็บไซต์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

จำนวนการเคลื่อนที่ของฟลักซ์ คือ  $\lambda = Li$  ค่าคงที่สัดส่วนได้  $L$  คือความเหนี่ยวนำที่ได้ จาก กฎของฟาราเดย์แสดงความสัมพันธ์การกำเนิดแรงดันเหนี่ยวนำกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของการเคลื่อนที่ของฟลักซ์

$$V = d\lambda / dt$$

แทน  $\lambda = Li$  จะได้

$$V = L(di/dt)$$

ถ้าตัวเหนี่ยวนำหรือขดลวดสองขดวางใกล้กันการไหลของกระแสที่เปลี่ยนแปลงเกิดการเคลื่อนที่ของฟลักซ์ใน ขดลวดด้านหนึ่งและเหนี่ยวนำให้เกิดแรงดันในขดลวดอีกด้านหนึ่ง เช่น ในรูปที่ 3.5 แรงดัน  $v_1$  เกิดจากกระแส  $i_1$

$$V_{11} = L_1(di_1/dt)$$

เนื่องจากการเคลื่อนที่ของฟลักซ์ที่เกิดจากกระแส  $i_2$  ทำให้แรงดันในขดลวด เพิ่มขึ้น

$$V_{12} = M_{12}(di_2/dt)$$

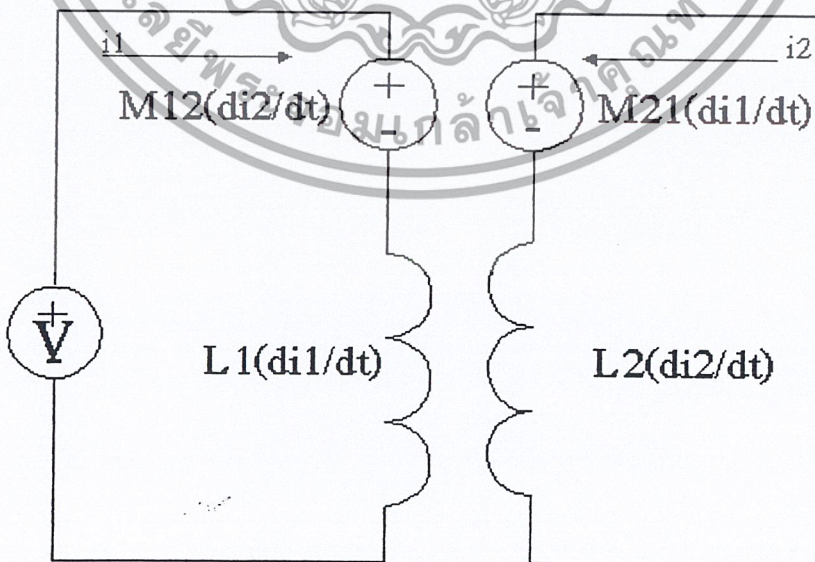
เมื่อส่วนประกอบของวงจรเป็นเชิงเส้น ใช้หลักการทับซ้อน ซึ่งจะได้แรงดันตกคร่อมขดลวดทั้งหมดคือ

$$V_1 = V_{11} + V_{12} = L_1(di_1/dt) \pm M_{12}(di_2/dt) \dots \dots \dots (3.8)$$

โดยที่เครื่องหมายบวก(+) หรือ ลบ(-) ขึ้นกับการวางขดลวดจริงๆ ในทำนองเดียวกันกับ สมการแรงดันตกคร่อมขดลวด 2 คือ

$$V_2 = V_{22} + V_{21} = L_2(di_2/dt) \pm M_{21}(di_1/dt) \dots \dots \dots (3.9)$$

พารามิเตอร์  $M_{12}$  และ  $M_{21}$  เรียกว่า ความเหนี่ยวนำร่วม (Mutual inductance)



รูปที่ 3.6 แสดงการเหนี่ยวนำร่วม

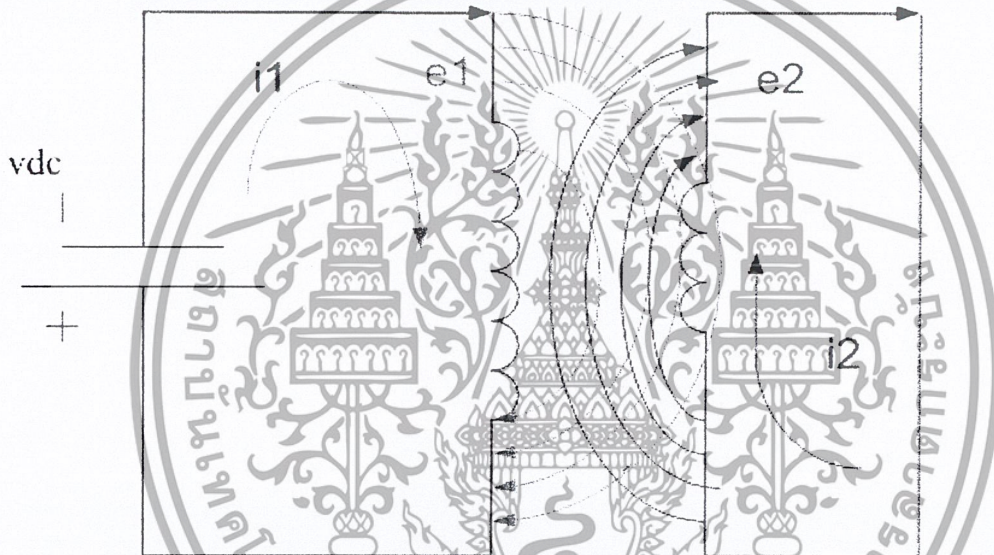
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราจ่ายแรงดันกระแสตรงให้กับขดลวดจะทำให้มีกระแส  $i_1$  ไหลภายในลูปที่ 1 โดยกระแสเกิดขึ้นจากสมการ ที่ 3.99 ตามรูปที่ 3.7

$$i = v / \mathcal{R}$$

โดยที่  $i_1$  จะแปรผันตรงกับการจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ( $V_{dc}$ ) และแปรผกผันกับ Reluctance กระแสที่ไหลจะทำให้ มี  $\phi_1$  เกิดขึ้น โดยที่  $\phi_1$  ขึ้นอยู่กับกระแสและจำนวนรอบของขดลวดทำให้เกิดสนามไฟฟ้าขึ้น

เมื่อโรเตอร์ที่ภายในมีลักษณะเป็นบาร์เคลื่อนตัดสนามไฟฟ้าทำให้ฟลักซ์ที่เกิดจาก  $i_1$  เหนี่ยวนำบาร์ของโรเตอร์แต่ละบาร์เปรียบเสมือนขดลวดตัวนำที่ต่อลัดวงจรดังรูป 3.6 จะเห็นว่า  $\phi_1$  ที่เกี่ยวข้องทำให้ คล้องทำให้ แรงเคลื่อนไฟฟ้าขึ้นภายในบาร์ดังกล่าว



รูปที่ 3.7 แสดงเสมือนการเกิดฟลักซ์เหนี่ยวนำระหว่างสเตเตอร์และ โรเตอร์แต่ละบาร์ที่ทดสอบ

$$e_2 = N \frac{d\phi_1}{dt}$$

โดยที่  $N=1$   $e_2$  แปรผันตาม  $\phi_1$

เมื่อเกิด  $e_2$  ในลูปที่ 2 จะทำให้มีกระแสไหลภายใน ลูปที่ 2 ( $i_2$ ) ก็จะทำให้เกิดฟลักซ์ ( $\phi_2$ ) เกี่ยวข้อง กลับไปที่ขดลวดสเตเตอร์ ทำให้เกิด  $e_1$  ขึ้นในลูปที่ 1

$$i_1 = (v - e_1) / \mathcal{R}$$

เมื่อ

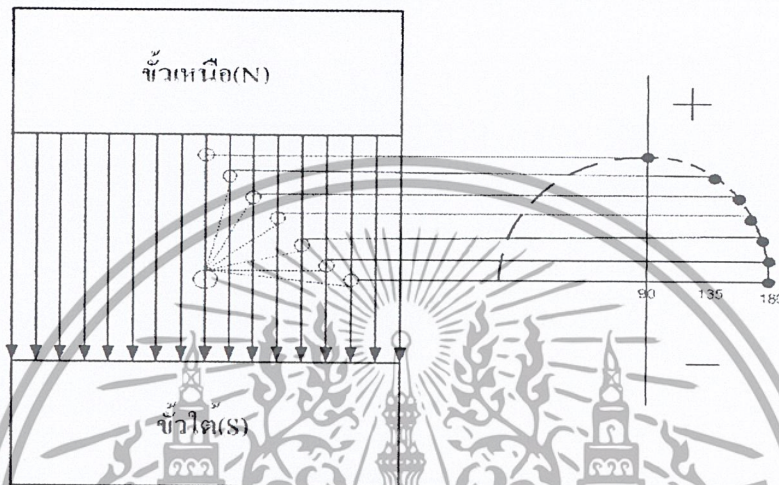
$$e_1 = N \frac{d\phi_2}{dt}$$

ดังนั้นกระแสไฟฟ้าที่ไหลในลูปที่ 1 ขึ้นอยู่กับฟลักซ์ที่เกิดขึ้น ในลูปที่ 2 ซึ่งแสดงรูปคลื่นจะดีไม่คืนัน ขึ้นอยู่กับบาร์แต่ละบาร์ของโรตอร์นั้นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่งผลให้กระแสที่ไหลในรูปที่ 1 เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อนำความต้านทานขนาด  $1\Omega$  มาต่อยังขดลวดสเตเตอร์ในรูปที่ 1 เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงของกระแส ซึ่ง กระแสที่ได้เป็น กระแสสลับจะกล่าวในข้อถัดไป

### 3.5 การเกิดสัญญาณเป็นกระแสสลับเกิดจากการหมุนของโรเตอร์ตัดผ่านสนามแม่เหล็ก



รูปที่ 3.8 แสดงตัวนำหมุนตัดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.8 เส้นแรงไฟฟ้าแม่เหล็กที่เกิดขึ้นระหว่างขั้วเหนือและขั้วใต้เมื่อ โรเตอร์ หมุน บาร์ของ โรเตอร์แต่ละ บาร์ตัดผ่าน สนามแม่เหล็กบาร์แต่ละบาร์เปรียบเสมือนตัวนำ ตัดผ่านนั่นเอง ในขณะที่ตัวนำ ตัดสนามแม่เหล็กเกิดแรงเคลื่อนชักนำทำให้มีกระแสไหลในตัวนำ ถ้าตัวนำตั้งฉากกับสนามแม่เหล็กจะไม่เกิด 0 องศาหมุน ไปเรื่อยๆของสายของชาวน์ ก็จะไปเปลี่ยนแปลงตามตัวนำที่ตัดสนามแม่เหล็กและเมื่อตัวนำขนานกับสนามแม่เหล็กก็จะเกิดที่มุม 90 องศาดังแสดงในรูปที่ 3.8

### 3.6 กฎของเลนซ์

กฎของเลนซ์ที่กล่าวไว้ว่าแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะต้องเป็นไปตามทิศทางของกระแส ที่เกิดขึ้น จากตัวมันและกระแสดังกล่าวนี้เป็นตัวทำให้เกิดฟลักซ์ที่มีทิศทางตรงกันข้ามกับการเปลี่ยนแปลงใดๆในฟลักซ์ที่เกิดขึ้นในตอนแรกหรือฟลักซ์ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำซึ่งอีกนัยหนึ่ง คือเมื่อจ่ายไฟเข้าที่ขดลวดสเตเตอร์จะทำให้มีกระแสไหลเป็นผลทำให้เกิดฟลักซ์แม่เหล็ก และเกิด กระแสไหลที่โรเตอร์ ทำให้เกิดการพยายามต่อต้านการเพิ่มขึ้นของฟลักซ์ที่เกิดขึ้นในสเตเตอร์ จะมี ทิศทางตรงกันข้ามกับฟลักซ์ที่เกิดขึ้นในโรเตอร์ ในทางกลับกันเมื่อเราหยุดจ่ายไฟฟ้าให้สเตเตอร์ตาม

กฎของเลนซ์ กระแสทางด้านโรเตอร์จะพยายามต่อต้านการขึ้นตัวของฟลักซ์ที่วางข้างโรเตอร์ด้านการค้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับครูผู้สอนเพื่อใช้ในการสอนนักเรียนและผู้ศึกษาทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

# ไมโครคอนโทรลเลอร์

### 4.1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS – 51

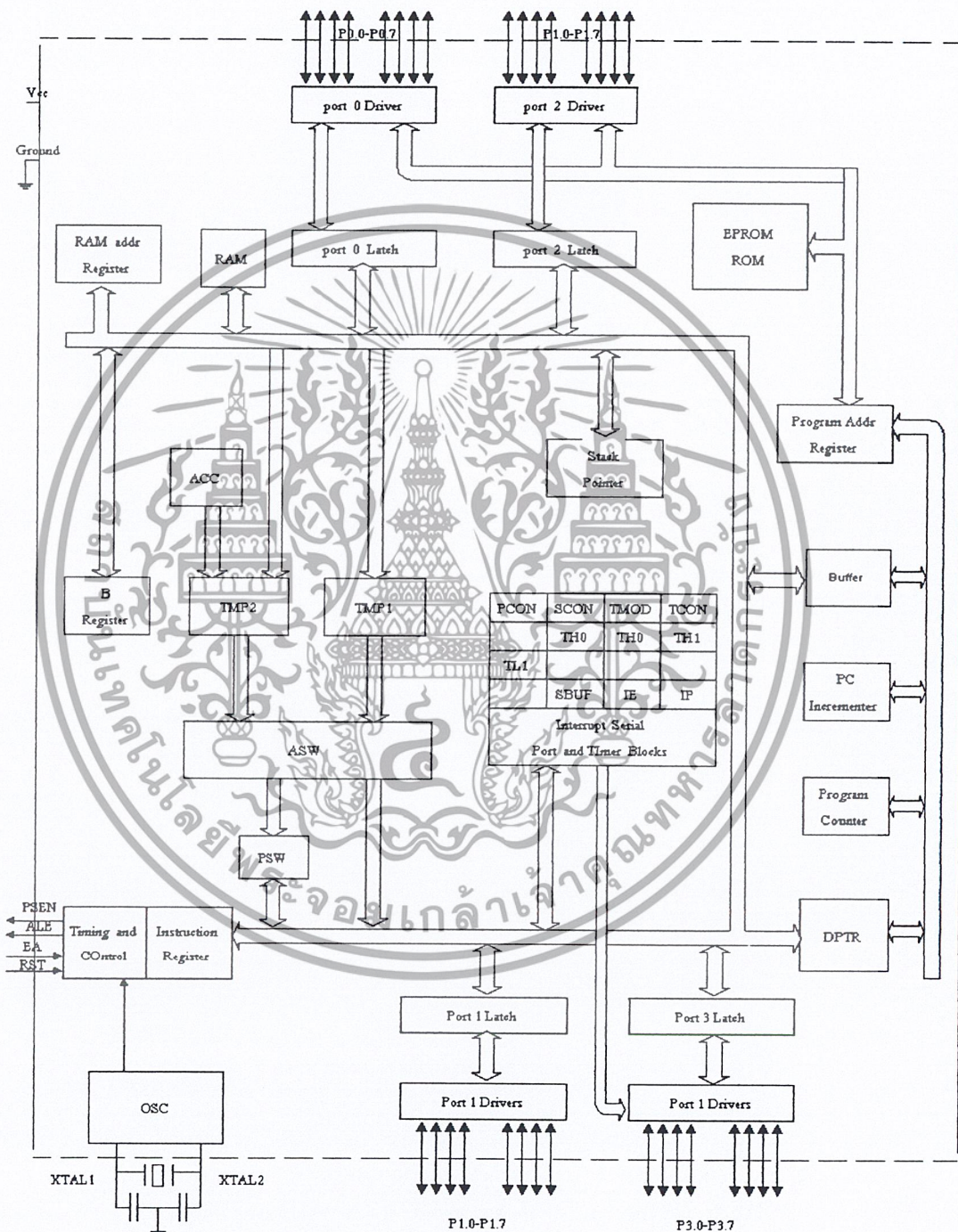
MCS – 51 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์แบบชิปเดี่ยวที่มีข้อดีเมื่อเทียบกับไมโครโปรเซสเซอร์ขนาด 8 บิต ตระกูลอื่น ดังนี้

- มีหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไป (RAM) บรรจุไว้ภายใน 128 – 256 ไบต์
- มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมควบคุมการทำงานอยู่ภายในจำนวน 4 กิโลไบต์
- มีวงจรตั้งเวลาวางจรรยาบรรณขนาด 16 บิต 2 ตัว อยู่ภายใน
- มีวงจรรับส่งข้อมูลอนุกรมได้ 2 ทิศทาง
- มีสัญญาณนาฬิกาภายในตัว
- มีพอร์ตที่สามารถรับหรือส่งข้อมูลได้ 2 ทิศทาง จำนวน 4 พอร์ต ๆ ละ 8 บิตนอกจากนี้ MCS – 51 ยังมีคุณสมบัติอื่น ๆ ที่น่าสนใจ คือ
- ต้องการแหล่งจ่ายไฟ 5 โวลต์เพียงชุดเดียว
- มีหน่วยความจำสำหรับเก็บโปรแกรมและข้อมูลที่อยู่ภายนอกชิปได้อย่างละ 64 กิโลไบต์
- มีคำสั่งคูณและหารเลขขนาด 8 บิตในตัวเอง
- จัดลำดับความสำคัญของสัญญาณอินเตอร์รัปต์ได้ 2 ระดับ
- รับและส่งข้อมูลแบบอนุกรมได้ในตัว โดยสามารถกำหนดอัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูลได้ตั้งแต่ 300 ถึง 375 กิโลบิตต่อวินาที
- สามารถประมวลผลแบบบูลีนเพื่อใช้งานควบคุมโดยเฉพาะ
- มีรีจิสเตอร์สำหรับใช้งานเป็น ไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์ เพื่อนับจำนวนของสัญญาณนาฬิกาภายในชิป หรือ นับการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณภายนอกขนาด 16 บิต จำนวน 2 ตัว เพื่อใช้สำหรับนับจำนวนพัลส์ วัดความกว้างของพัลส์หรือใช้วัดช่วงเวลา
- หน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลภายในบางส่วนสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ทั้งระดับ ไบต์และในระดับบิต เพื่อให้การออกแบบโปรแกรมและการควบคุมระบบงานทำได้ง่ายขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.2 สถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051

โครงสร้างภายในชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051 ชิปเดี่ยวแสดงดังรูปที่ 4.1 ซึ่งอธิบายถึงส่วนย่อยๆ ภายใน 8051



รูปที่ 4.1 โครงสร้างภายในชิปไมโครคอนโทรลเลอร์ 8051

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ขาใช้งานต่าง ๆ ของไมโครคอนโทรลเลอร์ มีดังนี้

- Vcc ขา 40 เป็นขาที่ต้องป้อนไฟเลี้ยง +5 โวลท์เข้าไปเพื่อให้วงจรสามารถทำงานได้
- Vss ขา 20 เป็นขาที่ต้องต่อกับกราวด์ของแหล่งจ่ายไฟ
- RST ขา 9 ขา รีเซตนี้ จะรีเซตการทำงานของ 8051 ถ้าป้อนสัญญาณที่มีสภาวะลอจิก 1 ที่ขา นี้จะเป็นการรีเซตการทำงาน กลับไปเริ่มการทำงานจากคำสั่งที่อยู่ในหน่วยความจำ ตำแหน่ง 0000
- ALE ขา 30 ใช้เป็นขาส่งสัญญาณออกไปภายนอก เพื่อควบคุมการแลตซ์ตำแหน่งไบต์ คำจากพอร์ท 0 ในระหว่างการติดต่อหน่วยความจำสำหรับเก็บ โปรแกรมหรือข้อมูลภายนอก
- PSEN ขา 29 ใช้ส่งสัญญาณเพื่ออ่านคำสั่งจากโปรแกรมที่เก็บไว้ในหน่วยความจำภายนอก ชิพ
- XTAL1 ขา 19 ใช้ต่อคริสตอลภายนอก โดยเป็นอินพุตเข้าสู่วงจรรอสซิงเลเตอร์
- XTAL2 ขา 18 ใช้ต่อคริสตอลภายนอก โดยเป็นเอาต์พุตออกจากวงจรรอสซิงเลเตอร์
- PORT 0 เป็นพอร์ทขนานขนาด 8 บิตอยู่ที่ขา 39 ถึง 32 เริ่มจากบิต 0 ถึง 7 ตามลำดับพอร์ท 0 นี้ ใช้ได้ทั้งการรับส่งตำแหน่งและข้อมูลกับหน่วยความจำหรือใช้รับส่งข้อมูลก็ได้ นอกจากนี้ยังใช้งานได้หลายอย่างดังนี้
  1. ใช้สำหรับส่งตำแหน่งหน่วยความจำที่ต้องการติดต่อด้วย โดย 8 บิตล่างถูกส่งออกไปทางพอร์ท 0 และ 8 บิตบนถูกส่งออกไปทางพอร์ท 2
  2. ใช้รับส่งข้อมูลกับ Data Memory หรือใช้รับข้อมูลจาก Program Memory
  3. ใช้รับส่งข้อมูลออกจากพอร์ทโดยตรง
- PORT 1 เป็นพอร์ทขนานขนาด 8 บิต อยู่ที่ขา 1 ถึง 8 เริ่มจากบิต 0 ถึง บิต 7 ตามลำดับใช้ทำหน้าที่ เป็นตัวรับส่งข้อมูลเท่านั้น ไม่สามารถส่งตำแหน่งได้
- PORT 2 เป็นพอร์ทขนานขนาด 8 บิต อยู่ที่ขา 21 ถึง 28 เริ่มจากบิต 0 ถึง บิต 7 ตามลำดับใช้งานเพียง 2 ลักษณะ คือ
  1. ใช้ส่งตำแหน่งหน่วยความจำภายนอกที่ต้องการติดต่อทำงานร่วมกับพอร์ท 0
  2. ใช้เป็นพอร์ทรับส่งข้อมูลกับภายนอก
- PORT 3 เป็นพอร์ทขนานขนาด 8 บิต อยู่ที่ขา 10 ถึง 17 เริ่มจากบิต 0 ถึงบิต 7 ตามลำดับนอกจากจะใช้งานเหมือนพอร์ทอื่น ๆ แล้วยังใช้งานอื่น โดยใช้คำสั่งควบคุม ดังนี้

P3.0 (RxD) เป็นขาที่ใช้รับข้อมูลแบบอนุกรม

P3.1 (TxD) เป็นขาที่ใช้ส่งข้อมูลแบบอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับครูเชิงในเพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอน ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- P3.2 (INT0) ใช้รับสัญญาณขัดจังหวะจากภายนอก
- P3.3 (INT1) ใช้รับสัญญาณขัดจังหวะภายใน
- P3.4 (T0) ใช้เป็นขาจับสัญญาณให้เคาน์เตอร์ของไทม์เมอร์ 0
- P3.5 (T1) ใช้เป็นขาจับสัญญาณให้เคาน์เตอร์ของไทม์เมอร์ 1
- P3.6 (WR) ใช้เป็นขาสัญญาณควบคุมการเขียนข้อมูลไปยังหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายนอก
- P3.7 (RD) ใช้เป็นขาสัญญาณควบคุมการอ่านข้อมูลไปยังหน่วยความจำสำหรับข้อมูลภายนอก

พอร์ท 3 ของ MCS-51 ถูกใช้เป็นพอร์ทอนุกรม จะใช้ขา TxD และ RxD ในการรับส่งข้อมูลโดยขาทั้ง 2 จะอยู่ในพอร์ท3 คือ P3.1 หรือ ขา 11 เป็น TxD และ P3.0 หรือขา 10 เป็น RxD พอร์ทอนุกรมของ MCS-51 สามารถทำงานเป็นแบบ Full Duplex ได้ คือสามารถรับและส่งข้อมูลในเวลาเดียวกันได้ โดยมีการรับและส่งข้อมูลจะมีบัฟเฟอร์สำหรับเก็บข้อมูลให้ได้

รีจิสเตอร์ที่สำคัญในการรับส่งข้อมูลคือ SBUF และ SCON ซึ่งเป็นรีจิสเตอร์ที่อยู่ใน Special Function Register โดยรีจิสเตอร์ Serial Port Buffer (SBUF) จะอยู่ในตำแหน่ง 99 H ถ้าเขียนข้อมูลลงไป ในตำแหน่งนี้จะเป็นการส่งข้อมูลออกจากพอร์ทอนุกรม และถ้าอ่านข้อมูลจากตำแหน่งนี้จะเป็นการรับข้อมูลจากพอร์ทอนุกรม โดยใน SBUF จะประกอบด้วยบัฟเฟอร์ 2 ตัว สำหรับส่งและรับข้อมูล

สำหรับ Serial Port Control Register (SCON) ซึ่งอยู่ในตำแหน่ง 98H จะเป็นรีจิสเตอร์ที่สามารถเข้าถึงข้อมูลระดับบิตได้ รีจิสเตอร์นี้จะทำหน้าที่ควบคุม และบอกสถานะต่างๆ ของการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

ตารางที่ 4-1 Serial Port Control Register

บิต	ชื่อ	ตำแหน่ง	ความหมาย
SCON.7	SM0	9FH	บิตเลือกโหมดการทำงานบิต 0
SCON.6	SM1	9EH	บิตเลือกโหมดการทำงานบิต 1
SCON.5	SM2	9DH	บิตเลือกโหมดการทำงานบิต 2
SCON.4	REN	9CH	บิตแฟลคกำหนดยอมให้มีการรับข้อมูล
SCON.3	TB8	9BH	ค่าของบิต 9 สำหรับการส่งข้อมูลในโหมด 2 และ 3 สามารถเซต และเคลียร์ได้โดยซอฟต์แวร์
SCON.2	RB8	9AH	ค่าของบิต 9 เมื่อรับข้อมูลเข้ามา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### ตารางที่ 4-2 แสดงโหมดต่าง ๆ ของการรับส่งแบบอนุกรม

SM0	SM1	MODE	ความหมาย	Baud Rate
0	0	0	Shift Register	เปลี่ยนแปลงไม่ได้ (Oscillator Frequency / 12)
0	1	1	8 – bit UART	สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยกำหนดจากไทม์เมอร์
1	0	2	9 – bit UART	เปลี่ยนแปลงไม่ได้ (Oscillator Frequency / 12 หรือ /64)
1	1	3	9 – bit UART	สามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยกำหนดจากไทม์เมอร์

#### ไทม์เมอร์ / เคาน์เตอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูลนี้มีรีจิสเตอร์พิเศษที่สามารถเลือกใช้งานเป็น ไทม์เมอร์ หรือ เคาน์เตอร์อย่างใดอย่างหนึ่ง รีจิสเตอร์ประเภทนี้มีอยู่ด้วยกัน 2 ตัว แต่ละตัวขนาด 16 บิต เรียก ไทม์เมอร์ 0 และ ไทม์เมอร์ 1 ตามลำดับ

- ไทม์เมอร์นั้น ค่าในรีจิสเตอร์ที่ใช้เป็นไทม์เมอร์ที่ถูกเลือกใช้งานจะถูกเพิ่มขึ้นทุกแมกซ์ซิมั่ม 1 ไชนีเคิล
- เคาน์เตอร์นั้นค่าในรีจิสเตอร์ที่ใช้เป็นเคาน์เตอร์ที่ถูกเลือกใช้งานจะถูกเพิ่มค่าทีละ 1 เมื่อมีการเปลี่ยนสถานะ

#### ไทม์เมอร์ 0 และ ไทม์เมอร์ 1

สามารถเลือกการทำงานให้เป็นไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์ได้โดยการกำหนดค่าบิตในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ โดยหากบิตนี้มีค่าเป็น 0 หมายถึงเลือกใช้งานเป็นไทม์เมอร์ถ้าบิตนี้มีค่าเป็น 1 หมายถึงเลือกใช้งานเป็นเคาน์เตอร์

นอกจากนี้จะเลือกการทำงานของรีจิสเตอร์ให้เป็นไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์แล้ว ในแต่ละการทำงานยังมีการทำงานย่อยอยู่อีก 4 แบบ ตามความเหมาะสมของการใช้งาน

โหมด 0 จะใช้รีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต เป็นตัวนับ โดยมีการเพิ่มค่าครั้งละ 1 ทุกครั้งนับสัญญาณได้ครบ 32 ครั้ง โดยในโหมดนี้รีจิสเตอร์ที่ใช้ับเพียง 13 บิต (8 บิตในรีจิสเตอร์ TLx รวมกับ 5 บิต ใน THx)

โหมด 1 การทำงานเหมือน โหมด 0 เว้นแต่ค่าในรีจิสเตอร์ถูกใช้งานครบทั้ง 16 บิตนั่นเอง คือ ไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์ในโหมดนี้มีขนาด 16 บิต

โหมด 2 ในโหมดนี้จะกำหนดรีจิสเตอร์ใช้งานในการนับเพียง 8 บิต (จากรีจิสเตอร์ TLx) ที่มีการโหลดค่าด้วยค่าในรีจิสเตอร์ THx การใช้งานโหมดนี้มีไว้เพื่อสร้างสัญญาณอินเตอร์รัปต์ ที่มีคาบเวลาคงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมด 3 ในโหมดนี้ไทม์เมอร์ 1 จะไม่มีการนับแต่ไทม์เมอร์จะบังคับให้รีจิสเตอร์ TLO ของไทม์เมอร์ 0 ถูกใช้เป็นไทม์เมอร์เพียงอย่างเดียว การทำงานโหมด 3 มีไว้เพื่อใช้งานที่ต้องการไทม์เมอร์หรือเคาน์เตอร์ขนาด 8 บิตเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4-3 แสดงค่าในรีจิสเตอร์ TMOD ค่าต่างๆ สำหรับ Timer 0

โหมด	ฟังก์ชันไทม์เมอร์ 0	ควบคุมจากโปรแกรม	TMOD ควบคุมจากฮาร์ดแวร์ภายนอก
0	13 bit Timer	00H	08H
1	16 bit Timer	01H	09H
2	8 bit Auto Reload	02H	0AH
3	two 8 bit Timer	03H	0BH

ตารางที่ 4-4 แสดงค่าในรีจิสเตอร์ TMOD ค่าต่าง ๆ สำหรับ Counter 0

โหมด	ฟังก์ชันไทม์เมอร์ 0	ควบคุมจากโปรแกรม	TMOD ควบคุมจากฮาร์ดแวร์ภายนอก
0	13 bit Timer	04H	0CH
1	16 bit Timer	05H	0CH
2	8 bit Auto Reload	06H	0EH
3	two 8 bit Counter	07H	0FH

ตารางที่ 4-5 แสดงค่าในรีจิสเตอร์ TMOD ค่าต่าง ๆ สำหรับ Timer 1

โหมด	ฟังก์ชันไทม์เมอร์ 0	ควบคุมการโปรแกรม	TMOD ควบคุมจากฮาร์ดแวร์ภายนอก
0	13 bit Timer	00H	80H
1	16 bit Timer	10H	90H
2	8 bit Auto Reload	20H	A0H
3	Does not run	30H	B0H

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4-6 แสดงค่าในรีจิสเตอร์ TMOD ค่าต่าง ๆ สำหรับ Counter 1

โหมด	ฟังก์ชันไทม์เมอร์ 0	ควบคุมจากโปรแกรม	TMOD ควบคุมจากฮาร์ดแวร์ภายนอก
0	13 bit Timer	40H	C0H
1	16 bit Timer	50H	D0H
2	8 bit Auto Reload	60H	E0H
3	not available	--	--

#### 4.4 รีจิสเตอร์สำหรับใช้งานทั่วไปใน MCS – 51

รีจิสเตอร์ A,B และรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 ซึ่งอยู่ในหน่วยความจำสำหรับเก็บข้อมูลทั่วไปภายในชิปบริเวณ 128 ไบต์แรก รีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 ใน MCS-51 มีอยู่ด้วยกันทั้งหมด 4 กลุ่ม แต่ละกลุ่มประกอบด้วย รีจิสเตอร์ จำนวน 8 ตัว (R0-R7) ซึ่งมีชื่อเรียกเหมือนกัน ดังนั้นรีจิสเตอร์ใช้งานทั่วไป R0-R7 ใน MCS – 51 จึงมีทั้งหมด 32 ตัว ในการทำงานขณะใด ๆ รีจิสเตอร์ทั้ง 4 กลุ่ม (R0-R7) จะถูกเลือกใช้งานเพียงกลุ่มเดียวเท่านั้น การเลือกใช้งานรีจิสเตอร์ R0-R7 กลุ่มใดกลุ่มหนึ่งใน 4 กลุ่ม กระทำโดยการเซตหรือเคลียร์บิต RS0,RS1 ในรีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ PSW

#### 4.5 รีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษใน MCS – 51

ใน MCS – 51 รีจิสเตอร์จะใช้หน่วยความจำ RAM ภายในชิป โดยส่วนหนึ่งเป็นรีจิสเตอร์พิเศษ (Special Function Register : SFR) ซึ่งมีทั้งหมด 21 ตัว โดยมีรีจิสเตอร์พิเศษต่างๆ จะเริ่มที่หน่วยความจำตั้งแต่ 80H ถึง FFH ซึ่งมีทั้งหมด 128 ตำแหน่ง แต่จะเป็นรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษเพียง 21 ตำแหน่ง แต่ถ้าเป็น 8032/8051 จะใช้ 26 ตำแหน่ง หรือมี SFR 26 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

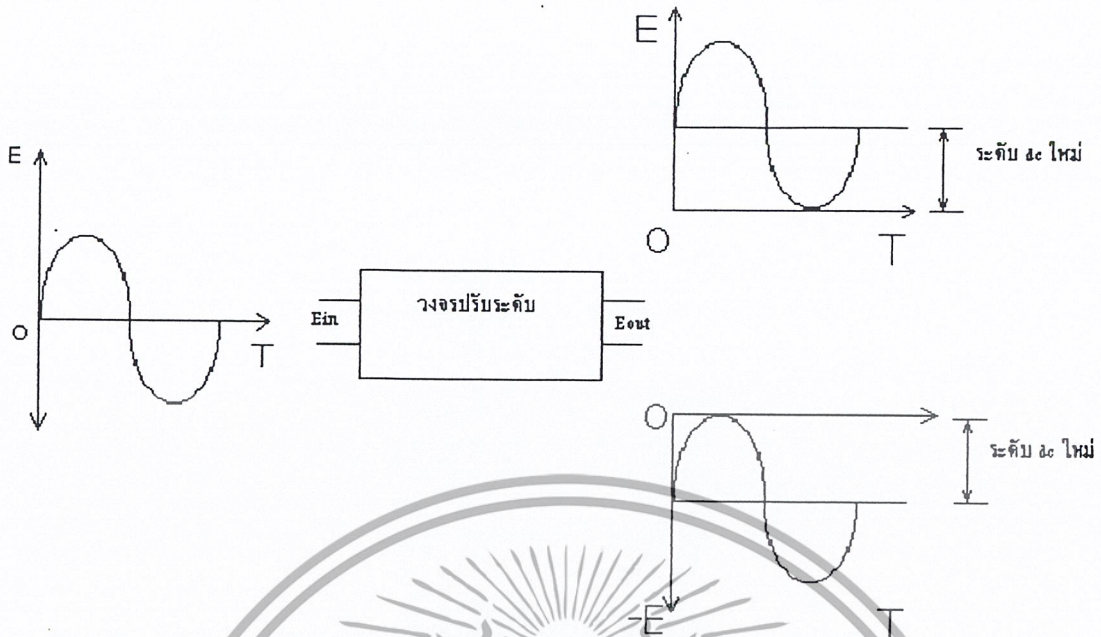
ตารางที่ 4-7 รีจิสเตอร์ใช้งานเฉพาะ PSW (Program Status Word) เข้าถึงข้อมูลได้ในระดับบิต

บิต	ชื่อบิต	ตำแหน่ง	ความหมาย
PSW.7	CY	D7H	Carry Flag
PSW.6	AC	D6H	Auxiliary Carry Flag
PSW.5	F0	D5H	Flag 0
PSW.4	RS1	D4H	บิตสำหรับเลือกกรีจิสเตอร์ แบงค์ 1
PSW.3	RS0	D3H	บิตสำหรับเลือกกรีจิสเตอร์ แบงค์ 0
			00 = Bank 0 ; Address 00H – 07H 01 = Bank 1 ; Address 08H – 0FH 10 = Bank 2 ; Address 10H – 17H 11 = Bank 3 ; Address 18H – 1FH
PSW.2	OV	D2H	Overflow Flag
PSW.1	-	D1H	Reserved
PSW.0	P	D0H	Even Parity Flag

#### 4.6 วงจรปรับระดับสัญญาณ (clamper circuit)

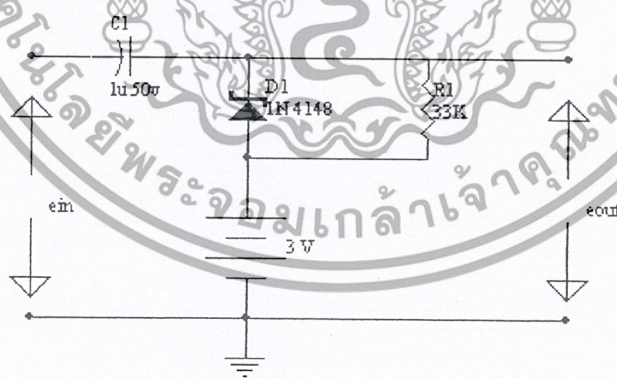
วงจรปรับระดับสัญญาณ (clamper circuit) เป็นวงจรไฟฟ้าซึ่งสามารถปรับหรือเปลี่ยนระดับของสัญญาณคลื่นไฟฟ้าได้โดยทั่วไปมักหมายถึงการเปลี่ยนแปลงหรือปรับระดับขนาดของสัญญาณกระแสลับให้มีระดับที่ต้องการ โดยมีลักษณะของคลื่นสัญญาณกระแสตรงใดๆก็ได้ วงจรดังกล่าว นี้โดย บางที่ถูกเรียกว่า “วงจรเพิ่มกระแสตรง” (dc restorer) หรือวงจรเติมกระแสตรง มี (dc inserter circuit ) สัญญาณที่เอาต์พุตจะมีลักษณะเหมือนกับสัญญาณอินพุตทุกประการ นอกจากระดับกระแสตรงซึ่งเป็นระดับเปรียบเทียบเท่านั้นที่มีการเปลี่ยนแปลง ดังรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงคุณสมบัติและลักษณะของสัญญาณแรงดันรูปไซน์ที่อินพุตและเอาต์พุตของวงจรปรับระดับแรงดัน

ซึ่งในโครงการนี้จะใช้วงจรปรับระดับแรงดันด้านเอาต์พุตให้อยู่ในระดับแรงดันค่าหนึ่งค่าใดที่ไม่เป็นศูนย์ ซึ่งจากรูปที่ 2 เป็นวงจรที่ทำการเพิ่มเบตเตอร์ ซึ่งมีแรงดันคงที่  $E$  เข้าไปในวงจรแรงดันเอาต์พุตจะมีแรงดันค่าสุดอยู่ที่ระดับ  $E$  โวลต์ เท่ากับของเบตเตอร์

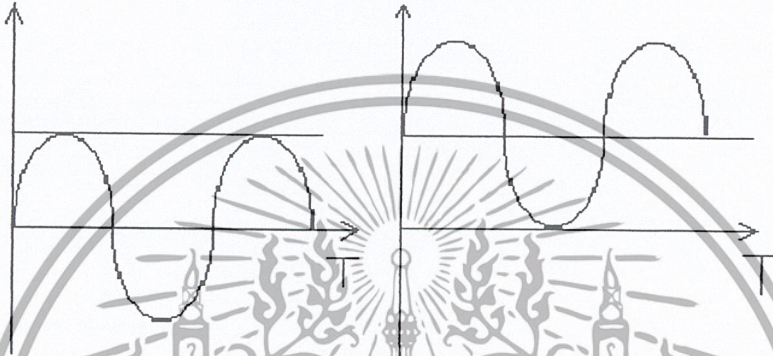


รูปที่ 4.3 เป็นวงจรที่ต่อใช้งานจริง

ซึ่งจากวงจรจะมีหลักการทำงาน คือ ขณะที่แรงดันอินพุตมีค่า  $-5$  โวลต์ แรงดันนี้ จะช่วยเสริมกับแรงดันของเบตเตอร์ในวงจรและทำให้ไดโอดได้รับไบอัสตรง ไดโอดจึงทำงานคล้ายกับเป็นสวิตช์ปิด ดังนั้นแรงดันที่เอาต์พุต จะมีค่าเท่ากับแรงดันของเบตเตอร์ คือ  $+3$  โวลต์ ซึ่งที่ส่วน ตัวเก็บประจุจะสะสมประจุทำให้มีแรงดันตกคร่อม  $8$  โวลต์ และทันทีที่แรงดันอินพุต เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปลี่ยนจาก  $-5$  โวลต์ เป็น  $+5$  โวลต์ แรงดันนี้จะไปหักล้างกับแรงดันจากแบตเตอรี่ แต่จะเสริมแรงดันที่ตกคร่อมในตัวเก็บประจุผลรวมแรงดันอินพุตและแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ ( $+5+(+8)$ ) จะมีค่ามากกว่าค่าแรงดันที่เอาต์พุตจึงมีค่าเท่ากับผลรวมของแรงดันอินพุตและแรงดันที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุ ( $+13$  โวลต์) นั่นคือที่  $t_0$  แรงดันเอาต์พุต =  $+3$  โวลต์, ที่  $t_+$  แรงดันเอาต์พุต =  $+13$  โวลต์, ที่  $t_+$  แรงดันอินพุตมีค่าเป็น  $-5$  โวลต์ ไดโอดจะกลายเป็นสวิตช์ปิดแรงดันเอาต์พุตจึงเป็น  $+3$  โวลต์ ดังนั้นสัญญาณแรงดันที่เอาต์พุตจึงมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 4.4

ลักษณะการทำงานของวงจร



รูปที่ 4.4 แสดงเปรียบเทียบการปรับระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## พอร์ทอนุกรม RS232

### 5.1 คำจำกัดความต่าง ๆ ที่ควรรู้เกี่ยวกับการสื่อสารผ่านพอร์ทอนุกรมมีดังนี้

- **Baud Rate** คือ อัตราความเร็วในการส่งถ่ายข้อมูลของพอร์ท ในอดีตพอร์ทจะมีอัตราในส่วนความเร็วในการส่งถ่ายข้อมูล 1 บิต ต่อ อัตรา 1 Baud แต่ในปัจจุบันหลังจากที่พอร์ทได้รับการพัฒนาไปอย่างมาก อัตราความเร็วในการส่งถ่ายข้อมูล 1 บิต จะไม่เท่ากับอัตรา 1 Baud อีกต่อไป เช่น ตามมาตรฐาน V.22bis นั้นอัตรา 1 baud จะเท่ากับ 4 บิต ดังนั้นพอร์ทที่มีอัตราความเร็ว 9,000 Baud จะเท่ากับ อัตราความเร็วในการส่งถ่ายข้อมูล 38,400 บิตต่อวินาที เป็นต้น
- **Bit Per Second** คืออัตราความเร็วในการส่งถ่ายจำนวนบิตของพอร์ท ในปัจจุบันพอร์ทจะมีค่าอัตราความเร็วในการส่งถ่ายจำนวนบิตมาตรฐานอยู่ที่ 9,600 BPS
- **Through Put** จำนวนของบิตที่สามารถส่งผ่านพอร์ทได้จริงๆ ภายในช่วงเวลา 1 วินาที ในทางปฏิบัติแม้ว่าพอร์ทจะมีความเร็วมากน้อยเพียงใดก็ตาม อัตราการส่งผ่านข้อมูลผ่านทางพอร์ทในแต่ละช่วงเวลาอาจจะมีค่าไม่เท่ากันตลอดก็ได้ ขึ้นกับปัญหาต่าง ๆ เช่น การเกิดสัญญาณรบกวนหรือความไม่พร้อมของโฮสต์ปลายทาง เป็นต้น ดังนั้นอัตราการส่งผ่านข้อมูลอาจจะต่ำกว่าความสามารถในการส่งผ่านข้อมูลของพอร์ทก็ได้

### 5.2 พอร์ทอนุกรม (Serial Port)

เนื่องจากในปัจจุบันมีการใช้งานตามมาตรฐานการเชื่อมต่อแบบRS-232 กันอย่างแพร่หลาย ดังนั้นจึงขอกล่าวรายละเอียดเฉพาะมาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS-232 เท่านั้น ซึ่งเป็นมาตรฐานถูกกำหนดโดย EIA ซึ่งเป็นองค์กรอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของอเมริกา โดยแบ่งการเชื่อมต่อเป็น 2 ลักษณะ คือ DTE (Data Terminal Equipment) และ DCE (Data Communication Equipment) ซึ่งโดยปกติ DTE จะต้องต่อเข้ากับ DCE เสมอ เช่น การต่อเครื่องคอมพิวเตอร์ (อุปกรณ์ DTE) เข้ากับพอร์ท (อุปกรณ์ DCE) เป็นต้น

พอร์ทอนุกรม RS-232-C จะเป็นพอร์ทของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีขาต่อ (Connector) ทั้งประเภท 9 และ 25 ขา และเราเรียกกันว่า พอร์ท COM1: และCOM2: นั่นเองในความเป็นจริงนั้น ในส่วนพอร์ทอนุกรมไม่ได้ถูกควบคุมโดยตรงจาก CPU บนเมนบอร์ด แต่การสื่อสารทั้งหมด จะถูกจัดการโดยชิป UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) อีกทีหนึ่ง ซึ่งปัจจุบันเบอร์ที่ใช้กันมากที่สุดคือเบอร์ 16550C ซึ่งเป็นเวอร์ชันที่ได้รับการแก้ไขข้อผิดพลาดแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาก็เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ซึ่งชิป UART นี้จะทำหน้าที่ในการรับและส่งข้อมูลดังต่อไปนี้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบอร์ที่ใช้กันมากที่สุดคือเบอร์ 16550C ซึ่งเป็นเวอร์ชันที่ได้รับการแก้ไขข้อผิดพลาดแล้ว ซึ่งชิป UART นี้จะทำหน้าที่ในการรับและส่งข้อมูลดังต่อไปนี้

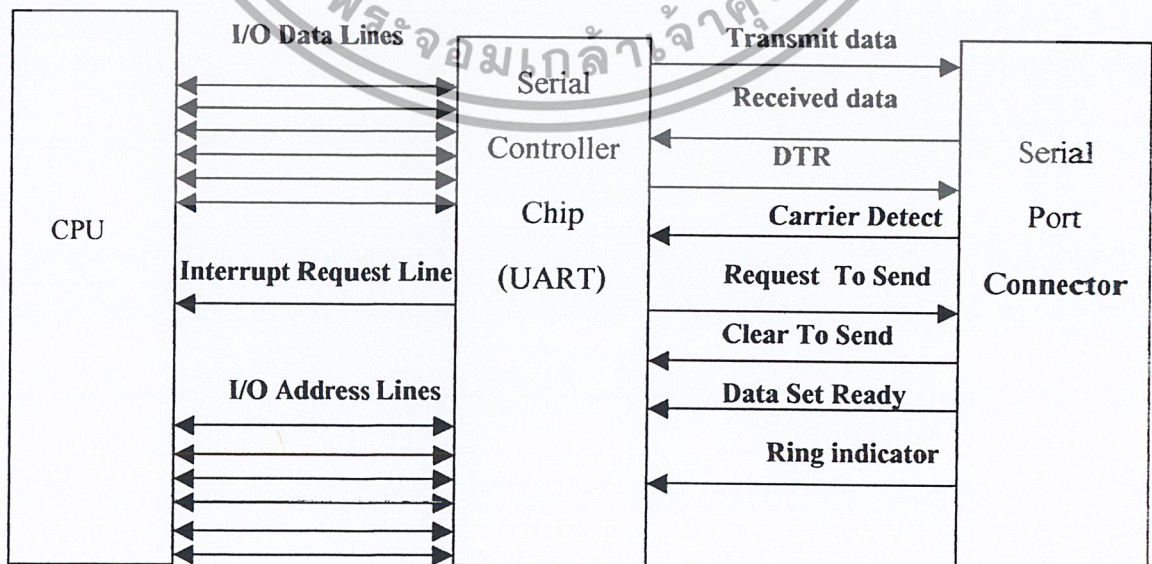
การส่งข้อมูล (Data Transmission)

1. รับตัวอักษรจากเครื่องคอมพิวเตอร์
2. แปลงตัวอักษรให้เป็นสายข้อมูลแบบบิต (เราเรียกว่าขบวนการ serialization)
3. สร้างเฟรมข้อมูลโดยการเพิ่มบิตที่จำเป็นสำหรับการสื่อสารและการตรวจสอบ เช่น บิต START, STOP และ PARITY เป็นต้น
4. ส่งผ่านเฟรมข้อมูลที่สร้างขึ้นมาแล้วจากขั้นตอนในส่วนที่ผ่านมา ด้วยความเร็วของพอร์ทอนุกรม (baud rate)
5. แสดงสถานะความพร้อมที่จะรับข้อมูลตัวอักษรถัดไปให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อ

รับข้อมูล (Data Receiver)

1. รับตัวอักษรจากอินเตอร์เฟซ
2. ตรวจสอบความถูกต้องของเฟรมข้อมูล ตามมาตรฐานเฟรมที่กำหนดโดยถ้าหากเฟรมข้อมูลมีรูปแบบที่ไม่ถูกต้องก็จะมีแจ้งเตือนข้อผิดพลาดทันที
1. ตรวจสอบความถูกต้องของพาริตี
2. แปลงสายข้อมูลแบบบิตให้เป็นตัวอักษร
3. ตั้งตัวอักษรให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์
4. แสดงสถานะความพร้อมที่จะรับข้อมูลตัวอักษรถัดไปให้กับอินเตอร์เฟซ

สำหรับการเชื่อมต่อสายสัญญาณต่าง ๆ ระหว่าง CPU ของเมนบอร์ดของเครื่องคอมพิวเตอร์กับพอร์ทอนุกรมนั้น จะต้องกระทำผ่านทางชิป UART ซึ่งจะมีวิธีการเชื่อมต่อดังในรูปข้างล่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับเอาไว้ใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
**รูป 5.1** แสดงการเชื่อมต่อสายสัญญาณระหว่าง CPU ของเครื่องคอมพิวเตอร์กับพอร์ทอนุกรม  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะเห็นว่า การเชื่อมต่อระหว่าง UART กับพอร์ทอนุกรม นั้น มีสายสัญญาณมากมาย ที่ช่วยให้การสื่อสารมีความถูกต้องมากขึ้น โดยที่สายสัญญาณแต่ละเส้นมีความหมายดังต่อไปนี้

- **Transmit Data (TD)**

เป็น วงจรที่สร้างสัญญาณ Transmitted Data ซึ่งถูกส่งออกจาก DTE ไปยัง DCE ซึ่งสัญญาณที่ส่งออกมาอาจจะเป็น ไค้ดคำสั่งของพอร์ทหรือข้อมูลก็ได้

- **Received Data (RD)**

เป็น วงจรที่สร้างสัญญาณ Received data ซึ่งถูกส่งจาก DCE ไปยัง DTE ซึ่งสัญญาณที่ส่งออกมาอาจจะเป็น ไค้ดคำสั่งของพอร์ทหรือข้อมูลก็ได้ ซึ่งเป็นสัญญาณที่มีทิศทาง การส่งตรงข้ามกับสัญญาณ Transmitted Data

- **Data Terminal Ready (DTR)**

สัญญาณ DTR จะถูกส่งจาก DTE ไปยัง DCE เพื่อเป็นการแจ้งความพร้อมในการสื่อสารให้ อุปกรณ์ได้ทราบ โดยถ้าหากพอร์ทนั้น (อุปกรณ์ DCE) มีความสามารถในการตอบรับแบบ อัตโนมัติ (Automatically answer) อุปกรณ์นั้นก็จะสามารถตอบรับได้เฉพาะเมื่อสัญญาณ DTR อยู่ในสถานะ on เท่านั้น

- **Carrier Detect (CD)**

สัญญาณ CD จะถูกส่งจาก DCE ไปยัง DTE เพื่อเป็นการแจ้งว่าพอร์ทอยู่ในสถานะกำลัง ติดต่อกับพอร์ทตัวอื่น หรือพอร์ทกำลัง ได้รับสัญญาณที่พร้อมสำหรับการติดต่อสื่อสาร สำหรับสัญญาณ Carrier Detect นี้ สามารถเรียกอีกชื่อได้ว่า Received Line Signal Detector

- **Request to Send (RTS)**

สัญญาณ RTS จะถูกส่งจาก DTE ไปยัง DCE โดยเมื่อสัญญาณ RTS อยู่ในสถานะ on ก็หมายถึงเครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมที่จะรับข้อมูลจากพอร์ท และในทางกลับกันถ้าหาก สัญญาณ RTS อยู่ในสถานะ off ก็หมายถึงเครื่องคอมพิวเตอร์ไม่พร้อมจะรับข้อมูล จากพอร์ท

- **Clear to Send (CTS)**

สัญญาณ CTS จะถูกส่งจาก DCE ไปยัง DTE ซึ่งเป็นสัญญาณที่ทำหน้าที่ตรงกันข้ามกับ สัญญาณ RTS โดยเมื่อสัญญาณ CTS อยู่ในสถานะ on ก็หมายถึงพอร์ทพร้อมที่จะรับข้อมูล จากเครื่องคอมพิวเตอร์และในทางกลับกันถ้าหากสัญญาณ CTS อยู่ในสถานะ off ก็ หมายถึง พอร์ทไม่พร้อมที่จะรับข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **Data Set Ready (DSR)**

สัญญาณ DSR จะถูกส่งจาก DCE ไปยัง DTE เพื่อเป็นการแจ้งความพร้อมในการสื่อสารจากพอร์ทให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ทราบ โดยสัญญาณ DSR จะอยู่ในสถานะ on ก็ต่อเมื่อพอร์ทได้รับสัญญาณ DTR เท่านั้น

- **Ring Indicator (RI)**

สัญญาณ RI จะถูกส่งจาก DCE ไปยัง DTE เพื่อเป็นการแจ้งให้เครื่องคอมพิวเตอร์ทราบว่าพอร์ทกำลังได้รับสัญญาณกระดิ่ง (ring signal) จากอุปกรณ์ตัวอื่น โดยที่สัญญาณ RI จะอยู่ในสถานะ on พอร์ทได้รับสัญญาณกระดิ่ง และ off เมื่อพอร์ทไม่ได้รับสัญญาณกระดิ่ง เนื่องจากอุปกรณ์รุ่นใหม่ๆ ในปัจจุบันมักจะสามารถในการตอบรับแบบอัตโนมัติ (Automatically Answer) ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นต้องใช้สัญญาณ RI อีกต่อไป

### 5.3 รูปแบบของเฟรมข้อมูล (Data Format)

ในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ 2 ตัวนั้น อุปกรณ์ทั้งสองจะต้องมีความเข้าใจถึงรูปแบบของเฟรมข้อมูลที่ตรงกัน ซึ่งการส่งข้อมูลแบบ Asynchronous นั้น นอกจากข้อมูลที่จะต้องส่งผ่านแล้วอุปกรณ์นั้นยังต้องจัดการช่วงจังหวะในการส่งหรือรับข้อมูลระหว่างกันอีกด้วย โดยที่เฟรมข้อมูลในการส่งหรือรับจะประกอบด้วยบิตข้อมูลที่มีความหมายดังต่อไปนี้

- **บิตข้อมูล (Data Bit)**

เมื่อชิป UART ได้รับตัวอักษรที่ส่งมาจากเครื่องคอมพิวเตอร์แล้ว ก็ต้องทำการแปลงตัวอักษรดังกล่าวให้เป็นสายข้อมูลชนิดบิตที่มีความยาวตั้งแต่ 5 ถึง 8 บิตซึ่งเราเรียกขบวนการเปลี่ยนแปลงตัวอักษรให้เป็นสายข้อมูลชนิดบิตนี้ว่า ขบวนการ Serialization จากนั้นพอร์ทก็จะทำการส่งแต่ละบิตไปยังอุปกรณ์ปลายทาง โดยจะเริ่มต้นส่งจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุด (least significant bit) ไปยังบิตที่มีนัยสำคัญสูงสุด (most significant bit)

- **บิตเริ่มต้นข้อมูล (START bit)**

ในการส่งข้อมูลแบบ Asynchronous นั้น เราจะต้องมีวิธีการบอกพอร์ทให้ทราบถึงจุดเริ่มต้นของข้อมูลที่ต้องการส่ง ดังนั้นก่อนหน้าข้อมูลในทุก ๆ เฟรมจะต้องถูกจำหน้าด้วยบิตเริ่มต้นข้อมูล START bit เสมอ

- **บิตสิ้นสุดข้อมูล (STOP bit)**

ในการส่งข้อมูลแบบ Asynchronous นั้น ในกรณีที่บิตเริ่มต้นข้อมูลเกิดการสูญหาย ในระหว่างการส่งอุปกรณ์ปลายทางก็จะไม่สามารถทราบถึงจุดสิ้นสุดของสายข้อมูลบิตได้เลย นอกเสียจากอุปกรณ์นั้นจะตรวจพบบิตเริ่มต้นข้อมูลใหม่อีกครั้งเท่านั้น ดังนั้น

จึงมีการเพิ่มบิตสิ้นสุดข้อมูลต่อท้ายทุก ๆ ข้อมูลแต่ละตัวอักษรเพื่อแจ้งการสิ้นสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของสายข้อมูลบิต โดยที่การเรียงกันของบิตเริ่มต้นข้อมูล สายข้อมูล และบิตสิ้นสุดข้อมูล เรียกว่า เฟรมของข้อมูล (data frame)

- **บิตพาริตี (Parity bit)**

เนื่องจากการส่งผ่านข้อมูลทางสายโทรศัพท์นั้น สามารถเกิดสัญญาณรบกวนได้ง่าย ด้วยเหตุนี้จึงเป็นไปได้มากที่สถานะของแต่ละบิตของข้อมูลที่ถูกส่งจะมีการเปลี่ยนแปลง เช่น จากบิต 0 เป็นบิต 1 เป็นต้น ในระหว่างการส่งผ่านข้อมูล ด้วยเหตุนี้จึงมีการคิดค้น วิธีที่ง่ายที่สุดที่ช่วยในการตรวจสอบความถูกต้องของสถานะของบิตข้อมูล ซึ่งเรียกกันว่า การตรวจสอบค่าพาริตี (Parity Check) โดยในการส่งผ่านข้อมูลด้วยโปรโตคอล START/STOP นั้น ในการส่งตัวอักษรข้อความทั่วไปจะใช้เพียง 7 บิตข้อมูลเท่านั้น ดังนั้น จึงมีการเพิ่มพาริตีต่อสายเฟรมข้อมูลที่ถูกสร้างขึ้นมา ตามที่กล่าวมาแล้วในส่วนของบิต ที่สิ้นสุดข้อมูล เพื่อตรวจสอบสถานะของผลบวกของบิตที่เป็น 1 ของสายบิตข้อมูล ของแต่ละตัวอักษร สำหรับหลักการในการคำนวณค่าของบิตพาริตีมีดังนี้

1. ถ้าหากจำนวนของบิตที่มีค่าเท่ากับ 1 ของสายบิตข้อมูลมีค่าเป็นเลขคู่ (Even number) บิตพาริตี จะมีค่าเท่ากับ 0
2. ถ้าหากจำนวนของบิตที่มีค่าเท่ากับ 1 ของสายบิตข้อมูลมีค่าเป็นเลขคี่ (Odd number) พาริตีจะมีค่าเท่ากับ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 6

### Microsoft Visual Basic

ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์ได้ก้าวหน้าอย่างรวดเร็ว จากอดีตที่ผ่านมา ทั้งด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware) และซอฟต์แวร์ (Software) โดยฮาร์ดแวร์นั้นเป็นอุปกรณ์ที่ประกอบขึ้นเป็นคอมพิวเตอร์ เช่น CPU ฮาร์ดดิสก์ เป็นต้น ส่วนซอฟต์แวร์นั้นเป็นชุดคำสั่งที่ทำให้คอมพิวเตอร์ทำงานได้ ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วมาก และในปัจจุบันมีเครื่องมือต่าง ๆ ที่ช่วยในการพัฒนาโปรแกรมอย่างมากมาย ซึ่งหนึ่งในเครื่องมือต่าง ๆ นี้ ก็มีเครื่องมืออยู่อันหนึ่งที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายเรียกว่า Microsoft Visual Basic 6 ที่ช่วยให้การพัฒนาซอฟต์แวร์ต่าง ๆ เป็นไปได้อย่างรวดเร็ว รวมทั้งสามารถพัฒนาซอฟต์แวร์ได้หลายอย่างด้วยกัน ตั้งแต่โปรแกรมธรรมดาทั่วไป โปรแกรมเกี่ยวกับฐานข้อมูล หรือ โปรแกรมทางอินเทอร์เน็ต เป็นต้น

สำหรับVB6เป็นเครื่องมือในการสร้างโปรแกรมบนระบบปฏิบัติการWindowsที่ใช้งานง่าย โดยการสร้างโปรแกรมใน VB6 นั้น จะเป็นการเลือกเครื่องมือต่าง ๆ มาออกแบบหน้าจอ โปรแกรมที่เราจะสร้าง ซึ่งเราเรียกการเขียนโปรแกรมลักษณะนี้ว่า Visual Programming การเขียนโปรแกรมนี้ เราจะไม่จำเป็นต้องเขียนคำสั่งต่าง ๆ มากนัก ก็สามารถสร้างโปรแกรมได้อย่างรวดเร็ว

#### 6.1 คอมพิวเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับใช้งาน VB6

สำหรับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้งาน VB6 จะต้องเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ต้องมีระบบปฏิบัติการ Windows 95 หรือสูงกว่า หรือระบบปฏิบัติการของโปรแกรมใน Windows NT4.0 หรือสูงกว่า
2. หน่วยประมวลผลกลางรุ่น Pentium 90 MHz หรือสูงกว่า
3. พื้นที่ในฮาร์ดดิสก์อย่างน้อย 50 เมกกะไบต์
4. การ์ดจอ VGA 640x480 หรือสูงกว่าที่ Windows สนับสนุน
5. RAM ไม่น้อยกว่า 24 MB สำหรับ Windows 95 และ 35 MB สำหรับ Windows NT4.0

#### 6.2 ไฟล์ประเภทต่าง ๆ ที่มีในโปรเจกต์ของ VB6

โปรเจกต์เป็นไฟล์ใช้เก็บฟอร์ม และ โมดูลต่าง ๆ เช่น คลาสโมดูล โมดูลของ Active X Control ซึ่งในโปรเจกต์หนึ่งจะมีไฟล์โมดูลต่าง ๆ อยู่ได้หลายไฟล์ โดยโปรเจกต์ที่เราสร้างขึ้นจะมีไฟล์ในรูปแบบต่าง ๆ ที่เป็นไปได้ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

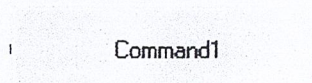
### ตารางที่ 6.1 แสดงกลุ่มไฟล์โปรเจกต์

ไฟล์กลุ่มโปรเจกต์	คำอธิบาย	ส่วนขยายไฟล์
ไฟล์กลุ่มโปรเจกต์	เป็นไฟล์ที่ใช้เก็บว่ามีโปรเจกต์อะไรเก็บอยู่บ้าง (ต้องมากกว่า 1 โปรเจกต์ขึ้นไป)	.vbg
ไฟล์โปรเจกต์	เป็นไฟล์หลักโปรเจกต์ต่าง ๆ ของแอปพลิเคชันของเรา	.vbp
ไฟล์ของฟอร์ม	เป็นไฟล์ที่เก็บข้อมูลเกี่ยวกับฟอร์ม เช่น คอนโทรลต่าง ๆ และคำสั่งจัดการอีเวนต์สำหรับฟอร์มนั้น ๆ เป็นต้น	.frm
ไฟล์ไบนารีของฟอร์ม	เป็นไฟล์ที่เก็บคุณสมบัติที่เป็นไบนารีของฟอร์ม เช่น รูปภาพ หรือ ไอคอน เป็นต้น	.frx
ไฟล์โมดูลมาตรฐาน	ส่วนใหญ่จะใช้เก็บค่าคงที่ ตัวแปร โปรแกรมย่อย ที่ให้โมดูลอื่นๆ สามารถเรียกใช้งาน	.bas
ไฟล์คลาสโมดูล	ใช้ในการสร้างออบเจกต์ที่มีลักษณะต่างๆ ตามที่ต้องการเองได้	.cls
ไฟล์ ActiveX Controls	จะเป็นไฟล์ของคอนโทรล Active X ซึ่งเป็นคอนโทรลที่สร้างขึ้นมาเองได้ และสามารถนำไปใช้ในแอปพลิเคชันทั่วไปที่สร้างขึ้นใหม่ได้	.ctl
ไฟล์ของ ActiveX Documents	จะเป็นไฟล์ของแอปพลิเคชันที่สามารถนำไปแสดงในโปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์ได้	.dob
ไฟล์ของ Property Pages	จะเป็นไฟล์ของ Property Page ที่ใช้แสดงคุณสมบัติของคอนโทรลของเรา	.pag

### 6.3 คอนโทรลที่สำคัญที่ใช้ในโครงการ

#### ปุ่มคำสั่ง (Command Button)

ปุ่มคำสั่งเป็นคอนโทรลที่จะทำงานตามที่เรากำหนดเมื่อมีการกดปุ่มคำสั่ง โดยเราต้องกำหนดสิ่งที่จะตอบสนองในอีเวนต์ Click



คุณสมบัติที่สำคัญคือ

- **Caption** คือ ข้อความที่ปรากฏบนปุ่มคำสั่ง
- **Enable** คือ การกำหนดให้สามารถกดปุ่มคำสั่งได้ ถ้าหากกำหนดให้เป็น true จะสามารถใช้งานได้ตามปกติ แต่ถ้ากำหนดเป็น False จะไม่สามารถใช้งานปุ่มคำสั่งนั้นได้ ลักษณะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อให้เห็นว่าไม่สามารถใช้ปุ่มคำสั่งนั้นได้ในเวลานี้ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### แท็กชื่อบล็อก (TextBox)

แท็กชื่อบล็อกเป็นคอนโทรลที่ใช้เพื่อให้ผู้ใช้เติม หรือแก้ไขข้อความโดยผ่านคีย์บอร์ดเข้าสู่โปรแกรม และยังประยุกต์ใช้เพื่อเป็นการแสดงค่าได้ เราสามารถตอบสนองต่อข้อความที่เปลี่ยนแปลงในแท็กชื่อบล็อกได้ โดยผ่านทางอีเวนต์ Change

Text1

คุณสมบัติที่สำคัญ คือ

- **Text** คือข้อความที่แสดงในแท็กชื่อบล็อก
- **Enable** คือการกำหนดให้สามารถเปลี่ยนแปลงค่าในแท็กชื่อบล็อกได้ ถ้ากำหนดเป็น True จะสามารถเปลี่ยนแปลงค่าในแท็กชื่อบล็อกได้ แต่ถ้ากำหนดเป็น False ก็จะไม่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าในแท็กชื่อบล็อกได้

### เลเบล (Label)

เลเบลเป็นคอนโทรลที่ใช้ในการแสดงข้อความที่เราต้องการบนฟอร์ม ซึ่งใช้อธิบายข้อมูลบางอย่างแก่ผู้ใช้ โดยผู้ใช้ไม่สามารถแก้ไขข้อความในเลเบลได้ในคอนโรนโปรแกรม แต่สามารถแก้ไขข้อมูลได้โดยใช้คำสั่งโปรแกรมคอนโรน และคอนออกเนบ โปรแกรมเท่านั้น

ส่วนใหญ่เราจะใช้เลเบลในการอธิบายการทำงาน รวมทั้งแสดงสถานะบางอย่างเช่น ใช้อธิบายว่าแท็กชื่อบล็อกนี้รับข้อมูลอะไร หรือใช้แสดงข้อมูล, คำอธิบายบนฟอร์ม เป็นต้น

Label1

### ออปชั่นบัตตอน (Option Button)

คอนโทรลอปชั่นบัตตอนใช้สำหรับเป็นตัวเลือกให้แก่ผู้ใช้ โดยหากมีหลายออปชั่นบัตตอนบนฟอร์ม ผู้ใช้จะเลือกออปชั่นบัตตอนได้ครั้งละ 1 ตัวเท่านั้น ซึ่งเมื่อเราเลือกออปชั่นบัตตอนหนึ่งจะทำให้ออปชั่นบัตตอนเดิมที่เราเลือกเปลี่ยนไปเป็น ไม่ถูกเลือกโดยอัตโนมัติ

เราสามารถใช้คอนโทรลเฟรมในการแบ่งกลุ่มของตัวเลือกต่าง ๆ โดยที่ในแต่ละกลุ่ม ผู้ใช้จะเลือกได้เพียงตัวเลือกเดียวเท่านั้น

Option1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณสมบัติที่สำคัญคือ

- **Value** ใช้กำหนดสถานะของออบเจกต์บัตทอนว่าถูกเลือกหรือไม่ ถ้าถูกเลือกจะมีค่าเป็น True ถ้าไม่ถูกเลือกจะมีค่าเป็น False
- **Caption** คือข้อความที่กำหนดไว้ข้างออบเจกต์บัตทอนเพื่อบอกให้ผู้ใช้งานรู้
- **Enable** เหมือนกับคอนโทรลอื่นที่กล่าวมาแล้ว

### คอมโบบ็อกซ์ (Combo Box)

คอมโบบ็อกซ์ เป็นคอนโทรลที่แสดงรายการให้ผู้ใช้งานเลือก โดยที่สามารถเลือกได้ครั้งละรายการ ถ้ารายการที่แสดงในคอมโบบ็อกซ์มีมากกว่าที่แสดงได้ทั้งหมด จะมีสกอลบาร์แนวตั้งขึ้นมาให้เราเลื่อนดูรายการที่เหลือได้



คุณสมบัติที่สำคัญคือ

- **Enable** เหมือนกับคอนโทรลอื่นที่กล่าวมาแล้ว

### ไทม์เมอร์ (Timer)

จุดประสงค์ของการใช้คอนโทรลไทม์เมอร์ คือให้มีการทำงานบางอย่างทุกๆ ช่วงเวลาที่เรากำหนด ซึ่งช่วยให้การทำงานบางอย่างถูกทำแบบฉากหลังพร้อมๆ กับมีโปรแกรมอื่นทำงาน อยู่ด้วย คอนโทรลนี้จะไม่สามารถมองเห็นได้เมื่อรันโปรแกรม (เราเรียกคอนโทรลประเภทนี้ว่า Non Visual Interface) ซึ่งก็คือจะ ไม่เห็นตัวคอนโทรลในขณะที่รันโปรแกรมขึ้นมา



คุณสมบัติที่สำคัญคือ

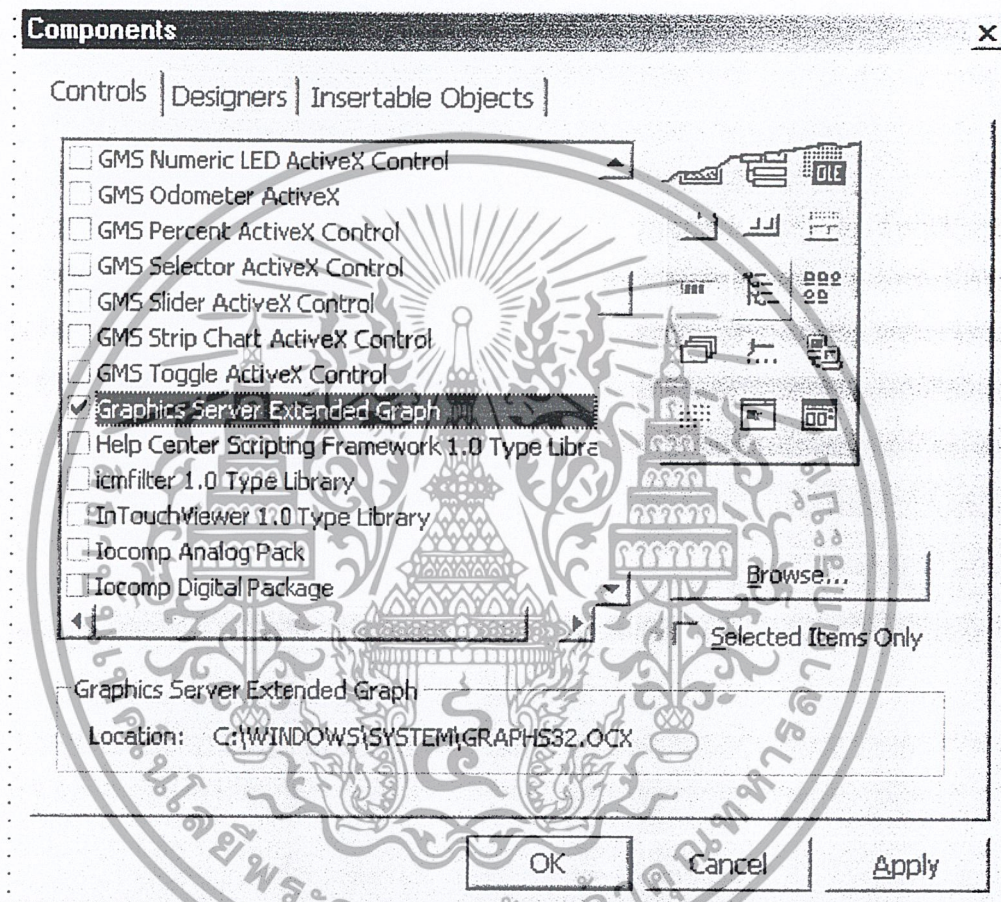
- **Interval** เป็นคุณสมบัติที่บอกว่าการให้เกิดอีเวนต์ Timer เว้นช่วงเวลาห่างกันเท่าไร มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที (1/1000 วินาที)
- **Enable** เหมือนกับคอนโทรลอื่นที่กล่าวมาแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### กราฟ (Graph 32.ocx)

คอนโทรลตัวนี้อยู่ใน CD แผ่นที่ 3 ของโปรแกรม Visual Studio เวอร์ชัน 6.0 ซึ่งไฟล์นี้อยู่ในโฟลเดอร์ \COMMON\TOOLS\VB\CONTROLS ซึ่งก่อนใช้งานคอนโทรลนี้เราต้อง Register คอนโทรลนี้โดยเรียกไฟล์ VBctrls.reg เพื่อให้สามารถนำคอนโทรลนี้มาใช้ได้

จากนั้นให้เราเพิ่มคอนโทรล Graph นี้เข้าไปในโปรเจกต์ผ่านทางไดอะล็อกซ์ Components ดังรูป



รูปที่ 6.1 แสดง Control ของ Visual Basic

คอนโทรล Graph นี้จะสามารถแสดงกราฟได้หลายรูปแบบ เช่น กราฟแท่ง 2-3 มิติ, กราฟวงกลม หรือ กราฟแท่งก็ได้ ในโครงการนี้จะใช้กราฟเส้นแสดงผล ซึ่งทำให้ดูผลได้ง่าย, ชัดเจน และใกล้เคียงกับสัญญาณ อินพุตมากที่สุด การกำหนดลักษณะของกราฟ ทำได้โดยผ่านทางคุณสมบัติ GraphType



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสั่งที่สำคัญที่ใช้ในการสร้างกราฟคือ

ObjectName.ThisPoint = I

เป็นการกำหนดจุดที่ใส่ข้อมูล

ObjectName.GraphData = n

เป็นการกำหนดข้อมูลบนแกน Y ที่ตำแหน่ง I

โดยที่ ObjectName คือชื่อของออบเจกต์กราฟ

I และ n เป็น ค่าตัวเลข

### Microsoft Comm Control

คอนโทรล MSComm (Communications) เป็นคอนโทรลตัวหนึ่งที่จะช่วยในการติดต่อพอร์ทอนุกรม (Serial Port) ซึ่งสามารถทำการส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ทอนุกรมได้ด้วยคอนโทรลนี้ เช่น การติดต่อโดยตรงกับบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งคอนโทรล MSComm ที่มากับ Visual Basic จะเป็นคอนโทรลที่ทำงานโดยมีการตอบสนองต่อเหตุการณ์แบบ event-driven นั่นก็คือคอนโทรลจะทำหน้าที่ตรวจสอบการเกิดขึ้นหรือการร้องขอให้เกิดเหตุการณ์ต่าง ๆ กับพอร์ทอนุกรมโดยอัตโนมัติ และจะมีการแจ้งเตือนให้ทราบทางโพธิ์เซอร์เหตุการณ์เช่นเดียวกับคอนโทรลทั่วไปของ Visual Basic นั่นเอง ดังนั้นในการเขียนโค้ดจึงไม่จำเป็นต้องสร้างโพธิ์เซอร์ที่ทำหน้าที่คอยตรวจสอบเหตุการณ์ต่าง ๆ ของพอร์ทอนุกรม ซึ่งจะช่วยให้ง่ายต่อการใช้งานเป็นอย่างมาก

การเพิ่มคอนโทรล Microsoft Comm Control ทำได้โดยเรียกหน้าต่าง Components แล้วเลือกที่ Microsoft Comm Control 6.0

คอนโทรล MSComm จะมีหน้าที่มาตรฐานหลัก ๆ สำหรับการสื่อสารผ่านพอร์ทอนุกรมดังต่อไปนี้

- หมุนหมายเลขติดต่อกับโพธิ์เซอร์ปลายทางที่กำหนด
- ตรวจสอบการเข้ามาของข้อมูลยังพอร์ทอนุกรมโดยอัตโนมัติ
- ส่งข้อมูลตามที่กำหนดจากโปรแกรมไปยังพอร์ทอนุกรม

ในความเป็นจริงคอนโทรล MSComm ไม่ได้ทำหน้าที่ติดต่อกับพอร์ทอนุกรมโดยตรง แต่มันจะทำหน้าที่เรียกใช้ฟังก์ชันวินโดวส์ API ซึ่งวินโดวส์จะทำการส่งหรือรับข้อมูลผ่านทางพอร์ทอนุกรมโดยอาศัยไดรเวอร์ Comm.drv อีกทอดหนึ่ง ดังนั้นจึงสามารถสรุปสั้น ๆ ได้ว่าทุกครั้งที่มีการเรียกใช้คอนโทรล MSComm ก็หมายถึงเรียกใช้ฟังก์ชันวินโดวส์ API ซึ่ง

จะถูกตีความอีกทอดหนึ่งโดยไดรเวอร์ Comm.drv จากนั้นก็จะส่งผ่านข้อมูลที่ถูกจัดรูปแบบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามมาตรฐานการสื่อสาร (ทั้งนี้ก็ขึ้นกับอุปกรณ์ที่ต่อเข้ากับพอร์ตอนุกรม) ให้กับดีไวซ์ใดเรเวอร์อีกทอดหนึ่งนั่นเอง

เหตุการณ์ที่สำคัญของคอนโทรล MSComm คือ CommEvent จะรายงานเหตุการณ์ทุกครั้งที่เกิดข้อผิดพลาดหรือมีการสื่อสาร ซึ่งสามารถอ่านค่าได้เฉพาะในขณะที่ทำงานเท่านั้น รูปแบบคำสั่งคือ

### Object.CommEvent

คอนโทรล MSComm จะมีการเรียกโพรซีเจอร์เหตุการณ์ OnComm ทุกครั้งที่เกิดข้อผิดพลาดหรือมีการสื่อสารเกิดขึ้น ซึ่งค่าตัวเลขที่จำนวนเต็ม แสดงถึงข้อผิดพลาดหรือเหตุการณ์ที่มีการสื่อสารดังกล่าว ก็จะถูกจัดเก็บเอาไว้ในคุณสมบัติ CommEvent เสมอ ดังนั้น ถ้าหากต้องการคุณสมบัติที่สำคัญคือ

- **CommPort** เป็น รายงานหรือกำหนดหมายเลขของพอร์ตอนุกรมของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต้องการติดต่อ สำหรับหมายเลขของพอร์ตอนุกรมสามารถมีค่าได้ตั้งแต่ 1 ถึง 16 (ค่าปกติจะเท่ากับ 1 ) ซึ่งก่อนที่จะเปิดพอร์ตด้วยคุณสมบัติ Port Open ต้องกำหนดหมายเลขของพอร์ตอนุกรมให้กับคุณสมบัติ CommPort ไม่เป็นความจริง ก็จะเกิดข้อผิดพลาด(Device unavailable) ทันที ซึ่ง ในกรณีนี้สามารถแก้ไขได้โดยการกำหนดหมายเลขที่มี ของพอร์ตที่อนุกรมที่ถูกต้องเสียใหม่ แล้วจึงทำการเปิดพอร์ตอนุกรมอีกครั้งด้วยคุณสมบัติPort Open

ตารางที่ 6.2 แสดงการตรวจเหตุการณ์ (Event)

ค่าคงที่	ค่าตัวเลข	รายละเอียด
ComEvSend	1	มีจำนวนตัวอักษรในบัฟเฟอร์ด้านส่งออกข้อมูลน้อยกว่าจำนวนตัวอักษรที่กำหนดในคุณสมบัติ
ComEvReceive	2	การรับเข้าจำนวนตัวอักษรที่ถูกกำหนดในคุณสมบัติ Rthreshold ซึ่งจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องจนกว่าผู้อ่านจะใช้คุณสมบัติ Input ในการอ่านข้อมูลจากบัฟเฟอร์สำหรับรับเข้าข้อมูล
ComEvCTS	3	มีการเปลี่ยนสถานะของสายสัญญาณ Clear To Send
ComEvDSR	4	มีการเปลี่ยนสถานะของสายสัญญาณ Data Set Ready ซึ่งเหตุการณ์นี้จะเกิดขึ้นเมื่อมีการเปลี่ยนสถานะของสายสัญญาณ Data Set Ready จาก 1 เป็น 0 เท่านั้น
	5	มีการเปลี่ยนสถานะของสายสัญญาณ Carrier Data
Com EvRing	6	มีการตรวจพบการเรียกหมายเลข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **InBuffer Size** เป็น รายงานหรือกำหนดขนาดบัฟเฟอร์ด้านรับเข้า ซึ่งมีหน่วยเป็น ไบต์ (โดยปกติ 1 ไบต์จะเท่ากับ 1 ตัวอักษร) ในการเลือกขนาดของบัฟเฟอร์ด้านรับเข้าที่เหมาะสมนั้นในทางปฏิบัติเป็นสิ่งที่ยากมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของข้อมูลที่มีการส่งไปมาในแต่ละครั้งและความเร็วของการสื่อสาร (Transmission rate) ของพอร์ท ซึ่งโดยปกติโปรแกรมเมอร์โดยทั่วไป
- **Input** คือการรับข้อมูลจากบัฟเฟอร์ ซึ่งสามารถกำหนดค่าได้เฉพาะในขณะที่ทำงานในรูปแบบการใช้งาน คือ

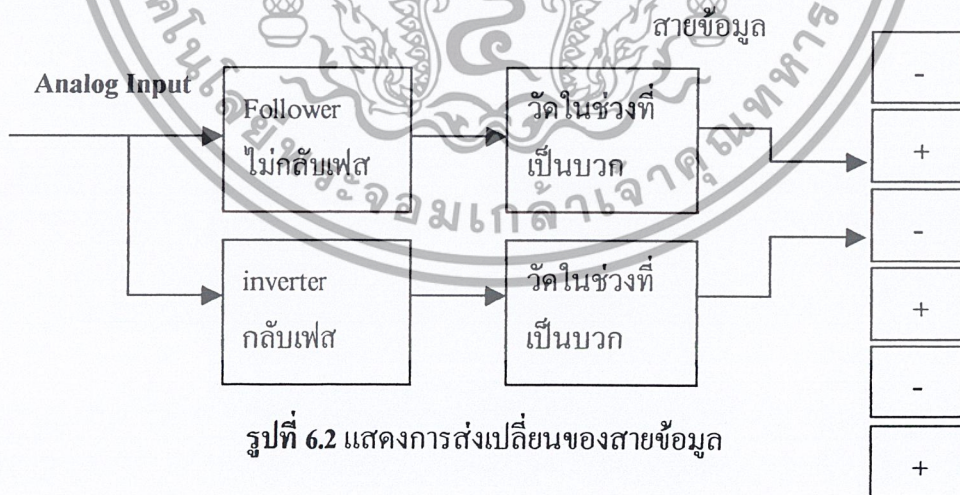
**Object.Input**

ทุกครั้งที่มีการใช้คุณสมบัติ Input ในการอ่านข้อมูลจากบัฟเฟอร์ด้านรับเข้า นั้น จำนวนของตัวอักษรที่อ่าน ได้จะถูกกำหนดลงในคุณสมบัติ InputLen ทั้งนี้ซึ่งถ้าหากกำหนดให้คุณสมบัติ InputLen มีค่าเท่ากับ 0 ก็จะหมายถึงการกำหนดให้คุณสมบัติ Input อ่านข้อมูลทั้งหมดจากบัฟเฟอร์ด้านรับเข้า นั้นเอง ซึ่งชนิดของข้อมูลที่อ่าน โดยคุณสมบัติ Input จะเป็นข้อมูลแบบข้อความหรือไบนารี ก็ขึ้นกับการกำหนดค่าของคุณสมบัติ InputMode

- **Output** คือการส่งข้อมูลไปยังบัฟเฟอร์ด้านส่งออก ซึ่งสามารถกำหนดค่าได้เฉพาะในขณะที่ทำงานเท่านั้น รูปแบบการใช้งานคือ

**Object.Output [= value]**

สำหรับชนิดของข้อมูลที่ถูกส่ง โดยคุณสมบัติ Output จะเป็นข้อมูลแบบข้อความหรือไบนารี ก็ขึ้นกับการกำหนดค่าของคุณสมบัติ InputMode ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น



รูปที่ 6.2 แสดงการส่งเปลี่ยนของสายข้อมูล

หน้าที่หลักของโปรแกรมด้านเซิร์ฟเวอร์คือ ส่งสัญญาณให้ชุดอ่านสัญญาณเริ่มต้นอ่านสัญญาณในช่วงเวลาหนึ่งจนครบตามจำนวนที่กำหนดเป็นกรอบข้อมูลในที่นี้ใช้ ขนาด 66 ไบต์ และเมื่อได้รับการตอบกลับจากชุดอ่านสัญญาณ ก็จะอ่านข้อมูลในบัฟเฟอร์เข้าไปใน โปรแกรมเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวน 66 ไบต์ ค่าที่ได้จะเป็นค่าแบบไบนารี ซึ่งมีค่า ตั้งแต่ 00h จนถึง FFh นำค่าที่ได้ มาแปลงเป็นค่าแรงดัน 0 ถึง 5000 มิลลิโวลต์ (ตามค่าของแรงดันอ้างอิง ของ ADC) ตามสมการ

$$V = B = (((B - 0) * 5000) / 255)$$

โดย V คือค่าแรงดันที่แปลงได้ ในช่วง 0 - 5000 มิลลิโวลต์

B คือ ค่าไบนารีที่รับมาจากชุดวัดสัญญาณ

ค่าที่ได้เป็นค่าบวกทั้งหมด แต่โปรแกรมจะเข้าใจว่าค่าที่ได้เป็นค่าบวกสลับกับค่าลบ โดยที่ลำดับที่เป็นคู่ (0, 2, 4 ...) เป็นค่าของ ADC ตัวแรกที่วัดค่าช่วงบวก ถ้าเป็นศูนย์ แสดงว่าตำแหน่งนั้นเป็นค่าลบให้ทำการประมาณค่า โดยนำเอาค่าข้างเคียงทั้งสองมาประมาณค่า

$$V(I) = (V(I-1) + V(I+1)) / 2$$

โดยที่ I เป็นตัวชี้ตำแหน่งลำดับที่ของข้อมูล (Index)

และลำดับที่เป็นคี่ (1, 3, 5 ...) เป็นค่าของ ADC ตัวที่สองที่วัดค่าช่วงลบ ถ้าเป็นศูนย์ แสดงว่า ตำแหน่งนั้นเป็นค่าบวกให้ทำการประมาณค่า โดยนำเอาค่าข้างเคียงทั้งสองมาประมาณค่า เช่นเดียวกันกับข้างต้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

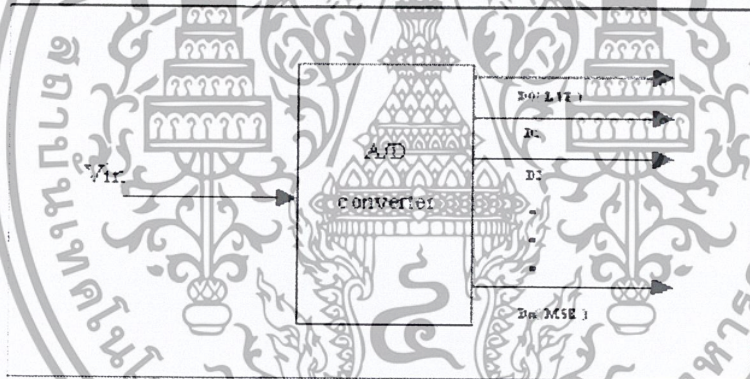
# บทที่ 7

## Analog to Digital Converter(ADC)

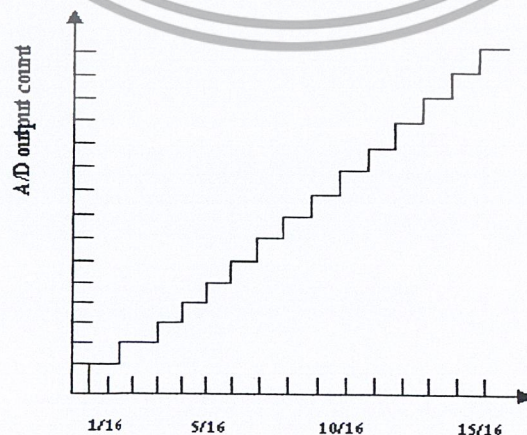
### 7.1 การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

ในการวัดสัญญาณต่างๆ ด้วยคอมพิวเตอร์พีซีนั้น ปกติแล้วจะทำการประมวลผลข้อมูลด้วยซอฟต์แวร์จากพีซี ซึ่งการรับข้อมูลของพีซีเป็นแบบดิจิทัล ดังนั้นในการติดต่อกับสัญญาณอนาล็อกที่ได้จากอุปกรณ์ภายนอกหรือจากตัวแปลงสัญญาณดังนั้นจำเป็นต้องมีการแปลงสัญญาณอนาล็อกที่ส่วนดังกล่าวให้เป็นสัญญาณดิจิทัลเสียก่อนแล้วจึงนำมาประมวลผล

A/D Converter นั้นก็คืออุปกรณ์แปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล รูปที่ 7.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมของ A/D Converter วงจรนี้จะผลิตเอาต์พุตแบบ ไบนารี n บิต ซึ่งเป็นสัดส่วนกับแรงดันอินพุต รูปที่ 7.2 แสดงถึงคุณสมบัติของ A/D Converter



รูปที่ 7.1 แสดงสัญญาณของ A/D คอนเวอร์เตอร์



รูปที่ 7.2 คุณสมบัติของ A/D Converter แบบ 4 บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7.2 หลักการทำงานของ A/D คอนเวอร์เตอร์

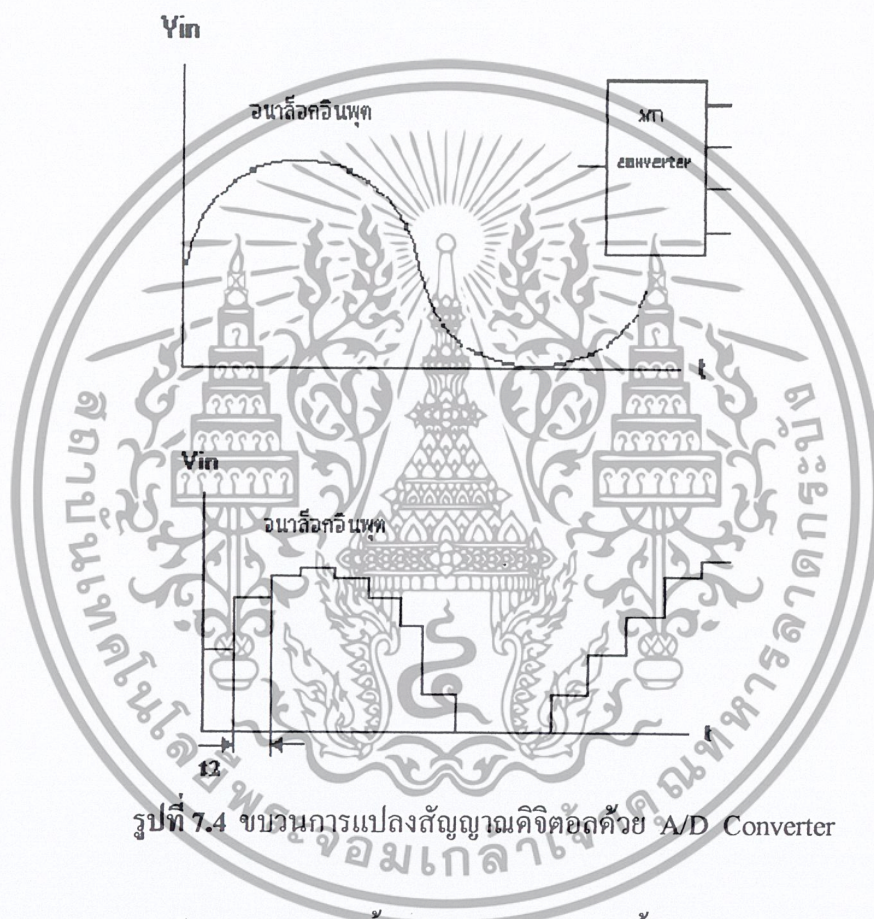
A/D Converter อินพุตเป็นสัญญาณอนาล็อก และส่วนเอาต์พุตเป็นสัญญาณดิจิทัล จำนวน  $n$  บิต อินพุตของ A/D Converter เป็นสัญญาณอนาล็อกที่ผ่านออกมาจากวงจรแอมป์เปิดและโฮลด์ (Sample And Hold) ซึ่งส่วนของวงจรนี้ทำหน้าที่รับสัญญาณอนาล็อกที่ต้องการแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลเข้ามาในวงจรแล้วนำเอาต์พุตไปต่อเชื่อมกับอินพุตของ A/D Converter โดยการแปลงสัญญาณจาก A/D Converter แต่ละครั้ง วงจรนี้จะรับสัญญาณอนาล็อกแล้วส่งเข้าที่ขาอินพุตของ A/D Converter ในช่วงเวลาที่เท่ากับเวลาแอมป์เปิด (Sample Time) ที่กำหนดจากความถี่แอมป์เปิด (Sample Frequency) ที่กำหนดในวงจร ดังนั้นในการควบคุมการทำงานของ A/D Converter ในการแปลงสัญญาณจะมีค่าจำนวนข้อมูลเท่าใดพิจารณาได้จากความถี่แอมป์เปิด ภายในของชุดวงจรแอมป์เปิดและโฮลด์นี้ อย่างไรก็ตามการพิจารณาเวลาการทำงานของ A/D Converter ยังขึ้นอยู่กับผลของเวลาในการแปลงสัญญาณ (Conversion Time,  $t_c$ ) ภายใน A/D Converter คือเวลาที่ใช้ระหว่างที่อินพุตเข้ามาจนถึงการแสดงค่าระดับเอาต์พุตใหม่ ตามรูปที่ 7.3 เกิดผลการหน่วงเวลา (Time Delay) ขึ้น



รูปที่ 7.3 แสดงการตอบสนองของเวลาแปลงสัญญาณของ A/D Converter

พิจารณาตามรูปที่ 7.3 อินพุตจากสัญญาณอนาล็อก ที่เข้าใน A/D Converter จะอยู่ ณ เวลา  $t_1$  และสัญญาณตอบสนองของอินพุตอนาล็อกนั้นเกิดขึ้น โดยผลต่างของเวลาทั้งสองคือเวลาในการแปลงสัญญาณ  $t_c$  ซึ่งเวลาดังกล่าวนี้เป็นเวลาที่ ใช้จริงของ A/D Converter ในการแปลง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล ดังนั้นการกำหนดเวลาแซมเปิลจากความถี่แซมเปิลควรมีเวลามากกว่าเวลาในการแปลงสัญญาณจาก A/D Converter เพราะสัญญาณอนาล็อกที่เป็นอินพุตต้องคงค่าอยู่ตลอดเวลาในการแปลงสัญญาณ จึงจะได้ค่าดิจิทัลเอาต์พุตที่ถูกต้องและเพื่อให้ทราบถึงผลของการแซมเปิลจนสัญญาณอินพุตอนาล็อกไปเป็นเอาต์พุตพิจารณาจากกราฟไซน์ ดังรูปที่ 7.4 ไบนารีเอาต์พุต



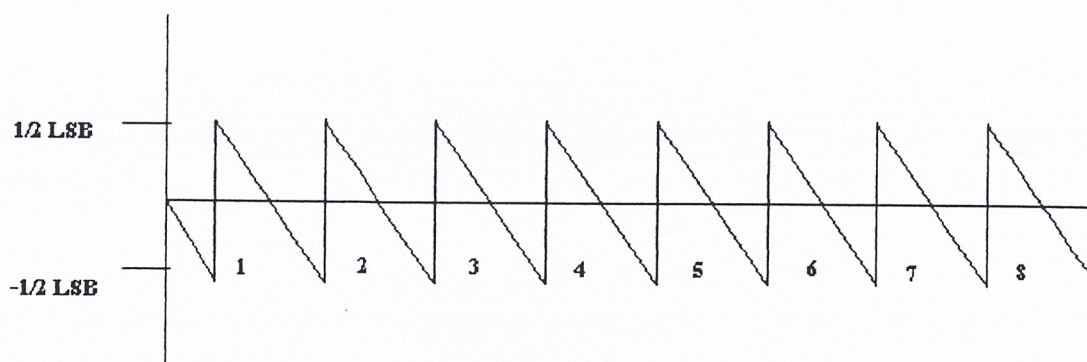
รูปที่ 7.4 ขบวนการแปลงสัญญาณดิจิทัลด้วย A/D Converter

ถ้าให้เวลาแปลงสัญญาณน้อยมากๆ จนตัดทิ้งได้เวลาในการแซมเปิลถึง  $1/10$  ของสัญญาณอินพุตจะได้กราฟเป็นลักษณะตามรูปที่ 7.4 ถ้าลดเวลาแซมเปิลให้น้อยลงจะเพิ่มเรโซลูชัน(เอาต์พุตบิต)ให้มากขึ้นก็ได้ผลของสัญญาณอนาล็อกอินพุตมากขึ้น

### 7.3 ความผิดพลาดของ A/D Converter

หลักสำคัญที่ใช้ในการพิจารณาคุณสมบัติของการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลนั้นสามารถสังเกตได้จากรูปที่ 7.2 จะเห็นจำนวนขั้นบันไดทั้งหมดมี 15 ขั้นเอาต์พุตของ A/D Converter ประมาณว่าเป็นสัญญาณอินพุตแบบดิจิทัล กราฟแสดงข้อผิดพลาดในเอาต์พุตที่ถูกต้องๆ ได้จากรูปที่ 7.3

เอกสารนี้จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.5 ข้อผิดพลาดของ A/D Converter

ในกรณีของ A/D Converter ที่มีเรโซลูชันสูงๆ (เอาต์พุตบิตมากๆ) ความกว้างสูงสุดของส่วนข้อผิดพลาด ( $-1/2 \text{ LSB}$  ถึง  $1/2 \text{ LSB}$ ) จะลดลงซึ่งตามทฤษฎีแล้วถ้าเป็น A/D Converter ในอุดมคติจะต้องมีจำนวนเอาต์พุตมากนับไม่ถ้วน (ถึงอนันต์) ดังนั้นจะมีค่าเรโซลูชันถึงอนันต์ทำให้กราฟรูปที่ 7.5 ขนาดแกนตั้งเท่ากับ 0 หรือความแตกต่างระหว่าง  $-1/2 \text{ LSB}$  ถึง  $1/2 \text{ LSB}$  มีค่าประมาณ 0 การสร้าง A/D Converter ซึ่งเรียกข้อผิดพลาดนี้ว่าข้อผิดพลาดควอนไทไรซ์เป็นข้อผิดพลาดที่ไม่สามารถกำจัดทิ้ง

ข้อผิดพลาดอีกอย่างหนึ่งคือผลออฟเซตที่เกิดขึ้นในการแปลงสัญญาณของตัว A/D Converter ทำให้ผลการแปลงผิดพลาดไปได้แต่กรณีออฟเซตนี้สามารถแก้ไขได้โดยการปรับค่าความต้านทานอินพุตเข้า A/D Converter เอาต์พุตของ A/D Converter เกิดโอเวอร์ซิง (aliasing) ขึ้นในการใช้งานที่มีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณอินพุตเร็วๆ ควรที่จะใช้การแซมเปิลแบบความเร็วสูงเพื่อจะได้ความถูกต้องมากขึ้นซึ่งเราทราบว่าในปัจจุบันการควบคุมระบบจะใช้การแซมเปิลที่มีอัตราสูง อัตราการแซมเปิลมากที่สุดถูกจำกัดโดยความเร็วที่ใช้ในการแปลงสัญญาณของ A/D Converter เช่นถ้าแซมเปิลทุก  $10 \text{ nS}$  ก็จะไม่ดีเมื่อความเร็วการแปลงสัญญาณเป็น  $500 \text{ nS}$  จะทำให้เอาต์พุตออกมาช้าไปใช้งานไม่ได้

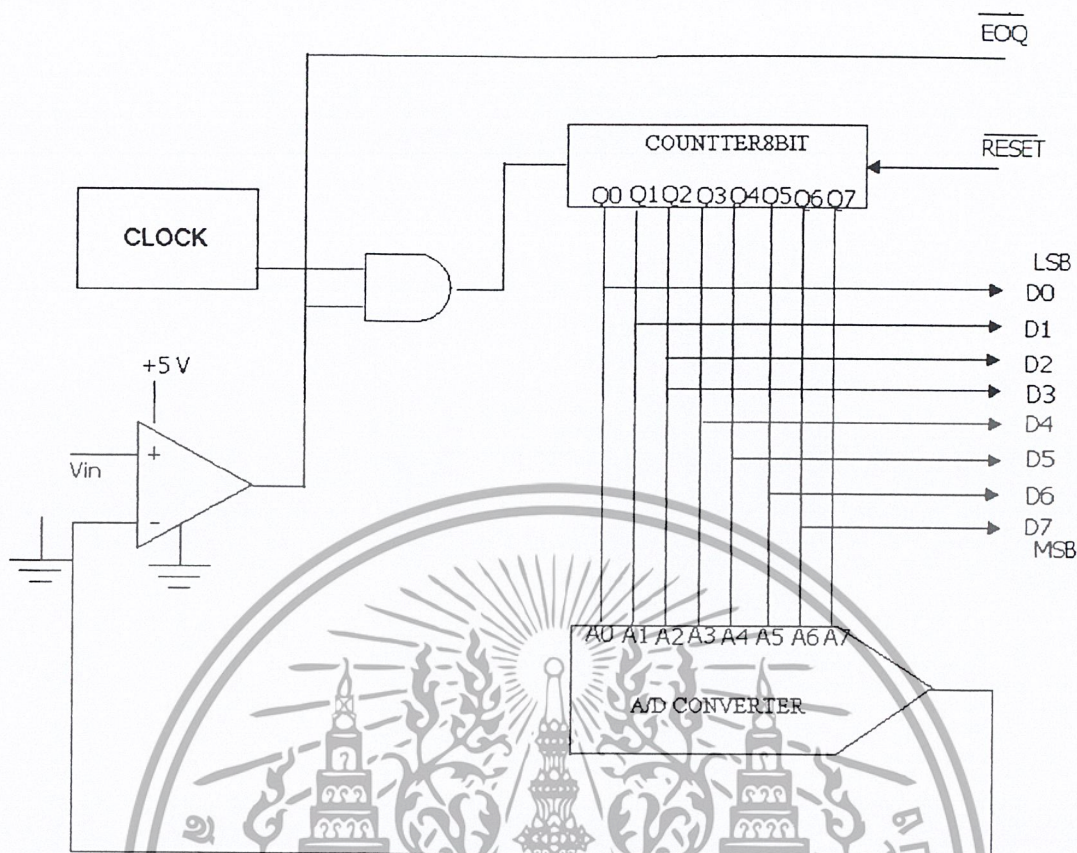
#### วงจรของ A/D Converter

ในปัจจุบันมีวิธีการและเทคนิคมากมายเกี่ยวกับการแปลงสัญญาณ แต่วิธีการหลัก ก็จะเป็นพวกของมันต่อไปนี้ เช่น แรมป์ A/D Converter (Ramp A/D Converter) , ซัสเซสซีฟแอบพลีอักษิเมชัน A/D Converter ( Successive Approximation A/D Converter, SAR)

#### แรมป์เอาต์พุตของ A/D Converter

เป็น A/D Converter ที่เข้าใจการทำงานได้ง่ายที่สุดโดยแสดงโครงสร้างการทำงานดังรูปที่ 7.6 ซึ่งเมื่อดูจากรูปสามารถอธิบายการทำงานตามหลักการได้ดังนี้

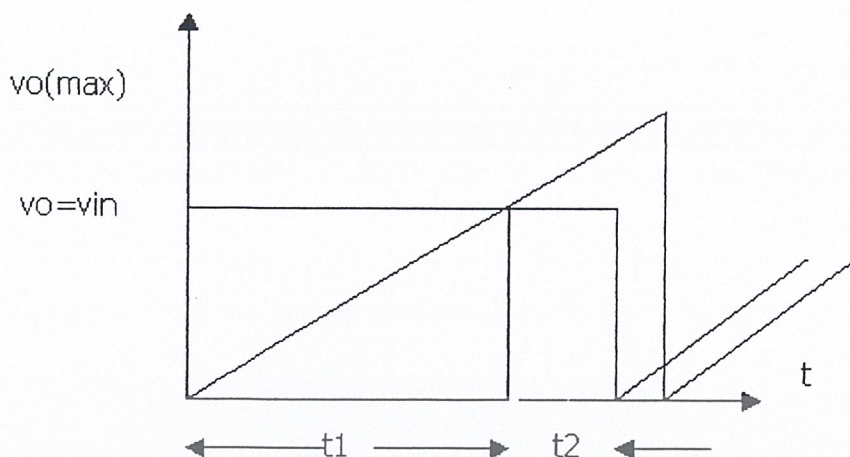
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.6 A/D คอนเวอร์เตอร์

1. คอมพิวเตอร์ส่งสัญญาณรีเซ็ตไปที่เคาเตอร์เพื่อให้สามารถรับสัญญาณอินพุตได้โดยขณะนี้ผลจากเอาต์พุตของ A/D Converter ( $V_o$ ) มีค่าอยู่ที่ระดับต่ำสุด
2. การทำงานของวงจรมีการเปลี่ยนแปลงความถี่ของสัญญาณนาฬิกาซึ่งสัญญาณเอาต์พุตถูกนำมา AND กับสัญญาณนาฬิกาแล้วจึงส่งไปยังเคาเตอร์เป็นผลให้  $V_o$  แสดงระดับแรงดันที่สูงขึ้นทีละ 1 LSB
3. ณ จุดเดียวกันนั้นตัวเคาเตอร์จะนับเพิ่มขึ้นจนกระทั่งเอาต์พุตของ A/D Converter สูงกว่าค่าแรงดันอินพุต  $V_{in}$  เมื่อถึงจุดนี้ของคอมพิวเตอร์จะแสดงค่าไปจนกระทั่งเป็น 0 โวลต์ เมื่อถึง 0 โวลต์ที่จะหยุดสัญญาณนาฬิกาและหยุดการนับที่จุดซึ่ง  $V_o$  เริ่มมากกว่า  $V_{in}$  ขา EOC จะลดระดับเป็นระดับ ต่ำและส่งสัญญาณไปให้คอมพิวเตอร์ ว่าข้อมูลขณะนี้พร้อมที่จะอ่าน ได้แล้ว ซึ่งข้อมูลที่ส่งไปยังคอมพิวเตอร์อ่านข้อมูลโดยผ่าน ไปทางอินพุตพอร์ทหลังจากคอมพิวเตอร์อ่าน
4. ข้อมูลเสร็จ คอมพิวเตอร์ก็จะส่งสัญญาณรีเซ็ตมาที่ A/D Converter หลังจากนั้นก็เริ่มทำกระบวนการแบบเดิมอีกครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



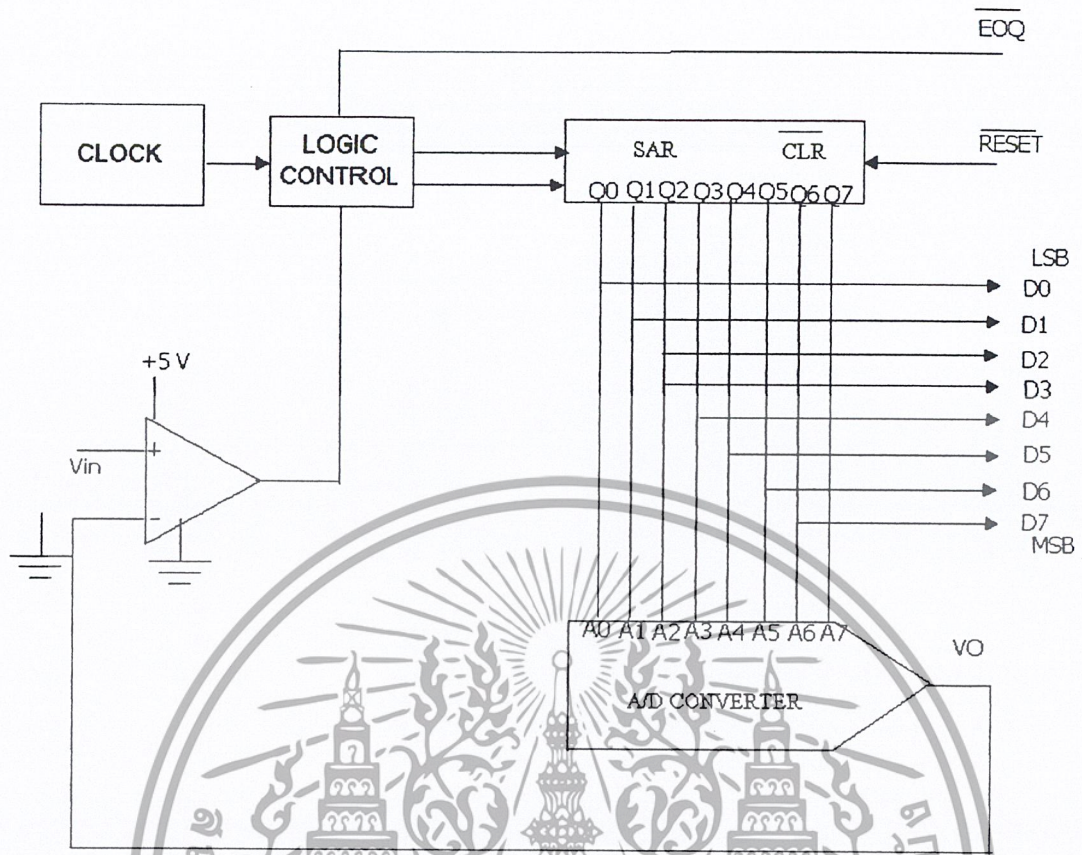
รูปที่ 7.7 กราฟเอาต์พุตของส่วน D/A ของ A/D Converter

กราฟรูปนี้แสดงถึงการทำงานของ แรมป์ โดย  $t_1$  แทน เวลาที่ใช้นับแรมป์ เอาต์พุตของที่มี D/A converter ที่เริ่มจะเลย  $V_{in}$  และ  $t_2$  แทนเวลา ระหว่างที่คอมพิวเตอร้อ่านข้อมูลและส่งสัญญาณ รีเซตกลับมาให้ A/D Converter เริ่มต้นกระบวนการเดิมอีกครั้งหนึ่ง ดังนั้นในการเก็บข้อมูล ค่า จะต้องใช้เวลาในการแปลงสัญญาณ 2 ช่วงด้วยกันคือ เวลา  $t_1$  ถูกกำหนดโดยค่าของ  $V_{in}$  และความถี่ของสัญญาณนาฬิกา ส่วนเวลา  $t_2$  ถูกกำหนด โดยเวลาของคอมพิวเตอร้อ่านข้อมูลและส่ง สัญญาณรีเซตกลับ

#### 7.4 ซีพอสซิปแอมป์ล็อกซิมเพิล A/D Converter

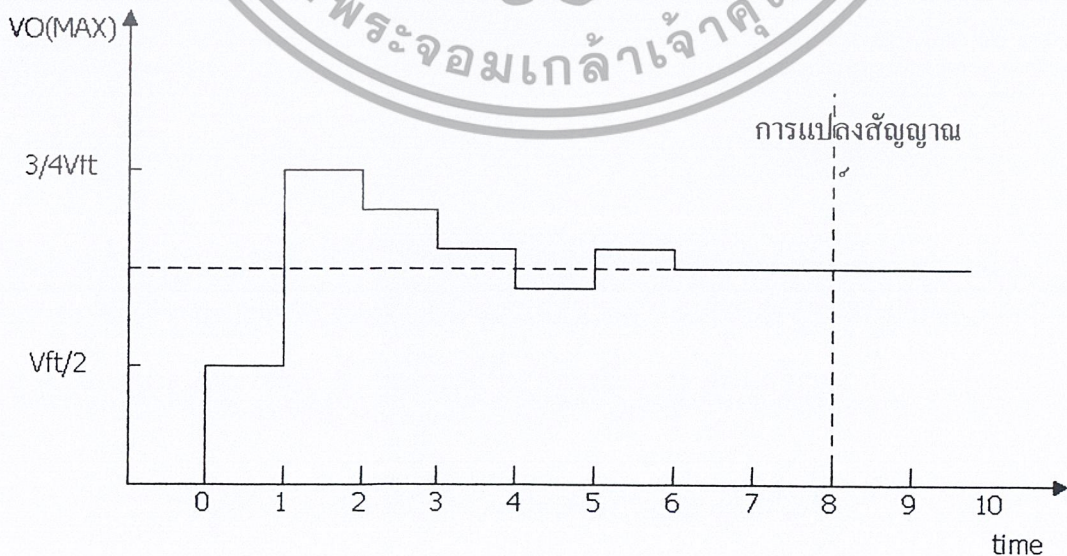
SAR เป็นตัวหลักของ A/D Converter ซึ่งมีลักษณะใกล้เคียงกับแบบแรมป์ โดยโครงสร้างการทำงานแสดงดังรูปที่ 7.7 ซึ่งเป็นการแสดงบล็อก ไดอะแกรม A/D Converter แบบ SAR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.8 คอนเวอร์เตอร์ซึ่งใช้เทคนิค SAR

SAR คอนเวอร์เตอร์ต้องใช้ D/A converter และคอมพาราเตอร์ในการทำงานเหมือนกัน ส่วนแตกต่างกันจะเห็นได้แก่ ส่วนเคาท์เตอร์วิธีที่เร अभीทำงาน โดยอาศัยการนับขึ้นในลำดับไบนารี จนกระทั่งเกิน  $V_i$  ทำงานของ SAR คอนเวอร์เตอร์จะอธิบายต่อไปและใช้รูปที่ 7.8 และ 7.9 ในการบรรยาย



รูปที่ 7.9 กราฟของส่วน D/A ระหว่างการแปลงสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใช้ได้เห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การเริ่มต้นของการเปลี่ยนแปลงจากสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล พิจารณาจากสัญญาณนาฬิกาที่ส่งไปยังระบบควบคุมลอจิก โดยเอาท์พุทของระบบควบคุมลอจิกจะส่งพัลส์หนึ่งลูกให้กับ SAR เพื่อเซตค่าของ MSB และลบค่าเอาท์พุทที่ยังเหลืออยู่ ซึ่งจะทำให้ค่าของ  $V_0$  เท่ากับค่า  $V_{ft}/2$  ในรูปที่ 7.9 ซึ่งจะน้อยกว่าค่า  $V_{in}$  และเอาท์พุทของคอมพาราเตอร์จะยังคงอยู่ในระดับ “1” ระบบควบคุมลอจิกจะตรวจสอบด้วยว่าคอมพาราเตอร์ยังคงเป็น “1” อยู่ที่จะส่งสัญญาณไปที่ SAR ซึ่งจะค้ำค่าของ MSB เป็นลอจิก “1” ที่ Q7

2. เมื่อมีสัญญาณนาฬิกาถูกตัดไป MSB ตัวใหม่ซึ่งอยู่ที่ Q6 ของ SAR จะถูกเซตค่าเป็น “1” ดังรูปที่ 7.9 เอาท์พุทของ D/A จะเกินค่าของ  $V_{in}$  ทำให้เอาท์พุทของคอมพาราเตอร์เปลี่ยนระดับ ระบบควบคุมลอจิกตรวจสอบทราบก็จะไม่ทำการค้ำค่า Q6 นั่นคือค่าที่ค้ำที่ตำแหน่ง Q6 เท่ากับ “0”

3. สัญญาณนาฬิกาถูกถัดมา Q6 จะถูกเคลียร์และ Q5 จะถูกเซต จากการเปรียบเทียบได้เอาท์พุทของคอมพาราเตอร์เป็น “1” ส่วนควบคุมลอจิกก็จะไม่ทำการค้ำค่า Q5 ไว้เพราะยังสูงกว่าค่าของ  $V_{in}$

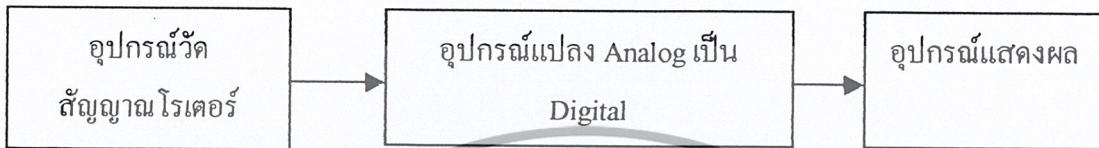
โดยปกติแล้ววงจรจะทดสอบเอาท์พุทโดยเริ่มต้นที่ MSB ของ SAR ถ้าเอาท์พุทของ D/A คอนเวอร์เตอร์เกินค่า  $V_{in}$  แล้วบิตนั้นจะค้ำค่าลอจิก “1” ไว้ ที่หลังตรวจสอบหมดแล้ว ไบนารีเอาท์พุทจะเป็นอัตราส่วนกับ  $V_{in}$  จะเห็นว่า A/D แบบนี้ดีกว่าแบบแร่มป์ คือเวลาในการแปลงสัญญาณเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนบิตของเอาท์พุท SAR

SAR A/D คอนเวอร์เตอร์ ก็มีข้อผิดพลาดแบบเดียวกับแบบแร่มป์ คือข้อผิดพลาดทางอัตราการขยายออฟเซต และความไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งเกิดขึ้นในส่วน D/A

## บทที่ 8

# เครื่องตรวจวัดคุณภาพของโรเตอร์แบบกรงกระรอก

### 8.1 หลักการทำงานของเครื่องตรวจวัดคุณภาพของโรเตอร์แบบกรงกระรอก



รูปที่ 8.1 แสดงการทำงานของเครื่องตรวจวัดคุณภาพของโรเตอร์แบบกรงกระรอก

### 8.2 การทำงานของอุปกรณ์วัดสัญญาณโรเตอร์

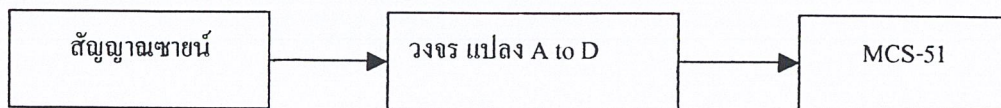


รูปที่ 8.2 ลำดับการทำงานของอุปกรณ์วัดสัญญาณ โรเตอร์

เมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับขดลวดจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กภายในสเตเตอร์เมื่อ โรเตอร์ที่ต้องการตรวจสอบหมุนตัดผ่านสเตเตอร์ทำให้เกิดแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำเป็นสัญญาณชาน์เนล โดยในแต่ละรูปคลื่นคือจำนวนบาร์ภายใน โรเตอร์สัญญาณที่ได้จะมีขนาดเล็กจึงต้องนำสัญญาณที่ได้ ไปทำการขยายโดยผ่านวงจรขยายสัญญาณแรงเคลื่อนเหนี่ยวนำที่เกิดขึ้นจะแปรผันตรงกับ กระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวด จำนวนรอบของขดลวด และ ความเร็วในการหมุนตัดผ่าน โรเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์แปลงอนาล็อกเป็นดิจิทัล



รูปที่ 8.3 แสดงลำดับการทำงานของอุปกรณ์แปลง อนาล็อก เป็น ดิจิตอล

เมื่อสัญญาณขาเข้าผ่านเข้าวงจรอนาล็อก เป็น ดิจิตอล เอาท์พุทที่ได้เป็น ดิจิตอลเข้า MCS-51 เพื่อเก็บข้อมูลที่ได้เตรียมส่งต่อไปยัง คอมพิวเตอร์ โดยผ่าน พอร์ตอนุกรม RS 232 โปรแกรม MCS-51

### 8.3 รูปแบบของโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์

```

    MAIN:  ORG      0000H
           MOV     TMOD,#021H
           MOV     TH1,#0FDH
           MOV     TL1,#0FDH
           MOV     P1,#0FFH
           SETB   TR1
           MOV     SCON,#040H
           ANL    PCON,#00H
           CLR    ES
           CLR    EA
           CLR    TI
           CLR    ET1

           MOV    R1,#0F0H
           MOV    DPTR,#0000H
    LOOP:  MOV    A,P1
           CJNE  A,#04BH,LOOP
           LCALL  DELAY_J
  
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

MOV      A,P1
SUBB     A,#04BH
JNC      START_REC
LJMP     LOOP

START_REC:  MOV      A,P1
            MOVX     @DPTR,A
            INC      DPTR
            LCALL    DELAY_J
            DJNZ     R1,START_REC
            MOV      R1,#0F0H
            MOV      DPTR,#0000H
            MOV      A,#0FFH
            LCALL    TX_TEXT
LOOP2:     CLR      TI
            MOVX     A,@DPTR
            LCALL    TX_TEXT
            LCALL    DELAY_100mS
            INC      DPTR
            DJNZ     R1,LOOP2
            LCALL    DELAY_100mS
            MOV      A,#0FEH
            LCALL    TX_TEXT
            LJMP     MAIN

TX_TEXT:   MOV      SBUF,A
            JNB      TI,$
            CLR      TI
            RET

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

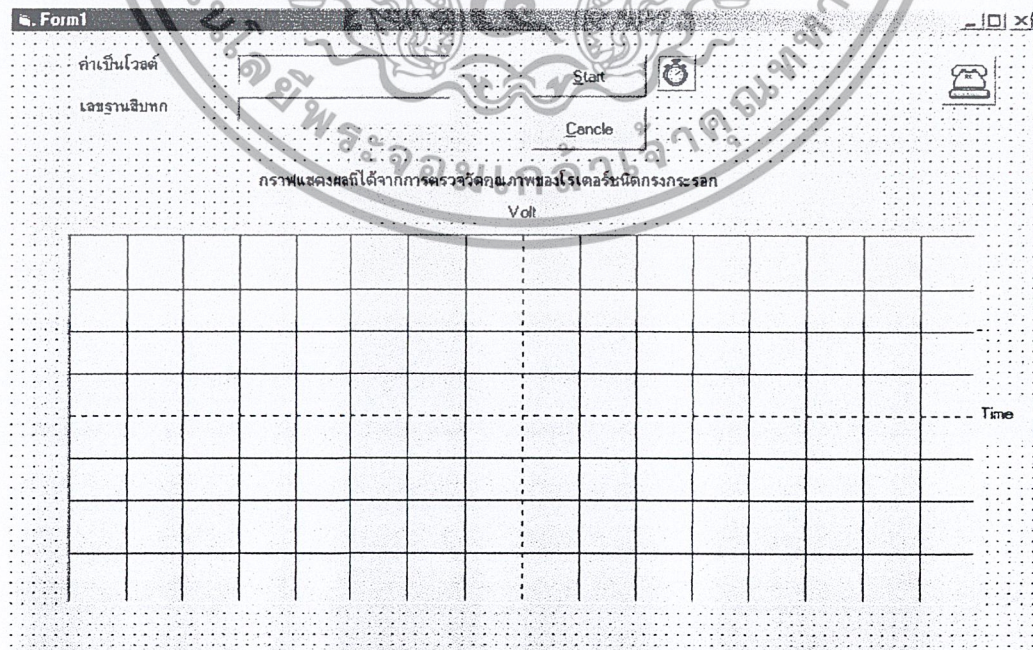
```

DELAY_100mS:  MOV      R7,#010H
DELAY_100mS_1: MOV      R6,#0E6H
DELAY_100mS_2: NOP
                DJNZ     R6,DELAY_100mS_2
                DJNZ     R7,DELAY_100mS_1
                RET
DELAY_J:       MOV      R7,#01H
DELAY_J1:      MOV      R6,#09FH
DELAY_J2:      NOP
                NOP
                DJNZ     R6,DELAY_J2
                DJNZ     R7,DELAY_J1
                RET
                END

```

#### 8.4 อุปกรณ์แสดงผล

เป็นการเขียน โปรแกรม visual basic เพื่อนำค่าที่ได้มาจาก MCS-51นำไปแสดงเป็นกราฟเพื่อแสดงผลทางหน้า คอมพิวเตอร์  
 ฟอรัม และ โปรแกรม visual basic



**รูปที่ 8.4 แสดงฟอรัม visual basic**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## โปรแกรม

```
Dim j(300) As Integer
```

```
Dim Txcount As Integer
```

```
Dim count5 As Integer
```

```
Dim StartR As Boolean
```

```
Private Sub Command1_Click()
```

```
End
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Command2_Click()
```

```
If Command2 = True Then
```

```
MSComm1.PortOpen = True
```

```
Else
```

```
End If
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
```

```
Txcount = 0
```

```
StartR = False
```

```
End Sub
```

```
Private Sub MSComm1_OnComm()
```

```
Dim a As Variant
```

```
Dim count1 As Integer
```

```
On Local Error Resume Next
```

```
a = MSComm1.Input
```

```
Timer1.Enabled = False
```

```
Text2.Text = Asc(a)
```

```
Text1.Text = Val(Text2.Text) / 51
```

```
If Mid(Text1.Text, 1, 1) = "." Then
```

```
Text1.Text = "0" & Val(Text2.Text) / 51
```

```
End If
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

If StartR = True Then
j(count5) = Text2.Text
count5 = count5 + 1
If Text2.Text = 254 Then
count5 = 0
j(0) = 75
StartR = True
Draw1
End If
End If

```

```

if Text2.Text = 255 Then
StartR = True
End If
End Sub
Private Sub Draw1()
Dim x1 As Integer
Dim x2 As Integer
Dim y1 As Integer
Dim y2 As Integer
Dim count1 As Integer
Picture1.Refresh
x2 = 0
y2 = 255 - j(0)
For count1 = 0 To 239 Step 1
x1 = x2
y1 = y2
2 = x2 + 3
y2 = 255 - j(count1)
Picture1.Line (x1, y1)-(x2, y2), &HFF0000
Next count1

```

**End Sub**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub Timer1_Timer()
```

```
Picture1.Refresh
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Timer2_Timer()
```

```
Timer1.Enabled = True
```

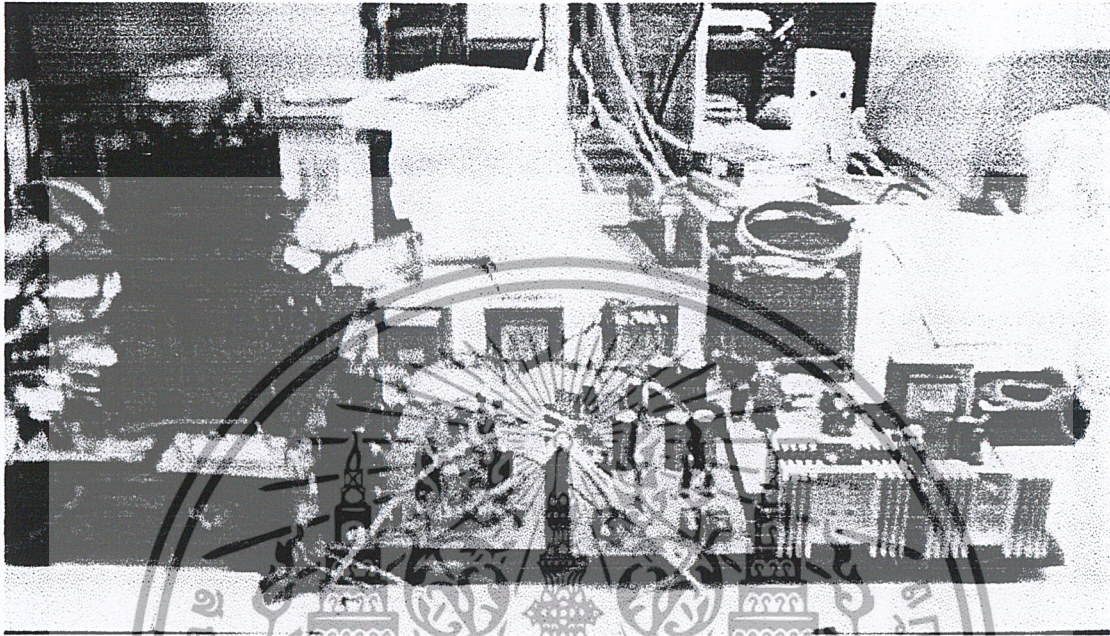
```
End Sub
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

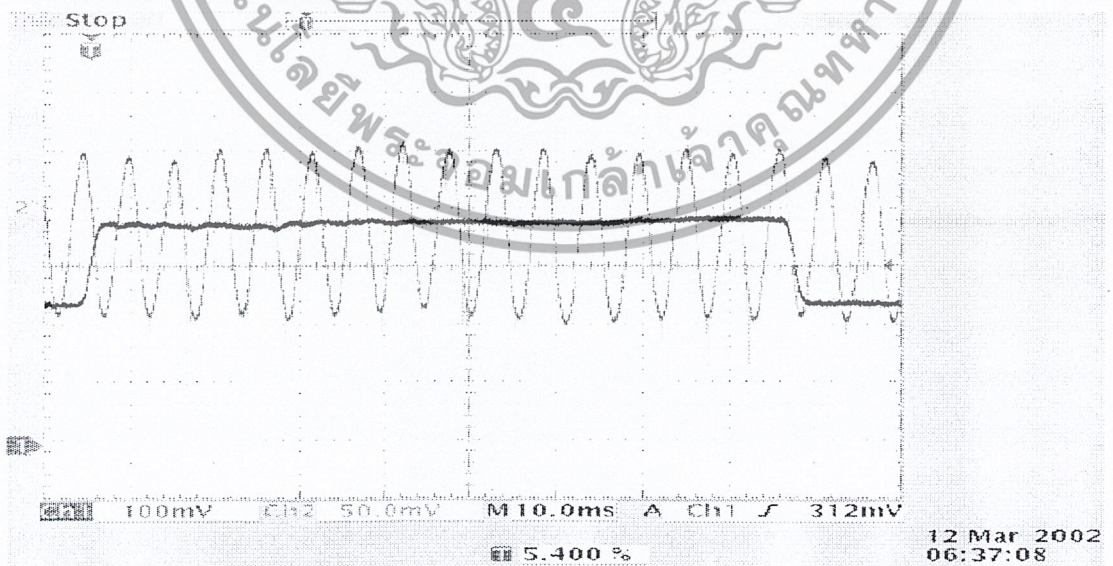
## บทที่ 9

### ผลการทดลอง



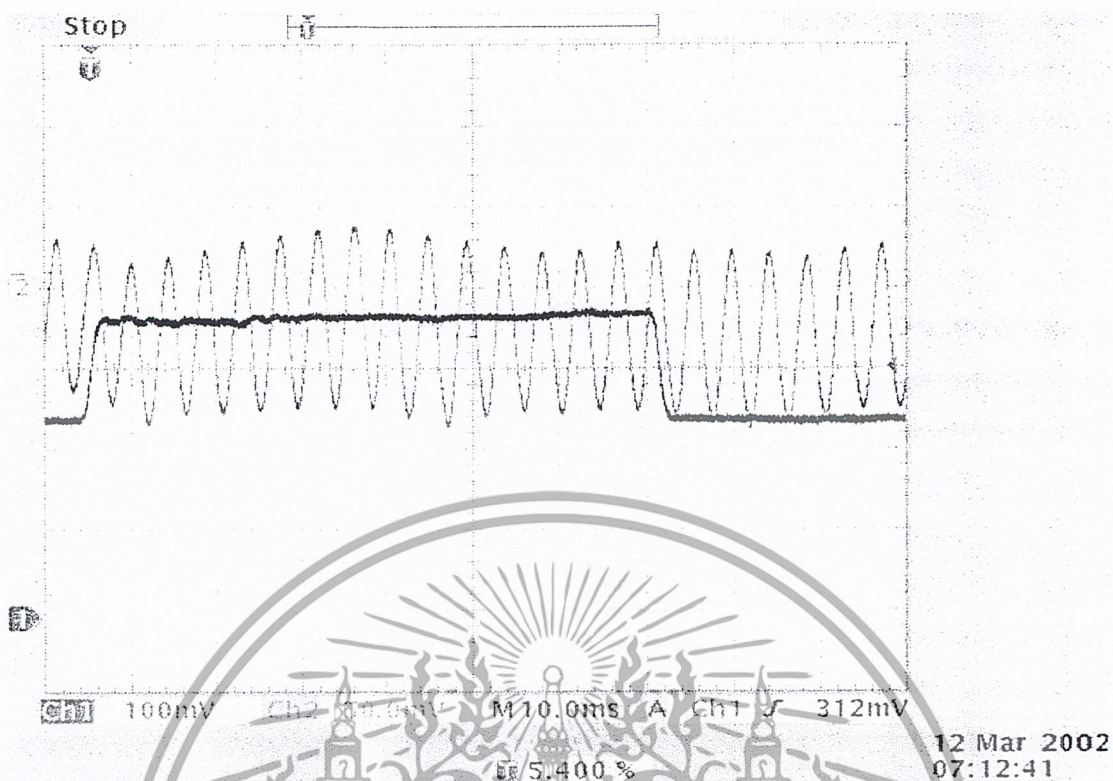
รูปที่ 9.1 แสดงการต่อเครื่องวัดคุณภาพ โรเตอร์แบบกรงกระรอกที่ใช้ในการทดสอบ

#### 9.1 ลักษณะของรูปคลื่นที่วัด ได้จากโพลีโดยวัดการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่จ่ายเข้าขดลวด และมอเตอร์กระแสตรงที่มอเตอร์คุณภาพดี

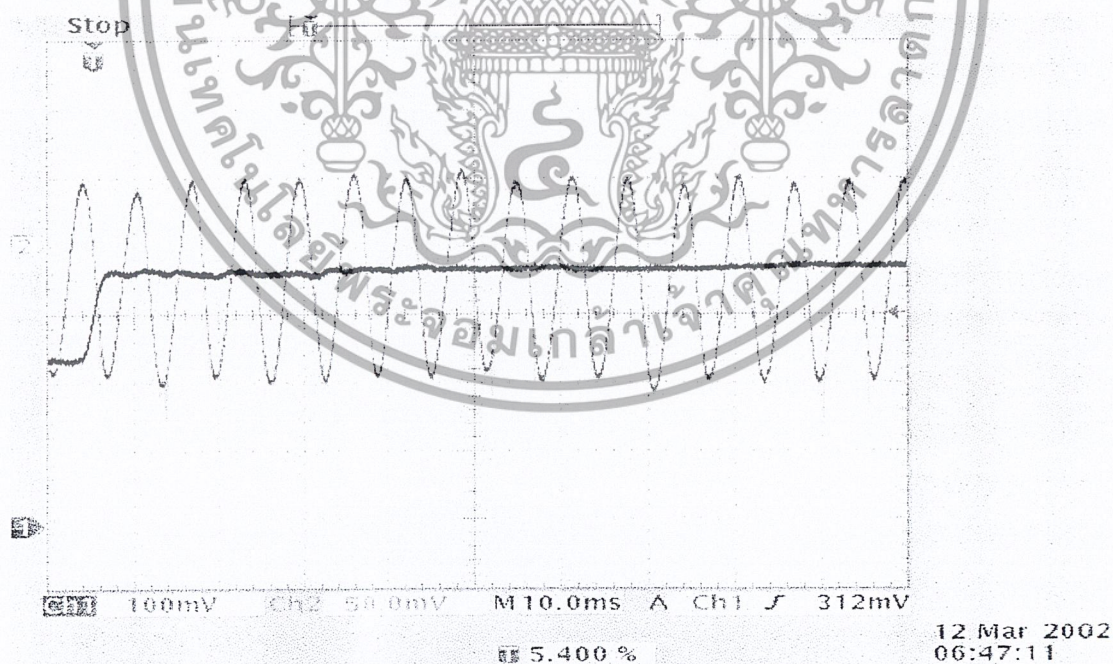


รูปที่ 9.2 ผลการทดลองที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 40 V ขดลวด 1.8 V โรเตอร์คุณภาพดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.3 ผลการทดลองที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 35 V ขดลวด 1.5 V โรเตอร์คุณภาพดี



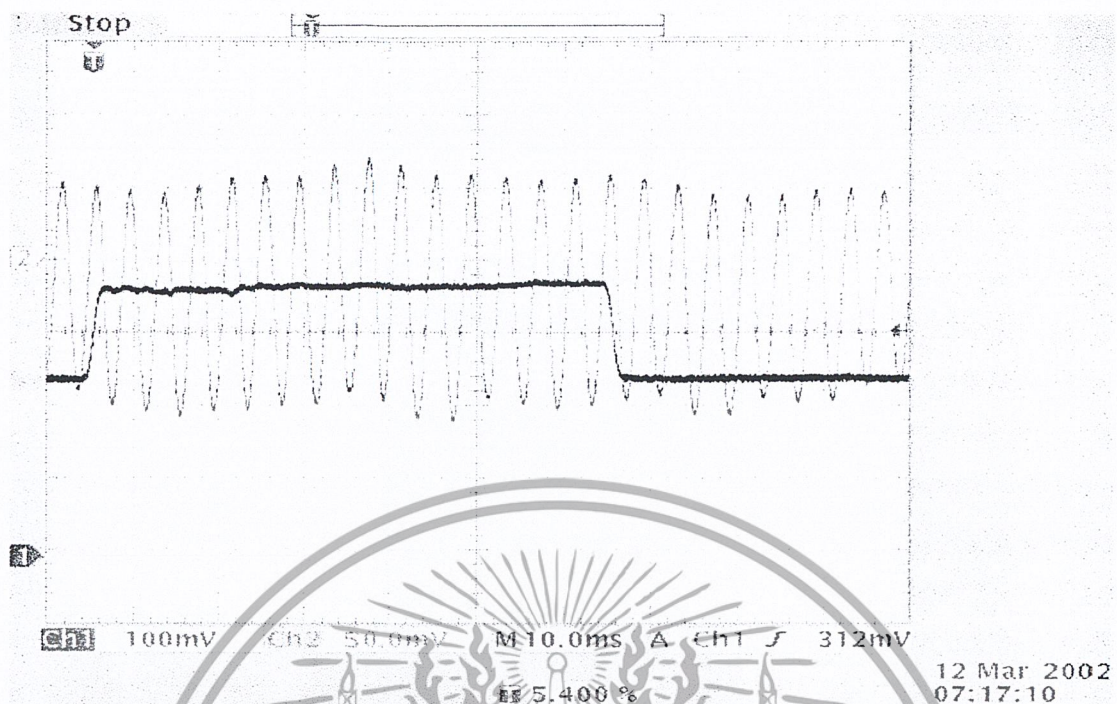
รูปที่ 9.4 ผลการทดลองที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 45 V ขดลวด 2.2V โรเตอร์คุณภาพดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

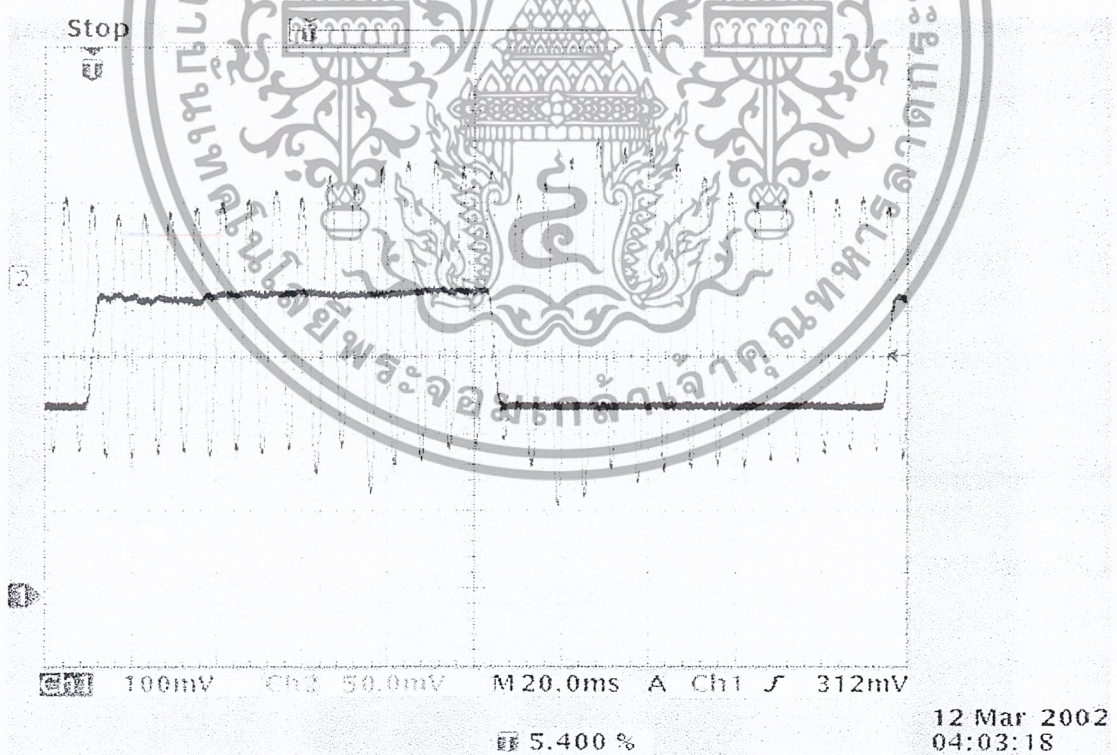


รูปที่ 9.6 ผลการทดลองที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 35 V ขดลวด 1.6 V โรเตอร์คุณภาพดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



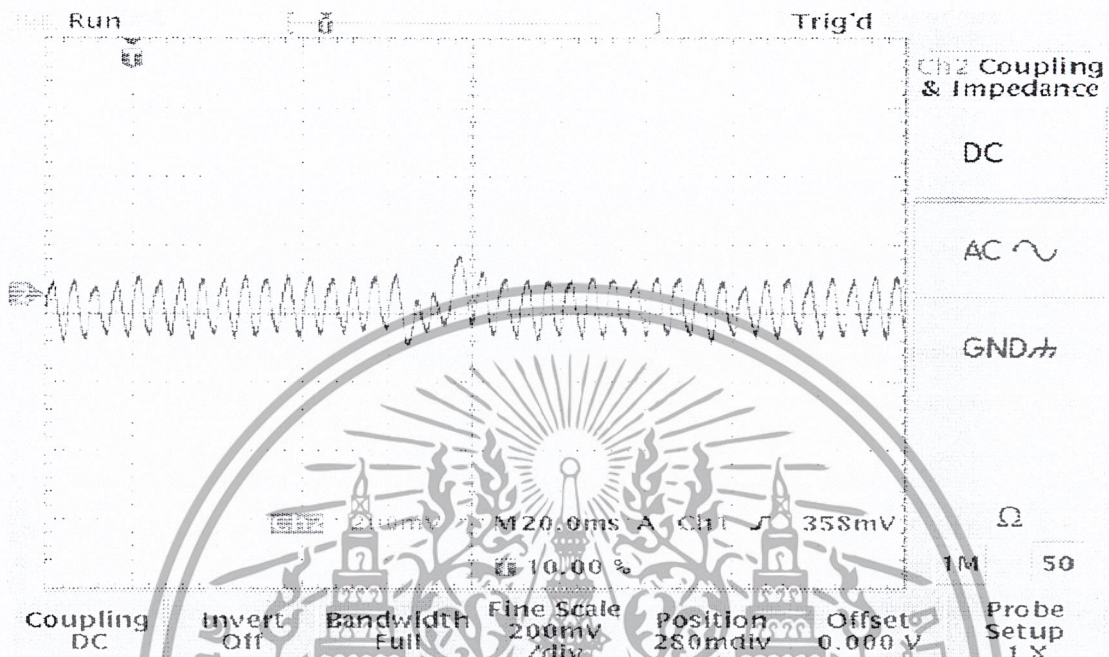
รูปที่ 9.7 ผลการทดลองที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 35 V ขดลวด 1.8 V โรเตอร์คุณภาพดี



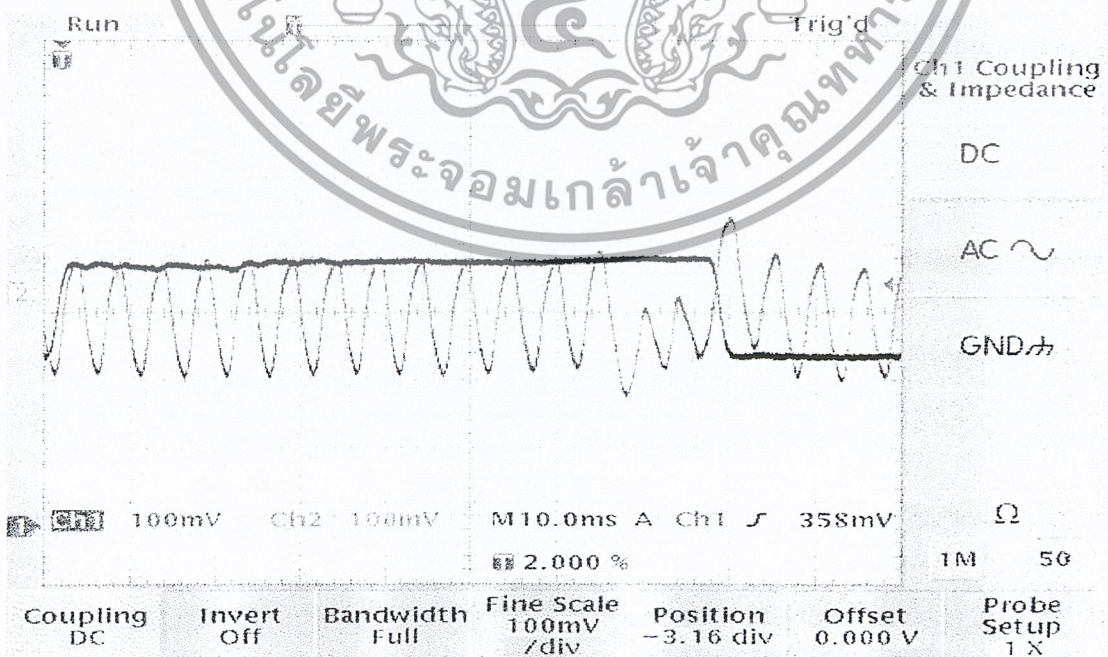
รูปที่ 9.8 ผลการทดลองที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 40 V ขดลวด 2.0V โรเตอร์คุณภาพดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 9.2 ลักษณะของรูปคลื่นที่วัดได้จากสโคปโดยวัดการเปลี่ยนแปลงโวลท์ที่จ่ายเข้าขดลวด และมอเตอร์กระแสตรงที่มอเตอร์คุณภาพไม่ดี

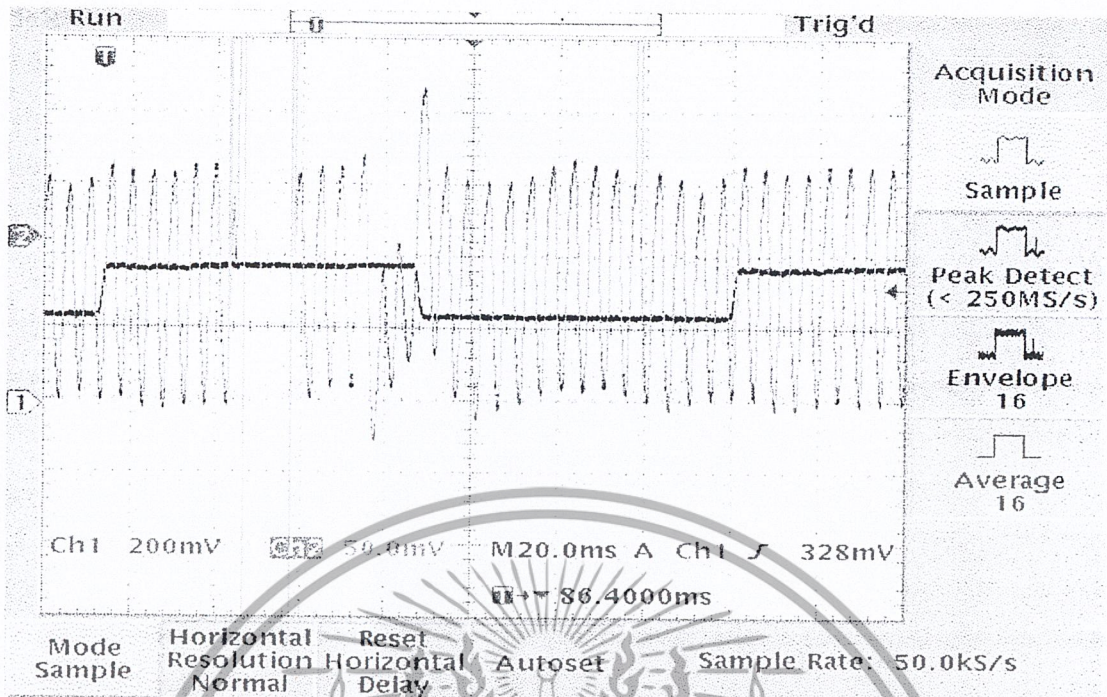


รูปที่ 9.11 ผลการทดลองที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 40 V ขดลวด 2.0 V โรเตอร์คุณภาพไม่ดี โดยที่บารภายในโรเตอร์ขาด

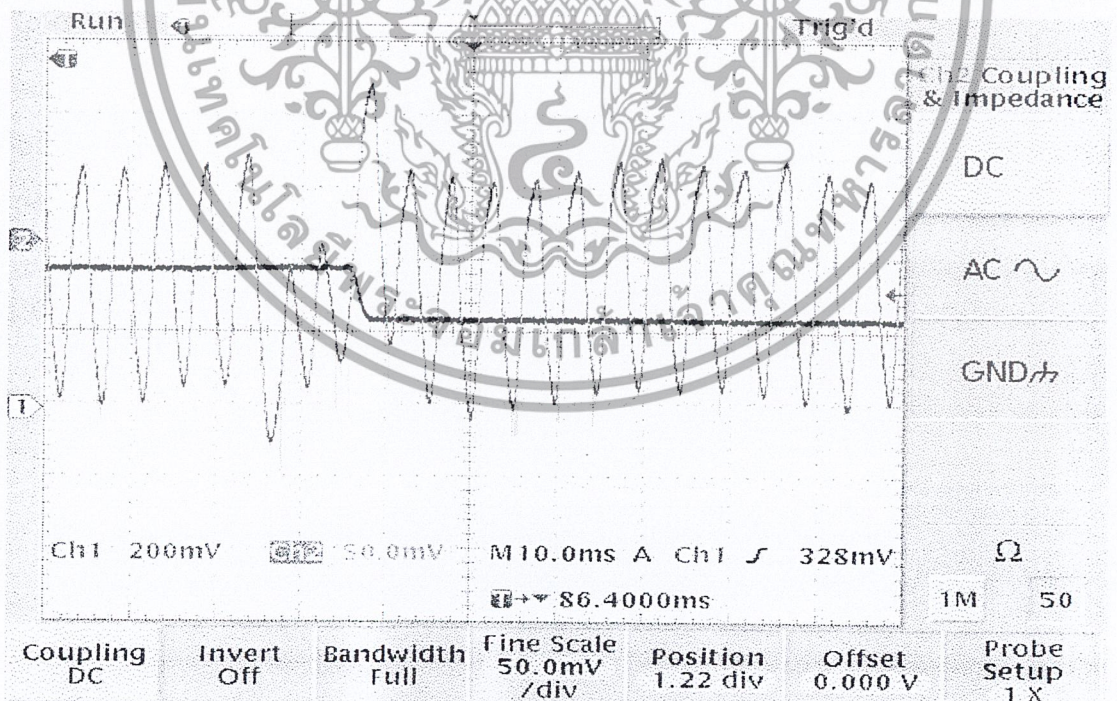


รูปที่ 9.12 ผลการทดลองที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 35V ขดลวด 1.5 V โรเตอร์คุณภาพไม่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ โดยที่บารภายในโรเตอร์ขาด

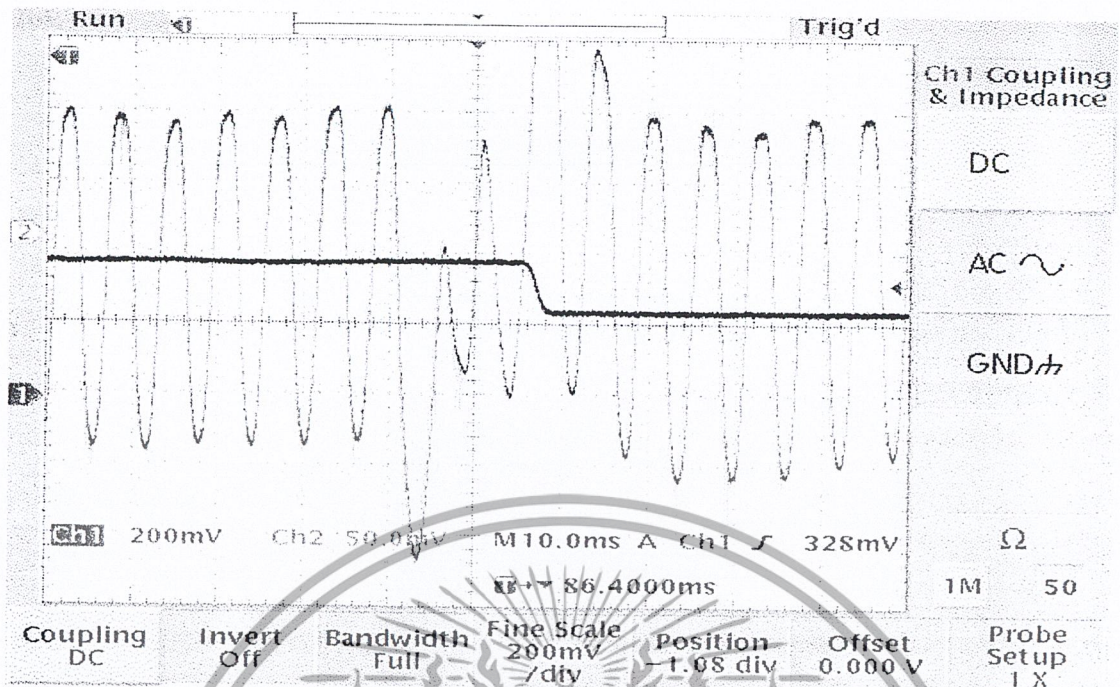


รูปที่ 9.13 ผลการทดลองที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 40 V ขดลวด 2.0 V โรเตอร์คุณภาพไม่ดี โดยบาร์ภายในขาดเมื่อ โรเตอร์หมุนรอบภายในรอบ square wave

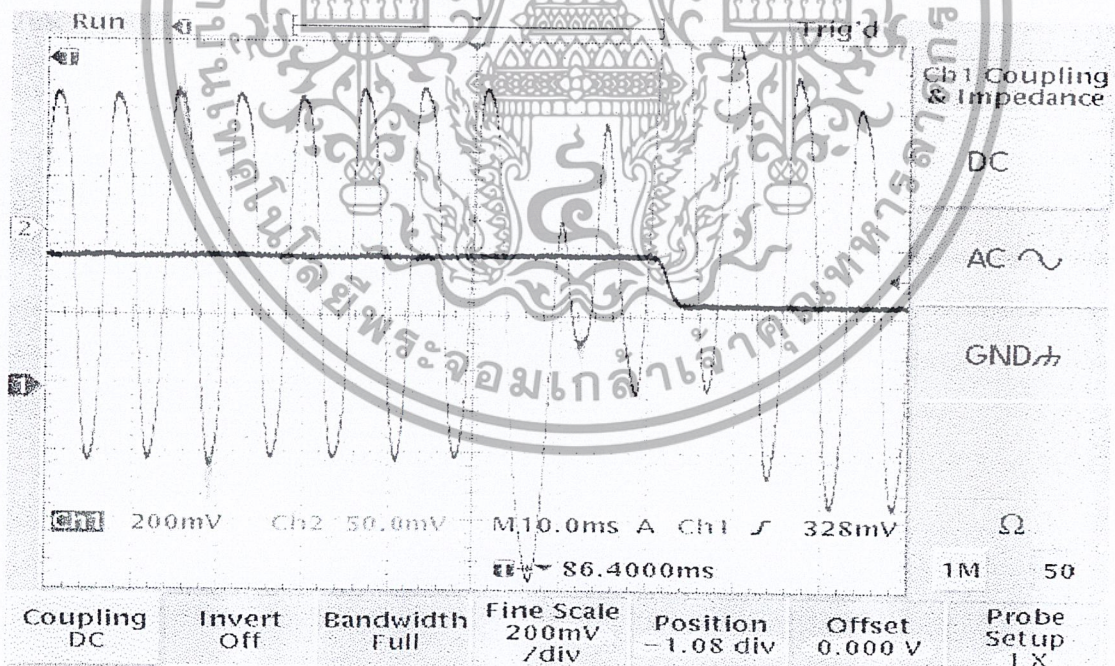


รูปที่ 9.14 ผลการทดลองที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 45 V ขดลวด 2.0 V โรเตอร์คุณภาพไม่ดี โดยที่บาร์ภายในโรเตอร์ขาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

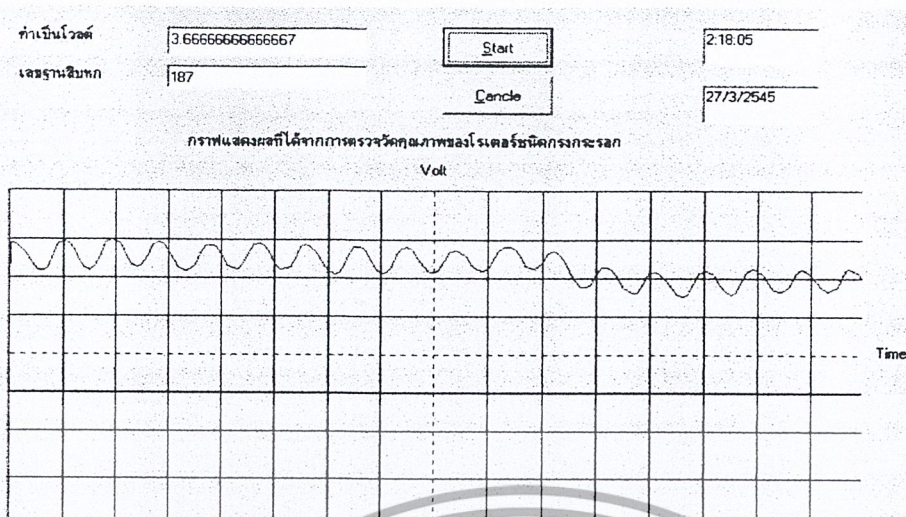


รูปที่9.15 ผลการทดลองที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 40 V ขดลวด 2.5 V โรเตอร์คุณภาพไม่ดี โดยที่บาร์ภายในโรเตอร์ขาด

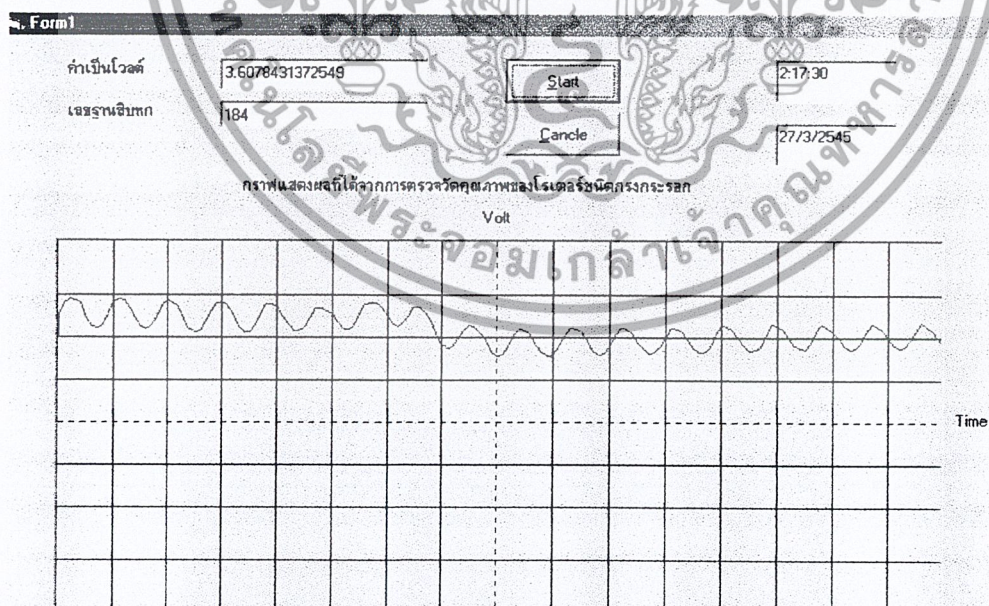


รูปที่9.16 ผลการทดลองที่จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง 45 V ขดลวด 2.5.V โรเตอร์คุณภาพไม่ดี โดยที่บาร์ภายในโรเตอร์ขาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 9.17 แสดงการต่อร่วมกันของเครื่องวัดคุณภาพโรเตอร์แบบกรงกระรอก แสดงผลผ่านหน้าจอกอมพิวเตอร์ โดยใช้ Visual Basic โดยจ่ายไฟฟ้าให้ขดลวด 3.0 V จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้มอเตอร์ 45 V แสดงโรเตอร์คุณภาพดี



รูปที่ 9.18 แสดงการต่อร่วมกันของเครื่องวัดคุณภาพโรเตอร์แบบกรงกระรอก แสดงผลผ่านหน้าจอกอมพิวเตอร์โดยใช้ Visual Basic โดยจ่ายไฟฟ้าให้ขดลวด 2.5 V จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

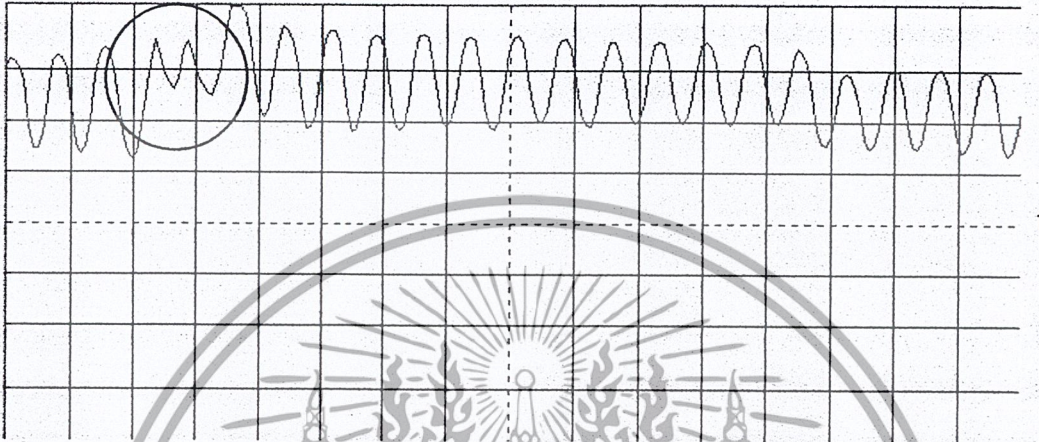
ให้มอเตอร์ 40 V แสดงโรเตอร์คุณภาพดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเป็นโวลต์	3.70588235294118	Start	4:08:22
เลขฐานสิบหก	189	Cancel	27/3/2545

กราฟแสดงผลที่ได้จากการตรวจวัดคุณภาพของโรเตอร์ชนิดกรงกระรอก

Volt

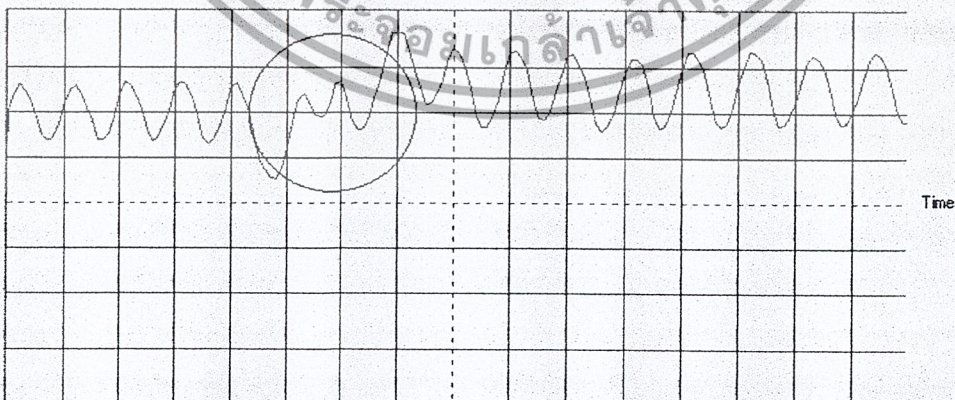


**รูปที่ 9.19** แสดงการต่อร่วมกันของเครื่องวัดคุณภาพโรเตอร์แบบกรงกระรอกเซอร์ แสดงผลผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์โดยใช้ Visual Basic โดยจ่ายไฟฟ้าให้ขดลวด 3.0 V จ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้มอเตอร์ 45 V แสดงโรเตอร์คุณภาพไม่ดี

ค่าเป็นโวลต์	4.37254901960784	Start	2:15:59
เลขฐานสิบหก	223	Cancel	27/3/2545

กราฟแสดงผลที่ได้จากการตรวจวัดคุณภาพของโรเตอร์ชนิดกรงกระรอก

Volt



**รูปที่ 9.20** แสดงการต่อร่วมกันของเครื่องวัดคุณภาพโรเตอร์แบบกรงกระรอกเซอร์ แสดงผลผ่านหน้าจอคอมพิวเตอร์โดยใช้ Visual Basic โดยจ่ายไฟฟ้าให้ขดลวด 2.5 V จ่ายไฟฟ้ากระแสตรง

ให้มอเตอร์ 40 V แสดงโรเตอร์คุณภาพไม่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 10

# สรุปและวิจารณ์

### 10.1 สรุป

การทำงานของเครื่องมือวัดคุณภาพโรเตอร์แบบกรงกระรอกโดยอาศัยการเหนี่ยวนำร่วมทางไฟฟ้าประโยชน์ที่จะได้รับจากเครื่องมือวัดคุณภาพโรเตอร์ทำให้เราทราบว่าโรเตอร์ที่ผลิตได้นั้นดี หรือเสียควรจะนำโรเตอร์ที่ผลิตได้ไปผลิตมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับหรือไม่ ในการทดสอบคุณภาพแบบนี้ง่ายต่อการใช้งาน ยังช่วยผู้ผลิตลดต้นทุนได้เมื่อเราสามารถทราบถึงคุณภาพโรเตอร์ก่อนที่จะนำไปประกอบกับอุปกรณ์ตัวอื่น

จากเหตุผลดังกล่าวเราจึงคิดหาวิธีที่จะทำให้เราทราบว่าโรเตอร์แบบกรงกระรอกที่ผลิตได้นั้นดีหรือเสียได้อย่างไร โดยโครงงานนี้จะทำให้ทราบถึงคุณภาพโรเตอร์ดังที่ได้เสนอมานในรายละเอียดของโครงการ

### 10.2 วิจารณ์

ปัญหาที่พบคือ

10.2.1 แกนรองรับ โรเตอร์ที่ต่อเข้ากับเพลลาของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งเมื่อตัวมอเตอร์หมุนด้วยความเร็วจะทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางทำให้สัญญาณที่ได้มีความผิดเพี้ยน

10.2.2 ความเร็วที่มอเตอร์หมุนต้องมีความเร็วพอสมควรเพราะเมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้ส่วนขดลวดจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กสูงอาจทำให้โรเตอร์ลื่นทำให้เกิดการเสียหายต่อวงจรได้

10.2.3 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อได้รับความร้อนเป็นเวลานานอาจทำให้เกิดความเสียหายได้ จึงต้องใช้อุปกรณ์ที่ช่วยในการระบายความร้อนเช่น Heatsink

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 10

# สรุปและวิจารณ์

### 10.1 สรุป

การทำงานของเครื่องมือวัดคุณภาพโรเตอร์แบบกรงกระรอกโดยอาศัยการเหนี่ยวนำร่วมทางไฟฟ้าประโยชน์ที่จะได้รับจากเครื่องมือวัดคุณภาพโรเตอร์ทำให้เราทราบว่าโรเตอร์ที่ผลิตได้นั้นดี หรือเสียควรจะนำโรเตอร์ที่ผลิตได้ไปผลิตมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับหรือไม่ ในการทดสอบคุณภาพแบบนี้ง่ายต่อการใช้งาน ยังช่วยผู้ผลิตลดต้นทุนได้เมื่อเราสามารถทราบถึงคุณภาพโรเตอร์ก่อนที่จะนำไปประกอบกับอุปกรณ์ตัวอื่น

จากเหตุผลดังกล่าวเราจึงคิดหาวิธีที่จะทำให้เราทราบว่าโรเตอร์แบบกรงกระรอกที่ผลิตได้นั้นดีหรือเสียได้อย่างไร โดยโครงงานนี้จะทำให้ทราบถึงคุณภาพโรเตอร์ดังที่ได้เสนอมารายละเอียดของโครงการ

### 10.2 วิจารณ์

ปัญหาที่พบคือ

10.2.1 แกนรองรับ โรเตอร์ที่ต่อเข้ากับเพลลาของมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงซึ่งเมื่อตัวมอเตอร์หมุนด้วยความเร็วจะทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางทำให้สัญญาณที่ได้มีความผิดเพี้ยน

10.2.2 ความเร็วที่มอเตอร์หมุนต้องมีความเร็วพอสมควรเพราะเมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้ส่วนขดลวดจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กสูงอาจทำให้โรเตอร์ลื่นทำให้เกิดการเสียหายต่อวงจรได้

10.2.3 อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เมื่อได้รับความร้อนเป็นเวลานานอาจทำให้เกิดความเสียหายได้ จึงต้องใช้อุปกรณ์ที่ช่วยในการระบายความร้อนเช่น Heatsink

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- (1) ไชยชาญ หินเกิด. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ . กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทยญี่ปุ่น),2541
- (2) ไมตรี วรวิจิตรยากุล. เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง . กรุงเทพฯ : ศูนย์การพิมพ์พลชัย,2534
- (3) สุนทร วิทูรพจน์. การใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล 8051(Mcs51) กรุงเทพฯ :บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด(มหาชน),2537
- (4) สุนทร วิทูรพจน์. การโปรแกรมภาษาแอสเซมบลีของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล 8051 . กรุงเทพฯ : บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด(มหาชน),2537
- (5) กิตติ ภักดีวัฒนะกุล -จำลอง กรูยุดสาหะ. Visual Basic 6 ฉบับโปรแกรมเมอร์ กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ไทยเจริญการพิมพ์,2543
- (6) มงคล ทองสงคราม. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรง. กรุงเทพฯ : รามการพิมพ์,2538



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ADC0801/ADC0802/ADC0803/ADC0804/ADC0805 8-Bit $\mu$ P Compatible A/D Converters

### General Description

The ADC0801, ADC0802, ADC0803, ADC0804 and ADC0805 are CMOS 8-bit successive approximation A/D converters that use a differential potentiometric ladder—similar to the 256R products. These converters are designed to allow operation with the NSC800 and INS8080A derivative control bus with TRI-STATE output latches directly driving the data bus. These A/Ds appear like memory locations or I/O ports to the microprocessor and no interfacing logic is needed.

Differential analog voltage inputs allow increasing the common-mode rejection and offsetting the analog zero input voltage value. In addition, the voltage reference input can be adjusted to allow encoding any smaller analog voltage span to the full 8 bits of resolution.

### Features

- Compatible with 8080  $\mu$ P derivatives—no interfacing logic needed - access time - 135 ns
- Easy interface to all microprocessors, or operates "stand alone"

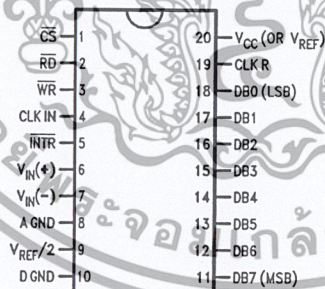
- Differential analog voltage inputs
- Logic inputs and outputs meet both MOS and TTL voltage level specifications
- Works with 2.5V (LM336) voltage reference
- On-chip clock generator
- 0V to 5V analog input voltage range with single 5V supply
- No zero adjust required
- 0.3" standard width 20-pin DIP package
- 20-pin molded chip carrier or small outline package
- Operates ratiometrically or with 5  $V_{DC}$ , 2.5  $V_{DC}$ , or analog span adjusted voltage reference

### Key Specifications

- Resolution 8 bits
- Total error  $\pm 1/4$  LSB,  $\pm 1/2$  LSB and  $\pm 1$  LSB
- Conversion time 100  $\mu$ s

### Connection Diagram

ADC080X  
Dual-In-Line and Small Outline (SO) Packages



DS005671-30

See Ordering Information

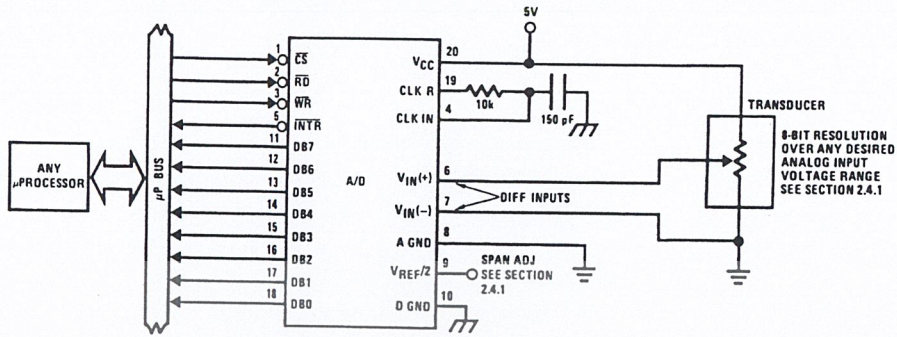
### Ordering Information

TEMP RANGE		0°C TO 70°C	0°C TO 70°C	-40°C TO +85°C
ERROR	$\pm 1/4$ Bit Adjusted			ADC0801LCN
	$\pm 1/2$ Bit Unadjusted	ADC0802LCWM		ADC0802LCN
	$\pm 1/2$ Bit Adjusted			ADC0803LCN
	$\pm 1$ Bit Unadjusted	ADC0804LCWM	ADC0804LCN	ADC0805LCN/ADC0804LCJ
PACKAGE OUTLINE		M20B—Small Outline	N20A—Molded DIP	

Z-80\* is a registered trademark of Zilog Corp.

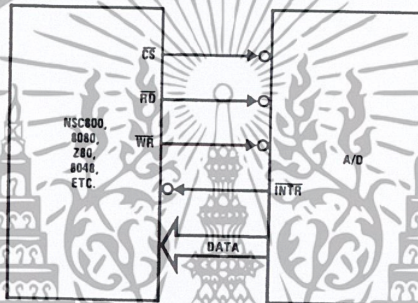
ADC0801/ADC0802/ADC0803/ADC0804/ADC0805 8-Bit  $\mu$ P Compatible A/D Converters

### Typical Applications



DS005671-1

### 8080 Interface



Error Specification (Includes Full-Scale, Zero Error, and Non-Linearity)

Part Number	Full-Scale Adjusted	$V_{REF}/2=2.500 V_{DC}$ (No Adjustments)	$V_{REF}/2=No\ Connection$ (No Adjustments)
ADC0801	$\pm 1/4$ LSB		
ADC0802		$\pm 1/2$ LSB	
ADC0803	$\pm 1/2$ LSB		
ADC0804		$\pm 1$ LSB	
ADC0805			$\pm 1$ LSB

### Absolute Maximum Ratings (Notes 1, 2)

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

Supply Voltage ( $V_{CC}$ ) (Note 3) Voltage	6.5V
Logic Control Inputs	-0.3V to +18V
At Other Input and Outputs	-0.3V to ( $V_{CC}+0.3V$ )
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	
Dual-In-Line Package (plastic)	260°C
Dual-In-Line Package (ceramic)	300°C
Surface Mount Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C

Infrared (15 seconds)	220°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Package Dissipation at $T_A=25^\circ\text{C}$	875 mW
ESD Susceptibility (Note 10)	800V

### Operating Ratings (Notes 1, 2)

Temperature Range	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$
ADC0804LCJ	-40°C $\leq T_A \leq$ +85°C
ADC0801/02/03/05LCN	-40°C $\leq T_A \leq$ +85°C
ADC0804LCN	0°C $\leq T_A \leq$ +70°C
ADC0802/04LCWM	0°C $\leq T_A \leq$ +70°C
Range of $V_{CC}$	4.5 $V_{DC}$ to 6.3 $V_{DC}$

### Electrical Characteristics

The following specifications apply for  $V_{CC}=5 V_{DC}$ ,  $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$  and  $f_{CLK}=640$  kHz unless otherwise specified.

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
ADC0801: Total Adjusted Error (Note 8)	With Full-Scale Adj. (See Section 2.5.2)			$\pm 1/4$	LSB
ADC0802: Total Unadjusted Error (Note 8)	$V_{REF}/2=2,500 V_{DC}$			$\pm 1/2$	LSB
ADC0803: Total Adjusted Error (Note 8)	With Full-Scale Adj. (See Section 2.5.2)			$\pm 1/2$	LSB
ADC0804: Total Unadjusted Error (Note 8)	$V_{REF}/2=2,500 V_{DC}$			$\pm 1$	LSB
ADC0805: Total Unadjusted Error (Note 8)	$V_{REF}/2$ -No Connection			$\pm 1$	LSB
$V_{REF}/2$ Input Resistance (Pin 9)	ADC0801/02/03/05	2.5	8.0		k $\Omega$
	ADC0804 (Note 9)	0.75	1.1		k $\Omega$
Analog Input Voltage Range	(Note 4) $V(+)$ or $V(-)$	Gnd-0.05		$V_{CC}+0.05$	$V_{DC}$
DC Common-Mode Error	Over Analog Input Voltage Range		$\pm 1/16$	$\pm 1/8$	LSB
Power Supply Sensitivity	$V_{CC}=5 V_{DC} \pm 10\%$ Over Allowed $V_{IN}(+)$ and $V_{IN}(-)$ Voltage Range (Note 4)		$\pm 1/16$	$\pm 1/8$	LSB

### AC Electrical Characteristics

The following specifications apply for  $V_{CC}=5 V_{DC}$  and  $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$  unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$T_C$	Conversion Time	$f_{CLK}=640$ kHz (Note 6)	103		114	$\mu\text{s}$
$T_C$	Conversion Time	(Notes 5, 6)	66		73	1/ $f_{CLK}$
$f_{CLK}$	Clock Frequency	$V_{CC}=5V$ , (Note 5)	100	640	1460	kHz
	Clock Duty Cycle		40		60	%
CR	Conversion Rate in Free-Running Mode	INTR tied to $\overline{WR}$ with $\overline{CS}=0 V_{DC}$ , $f_{CLK}=640$ kHz	8770		9708	conv/s
$t_{W(\overline{WR})L}$	Width of $\overline{WR}$ Input (Start Pulse Width)	$\overline{CS}=0 V_{DC}$ (Note 7)	100			ns
$t_{ACC}$	Access Time (Delay from Falling Edge of $\overline{RD}$ to Output Data Valid)	$C_L=100$ pF		135	200	ns
$t_{1H}$ , $t_{0H}$	TRI-STATE Control (Delay from Rising Edge of $\overline{RD}$ to Hi-Z State)	$C_L=10$ pF, $R_L=10k$ (See TRI-STATE Test Circuits)		125	200	ns
$t_{WI}$ , $t_{RI}$	Delay from Falling Edge of $\overline{WR}$ or $\overline{RD}$ to Reset of INTR			300	450	ns
$C_{IN}$	Input Capacitance of Logic Control Inputs			5	7.5	pF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## AC Electrical Characteristics (Continued)

The following specifications apply for  $V_{CC}=5 V_{DC}$  and  $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$  unless otherwise specified.

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$C_{OUT}$	TRI-STATE Output Capacitance (Data Buffers)			5	7.5	pF
<b>CONTROL INPUTS</b> [Note: CLK IN (Pin 4) is the input of a Schmitt trigger circuit and is therefore specified separately]						
$V_{IN}(1)$	Logical "1" Input Voltage (Except Pin 4 CLK IN)	$V_{CC}=5.25 V_{DC}$	2.0		15	$V_{DC}$
$V_{IN}(0)$	Logical "0" Input Voltage (Except Pin 4 CLK IN)	$V_{CC}=4.75 V_{DC}$			0.8	$V_{DC}$
$I_{IN}(1)$	Logical "1" Input Current (All Inputs)	$V_{IN}=5 V_{DC}$		0.005	1	$\mu A_{DC}$
$I_{IN}(0)$	Logical "0" Input Current (All Inputs)	$V_{IN}=0 V_{DC}$	-1	-0.005		$\mu A_{DC}$
<b>CLOCK IN AND CLOCK R</b>						
$V_{T+}$	CLK IN (Pin 4) Positive Going Threshold Voltage		2.7	3.1	3.5	$V_{DC}$
$V_{T-}$	CLK IN (Pin 4) Negative Going Threshold Voltage		1.5	1.8	2.1	$V_{DC}$
$V_H$	CLK IN (Pin 4) Hysteresis ( $V_{T+}$ )-( $V_{T-}$ )		0.6	1.3	2.0	$V_{DC}$
$V_{OUT}(0)$	Logical "0" CLK R Output Voltage	$I_O=360 \mu A$ $V_{CC}=4.75 V_{DC}$			0.4	$V_{DC}$
$V_{OUT}(1)$	Logical "1" CLK R Output Voltage	$I_O=-360 \mu A$ $V_{CC}=4.75 V_{DC}$	2.4			$V_{DC}$
<b>DATA OUTPUTS AND INTR</b>						
$V_{OUT}(0)$	Logical "0" Output Voltage Data Outputs INTR Output	$I_{OUT}=1.6 mA, V_{CC}=4.75 V_{DC}$ $I_{OUT}=1.0 mA, V_{CC}=4.75 V_{DC}$			0.4	$V_{DC}$
$V_{OUT}(1)$	Logical "1" Output Voltage	$I_O=-360 \mu A, V_{CC}=4.75 V_{DC}$	2.4			$V_{DC}$
$V_{OUT}(1)$	Logical "1" Output Voltage	$I_O=-10 \mu A, V_{CC}=4.75 V_{DC}$	4.5			$V_{DC}$
$I_{OUT}$	TRI-STATE Disabled Output Leakage (All Data Buffers)	$V_{OUT}=0 V_{DC}$ $V_{OUT}=5 V_{DC}$	-3		3	$\mu A_{DC}$
$I_{SOURCE}$		$V_{OUT}$ Short to Gnd, $T_A=25^\circ C$	4.5	6		$mA_{DC}$
$I_{SINK}$		$V_{OUT}$ Short to $V_{CC}$ , $T_A=25^\circ C$	9.0	16		$mA_{DC}$
<b>POWER SUPPLY</b>						
$I_{CC}$	Supply Current (Includes Ladder Current)  ADC0801/02/03/04LCJ/05 ADC0804LCN/LCWM	$f_{CLK}=640 kHz$ , $V_{REF}/2=NC, T_A=25^\circ C$ and $\overline{CS}=5V$				
				1.1	1.8	mA
				1.9	2.5	mA

**Note 1:** Absolute Maximum Ratings indicate limits beyond which damage to the device may occur. DC and AC electrical specifications do not apply when operating the device beyond its specified operating conditions.

**Note 2:** All voltages are measured with respect to Gnd, unless otherwise specified. The separate A Gnd point should always be wired to the D Gnd.

**Note 3:** A zener diode exists, internally, from  $V_{CC}$  to Gnd and has a typical breakdown voltage of  $7 V_{DC}$ .

**Note 4:** For  $V_{IN}(-) \geq V_{IN}(+)$  the digital output code will be 0000 0000. Two on-chip diodes are tied to each analog input (see block diagram) which will forward conduct for analog input voltages one diode drop below ground or one diode drop greater than the  $V_{CC}$  supply. Be careful, during testing at low  $V_{CC}$  levels (4.5V), as high level analog inputs (5V) can cause this input diode to conduct—especially at elevated temperatures, and cause errors for analog inputs near full-scale. The spec allows 50 mV forward bias of either diode. This means that as long as the analog  $V_{IN}$  does not exceed the supply voltage by more than 50 mV, the output code will be correct. To achieve an absolute 0  $V_{DC}$  to 5  $V_{DC}$  input voltage range will therefore require a minimum supply voltage of  $4.950 V_{DC}$  over temperature variations, initial tolerance and loading.

**Note 5:** Accuracy is guaranteed at  $f_{CLK} = 640 kHz$ . At higher clock frequencies accuracy can degrade. For lower clock frequencies, the duty cycle limits can be extended so long as the minimum clock high time interval or minimum clock low time interval is no less than 275 ns.

**Note 6:** With an asynchronous start pulse, up to 8 clock periods may be required before the internal clock phases are proper to start the conversion process. The start request is internally latched, see Figure 4 and section 2.0.

## AC Electrical Characteristics (Continued)

Note 7: The  $\overline{CS}$  input is assumed to bracket the  $\overline{WR}$  strobe input and therefore timing is dependent on the  $\overline{WR}$  pulse width. An arbitrarily wide pulse width will hold the converter in a reset mode and the start of conversion is initiated by the low to high transition of the  $\overline{WR}$  pulse (see timing diagrams).

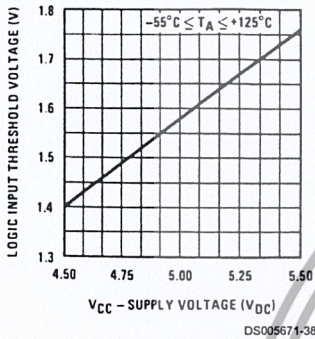
Note 8: None of these A/Ds requires a zero adjust (see section 2.5.1). To obtain zero code at other analog input voltages see section 2.5 and Figure 7.

Note 9: The  $V_{REF/2}$  pin is the center point of a two-resistor divider connected from  $V_{CC}$  to ground. In all versions of the ADC0801, ADC0802, ADC0803, and ADC0805, and in the ADC0804LCJ, each resistor is typically 16 k $\Omega$ . In all versions of the ADC0804 except the ADC0804LCJ, each resistor is typically 2.2 k $\Omega$ .

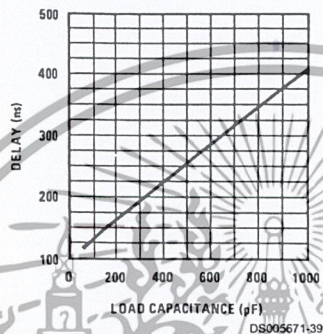
Note 10: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k $\Omega$  resistor.

## Typical Performance Characteristics

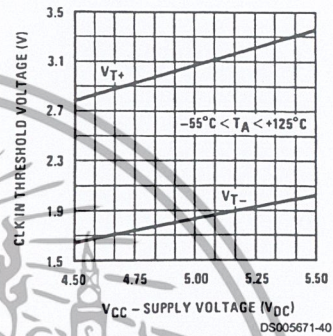
Logic Input Threshold Voltage vs. Supply Voltage



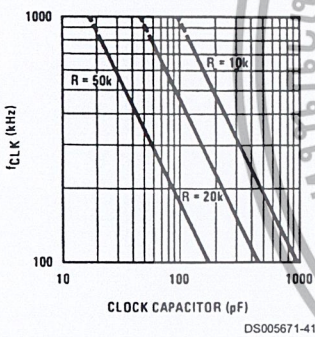
Delay From Falling Edge of RD to Output Data Valid vs. Load Capacitance



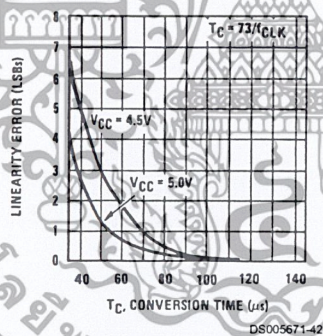
CLK IN Schmitt Trip Levels vs. Supply Voltage



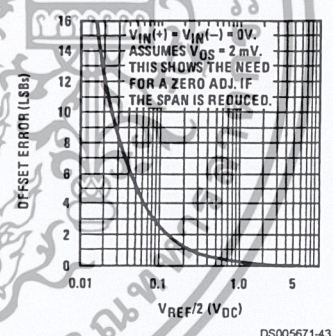
f<sub>CLK</sub> vs. Clock Capacitor



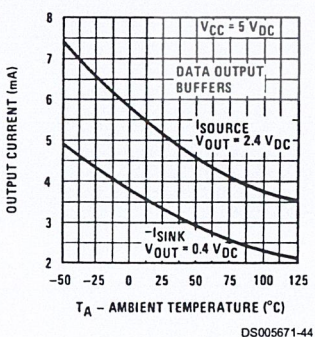
Full-Scale Error vs Conversion Time



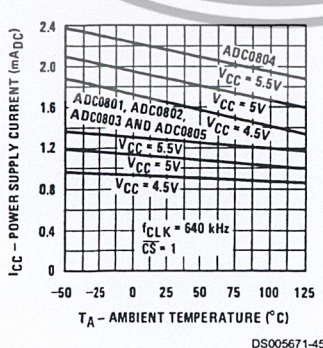
Effect of Unadjusted Offset Error vs. V<sub>REF/2</sub> Voltage



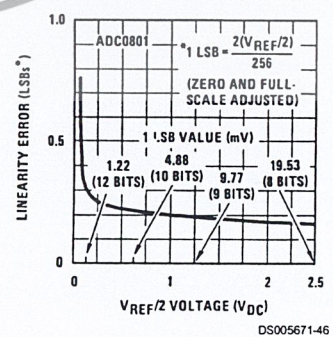
Output Current vs Temperature



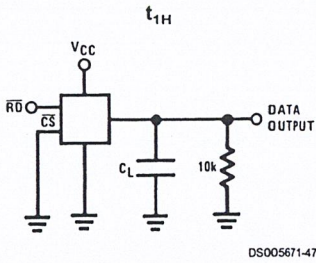
Power Supply Current vs Temperature (Note 9)



Linearity Error at Low V<sub>REF/2</sub> Voltages

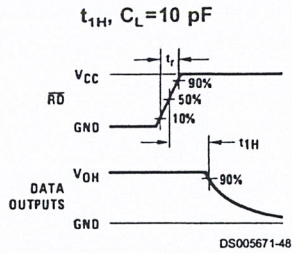


### TRI-STATE Test Circuits and Waveforms

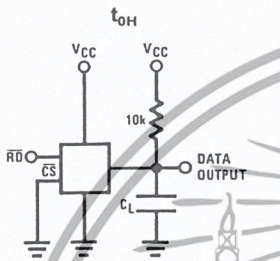


DS005671-47

$t_r = 20 \text{ ns}$

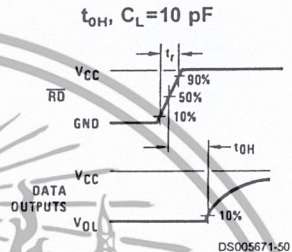


DS005671-48



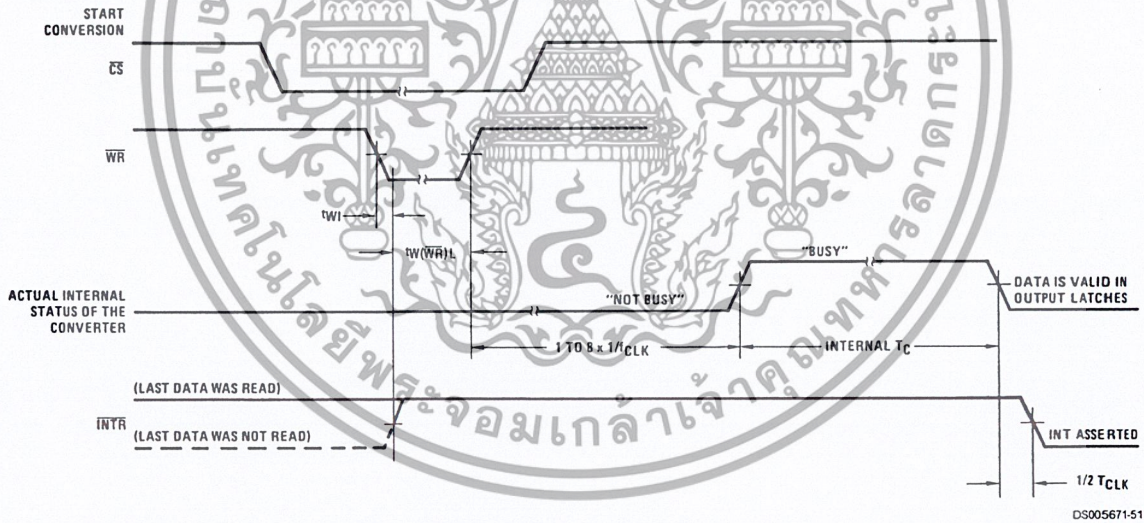
DS005671-49

$t_r = 20 \text{ ns}$



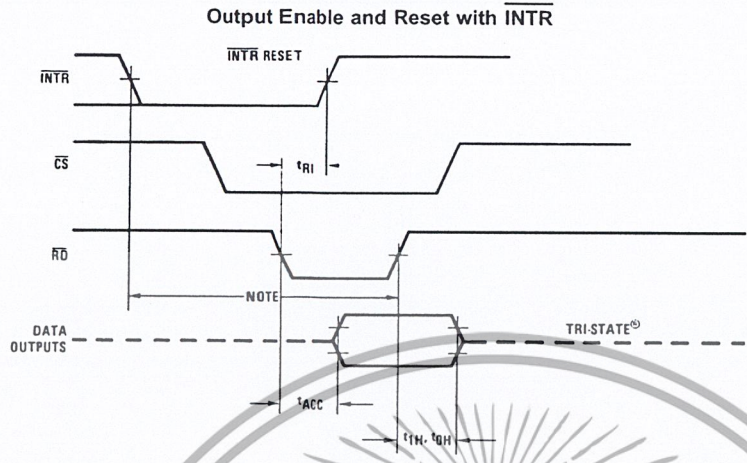
DS005671-50

### Timing Diagrams (All timing is measured from the 50% voltage points)



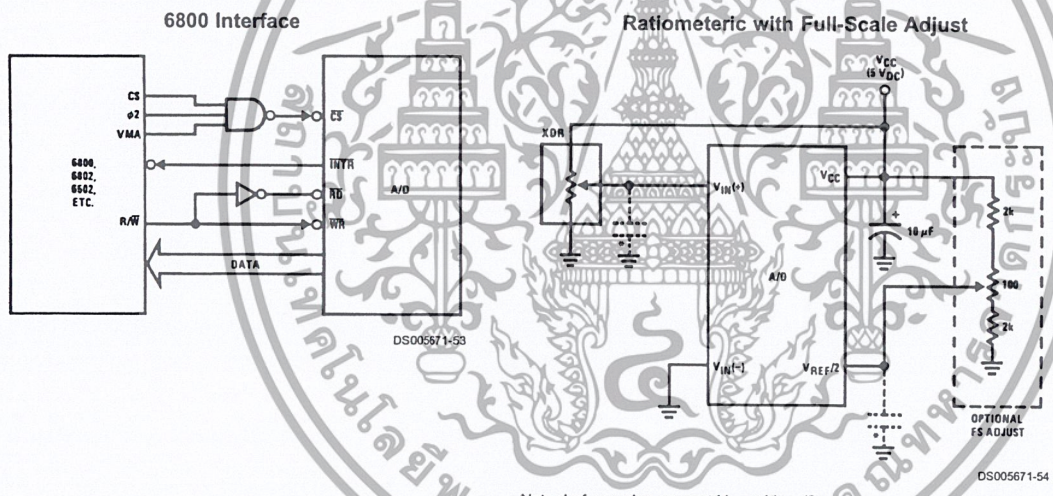
DS005671-51

**Timing Diagrams** (All timing is measured from the 50% voltage points) (Continued)



Note: Read strobe must occur 8 clock periods ( $8T_{CLK}$ ) after assertion of interrupt to guarantee reset of INTR. DS005671-52

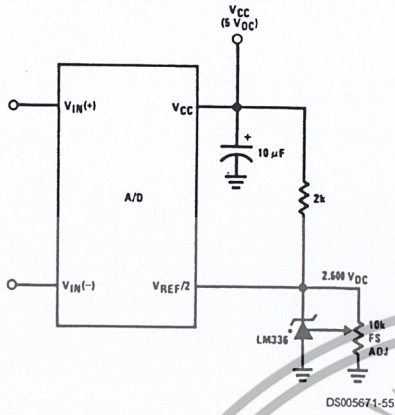
**Typical Applications**



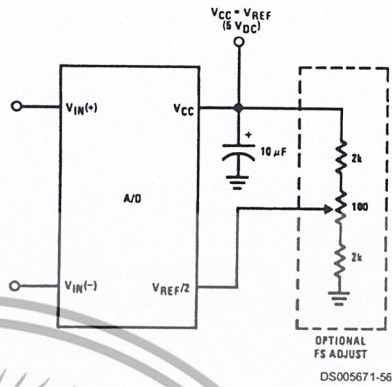
Note: before using caps at  $V_{IN}$  or  $V_{REF/2}$ , see section 2.3.2 Input Bypass Capacitors. DS005671-54

### Typical Applications (Continued)

Absolute with a 2.500V Reference

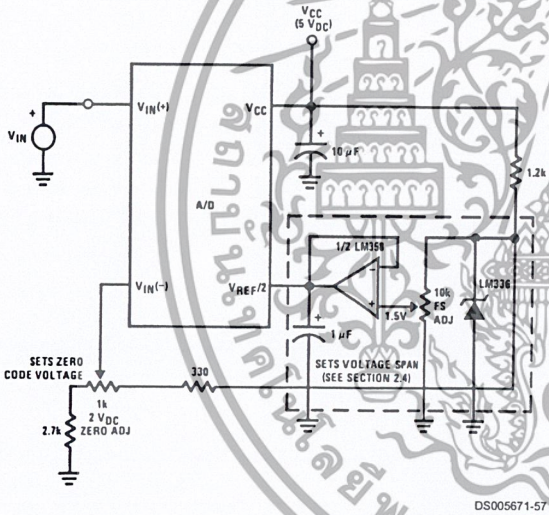


Absolute with a 5V Reference

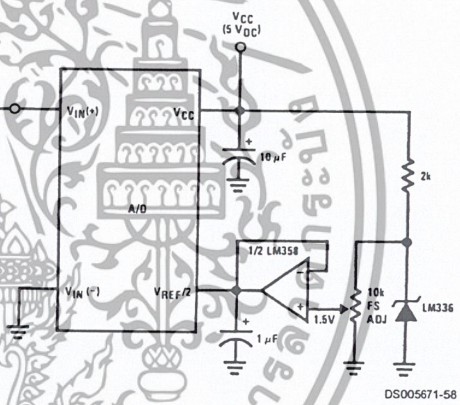


\*For low power, see also LM385-2.5

Zero-Shift and Span Adjust:  $2V \leq V_{IN} \leq 5V$

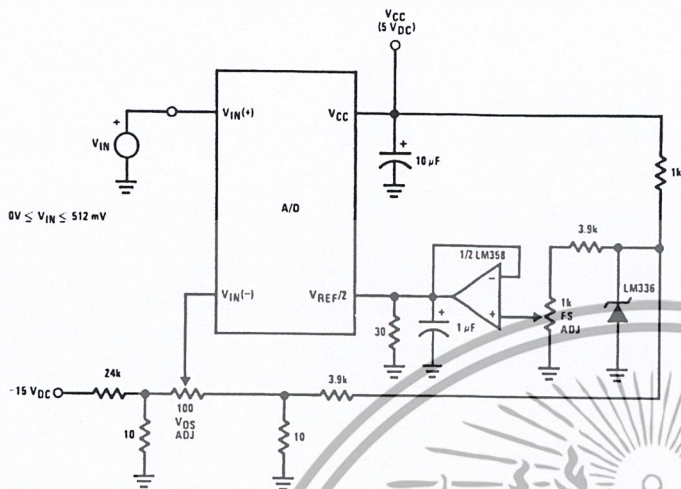


Span Adjust:  $0V \leq V_{IN} \leq 3V$



## Typical Applications (Continued)

### Directly Converting a Low-Level Signal

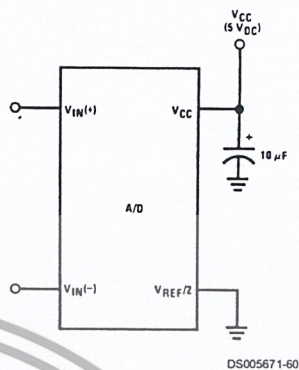


$0V \leq V_{IN} \leq 512 \text{ mV}$

$V_{REF/2} = 256 \text{ mV}$

DS005671-59

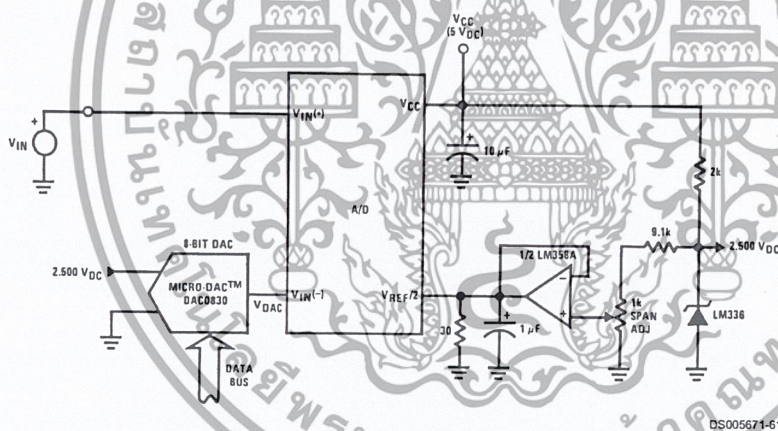
### A µP Interfaced Comparator



For:  
 $V_{IN(+)} > V_{IN(-)}$   
 Output = FF<sub>HEX</sub>  
 For:  
 $V_{IN(+)} < V_{IN(-)}$   
 Output = 00<sub>HEX</sub>

DS005671-60

### 1 mV Resolution with µP Controlled Range

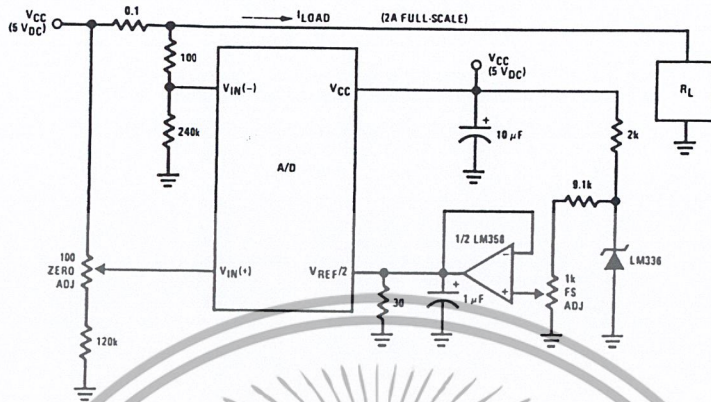


$V_{REF/2} = 128 \text{ mV}$   
 1 LSB = 1 mV  
 $V_{DAC} \leq V_{IN} \leq (V_{DAC} + 256 \text{ mV})$   
 $0 \leq V_{DAC} < 2.5V$

DS005671-61

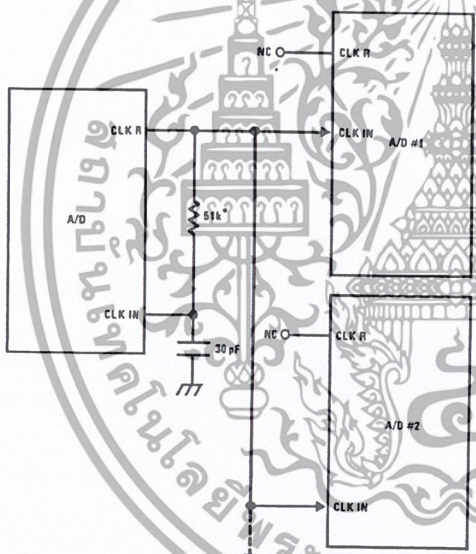
Typical Applications (Continued)

Digitizing a Current Flow



DS005671-62

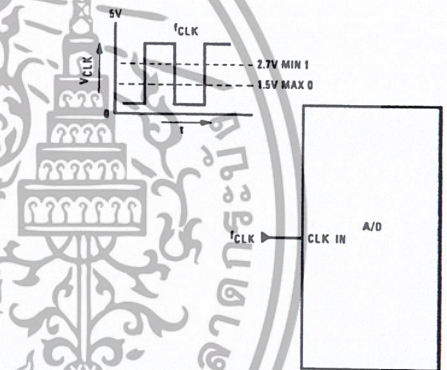
Self-Clocking Multiple A/Ds



IF MORE THAN 5 ADDITIONAL A/Ds, USE A CMOS BUFFER (NOT 74L)

DS005671-63

External Clocking



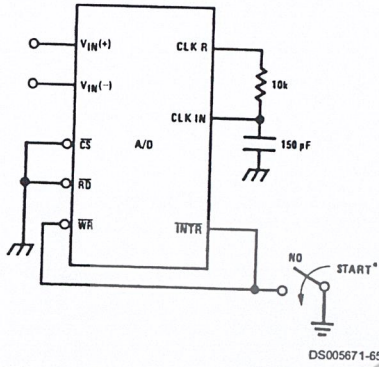
100 kHz ≤ f<sub>CLK</sub> ≤ 1460 kHz

DS005671-64

\* Use a large R value to reduce loading at CLK R output.

## Typical Applications (Continued)

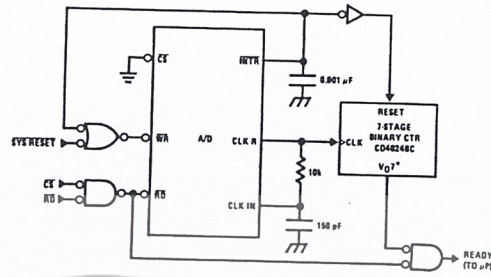
### Self-Clocking in Free-Running Mode



DS005671-65

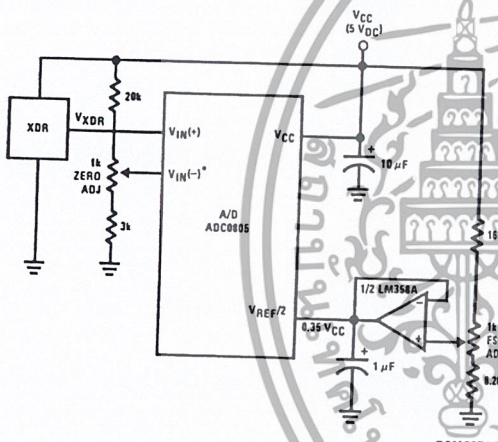
\*After power-up, a momentary grounding of the  $\overline{WR}$  input is needed to guarantee operation.

### $\mu$ P Interface for Free-Running A/D



DS005671-66

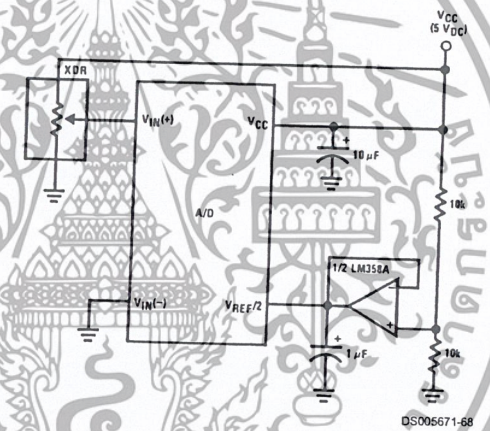
### Operating with "Automotive" Ratiometric Transducers



DS005671-67

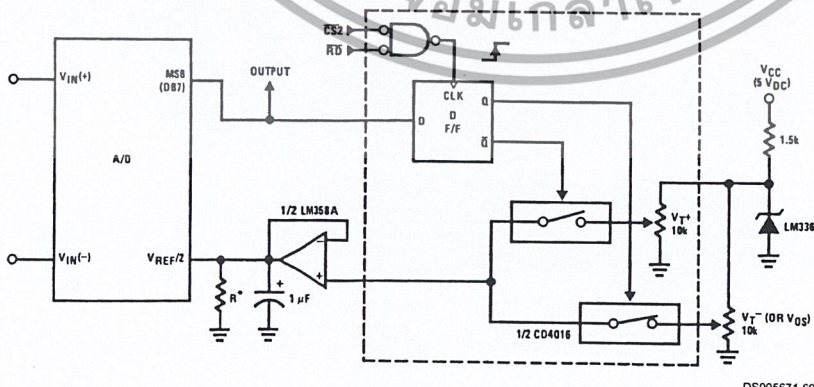
\* $V_{IN(-)} = 0.15 V_{CC}$   
15% of  $V_{CC} \leq V_{XDR} \leq 85\%$  of  $V_{CC}$

### Ratiometric with $V_{REF}/2$ Forced



DS005671-68

### $\mu$ P Compatible Differential-Input Comparator with Pre-Set $V_{OS}$ (with or without Hysteresis)



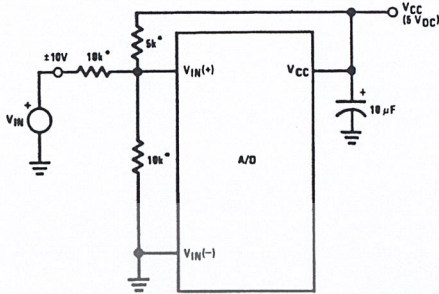
DS005671-69

\*See Figure 5 to select R value  
DB7="1" for  $V_{IN(+)} > V_{IN(-)} + (V_{REF}/2)$   
Omit circuitry within the dotted area if hysteresis is not needed

ADC0801/ADC0802/ADC0803/ADC0804/ADC0805

Typical Applications (Continued)

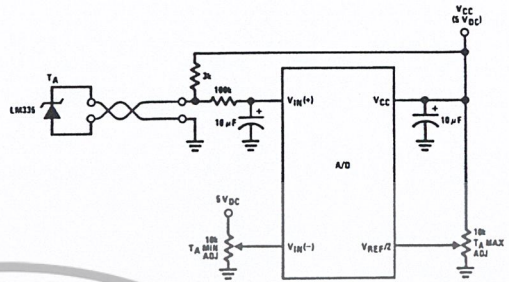
Handling  $\pm 10V$  Analog Inputs



DS005671-70

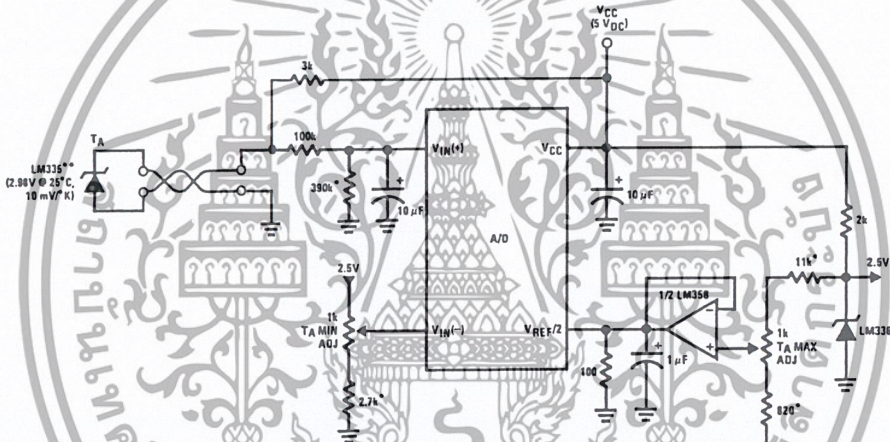
\*Beckman Instruments #694-3-R10K resistor array

Low-Cost,  $\mu P$  Interfaced, Temperature-to-Digital Converter



DS005671-71

$\mu P$  Interfaced Temperature-to-Digital Converter



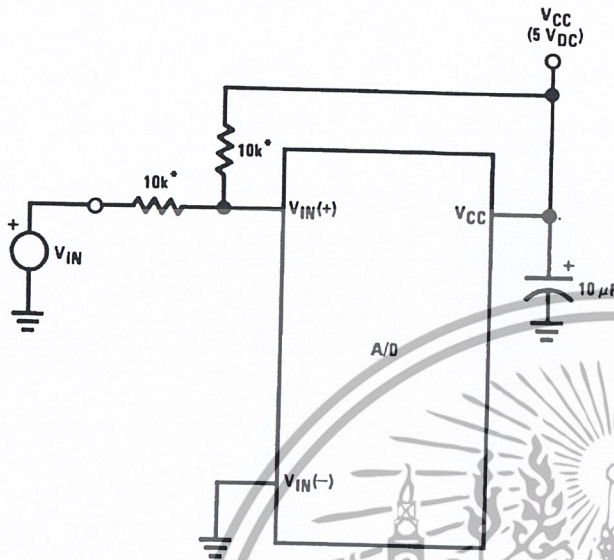
DS005671-72

\*Circuit values shown are for  $0^{\circ}C \leq T_A \leq 128^{\circ}C$

\*\*\*Can calibrate each sensor to allow easy replacement, then A/D can be calibrated with a pre-set input voltage.

# Typical Applications (Continued)

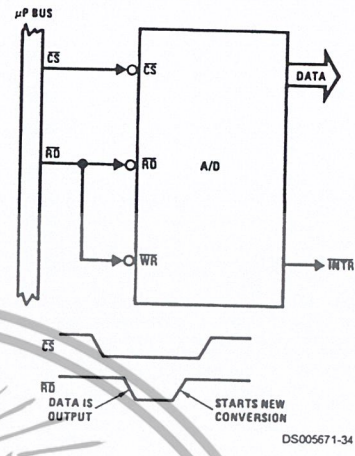
## Handling $\pm 5V$ Analog Inputs



\*Beckman Instruments #694-3-R10K resistor array

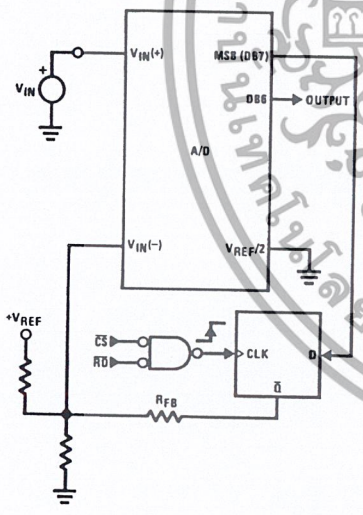
DS005671-33

## Read-Only Interface



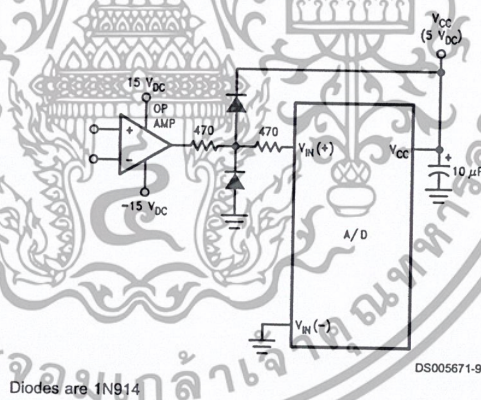
DS005671-34

## µP Interfaced Comparator with Hysteresis



DS005671-35

## Protecting the Input



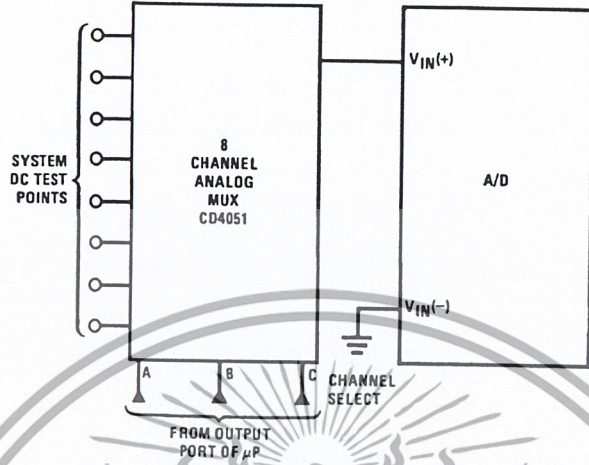
Diodes are 1N914

DS005671-9

ADC0801/ADC0802/ADC0803/ADC0804/ADC0805

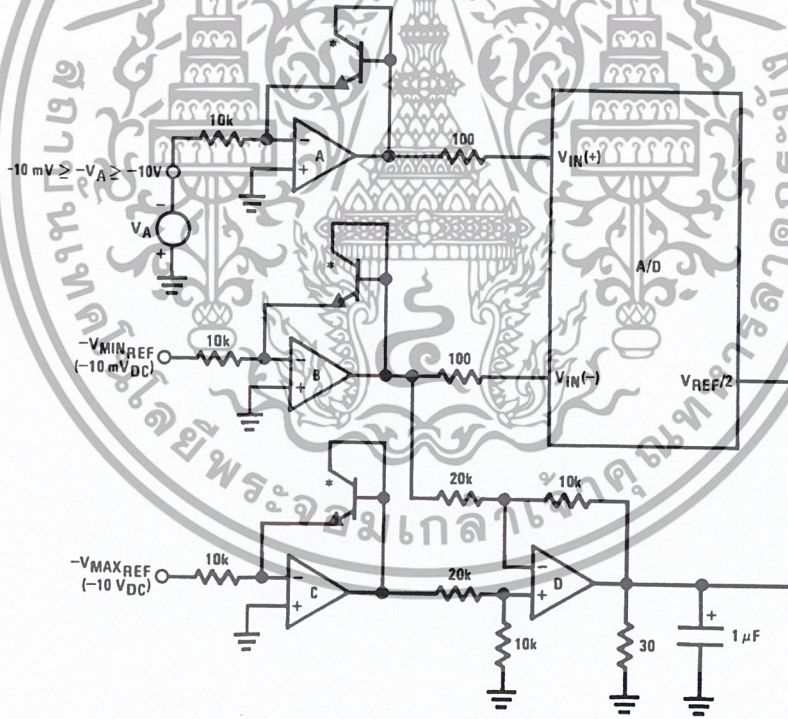
Typical Applications (Continued)

Analog Self-Test for a System



DS005671-36

A Low-Cost, 3-Decade Logarithmic Converter



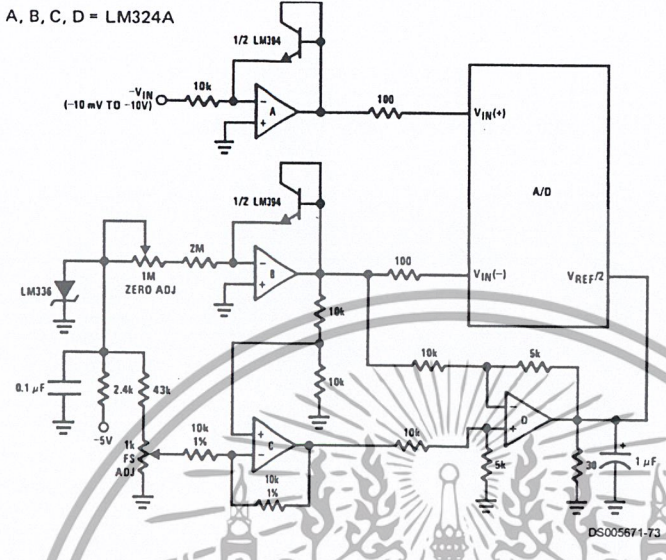
DS005671-37

\*LM389 transistors  
A, B, C, D = LM324A quad op amp

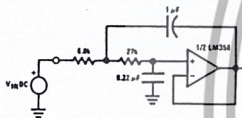
Typical Applications (Continued)

3-Decade Logarithmic A/D Converter

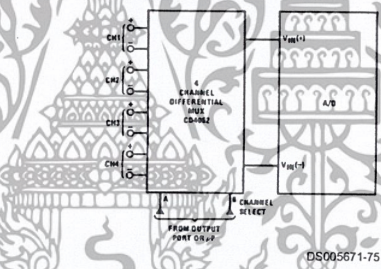
A, B, C, D = LM324A



Noise Filtering the Analog Input

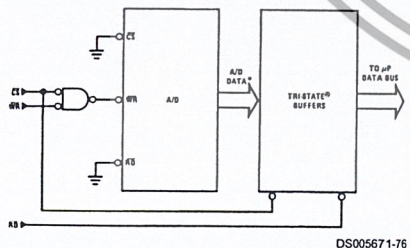


Multiplexing Differential Inputs

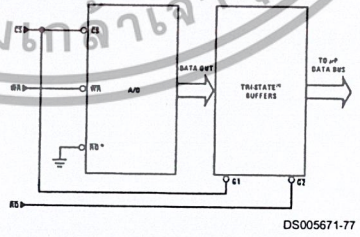


$f_c = 20 \text{ Hz}$   
 Uses Chebyshev implementation for steeper roll-off unity-gain, 2nd order, low-pass filter  
 Adding a separate filter for each channel increases system response time if an analog multiplexer is used

Output Buffers with A/D Data Enabled



Increasing Bus Drive and/or Reducing Time on Bus

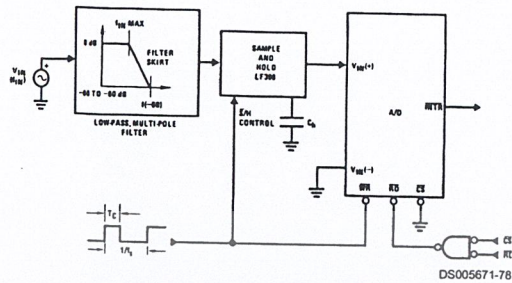


\*A/D output data is updated 1 CLK period prior to assertion of  $\overline{\text{INTR}}$

\*Allows output data to set-up at falling edge of  $\overline{\text{CS}}$

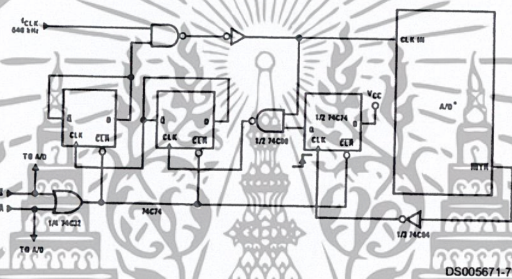
## Typical Applications (Continued)

### Sampling an AC Input Signal



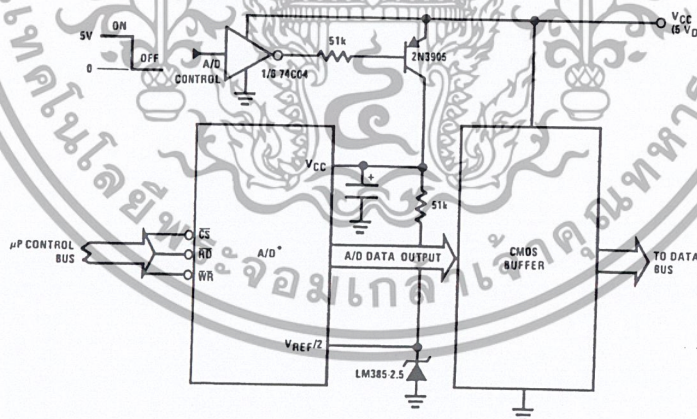
- Note 11:** Oversample whenever possible [keep  $f_s > 2f(-60)$ ] to eliminate input frequency folding (aliasing) and to allow for the skirt response of the filter.
- Note 12:** Consider the amplitude errors which are introduced within the passband of the filter.

### 70% Power Savings by Clock Gating



(Complete shutdown takes ~ 30 seconds.)

### Power Savings by A/D and V<sub>REF</sub> Shutdown



- \*Use ADC0801, 02, 03 or 05 for lowest power consumption.
- Note: Logic inputs can be driven to  $V_{CC}$  with A/D supply at zero volts.
- Buffer prevents data bus from overdriving output of A/D when in shutdown mode.

## Functional Description

### 1.0 UNDERSTANDING A/D ERROR SPECS

A perfect A/D transfer characteristic (staircase waveform) is shown in *Figure 1*. The horizontal scale is analog input voltage and the particular points labeled are in steps of 1 LSB (19.53 mV with 2.5V tied to the  $V_{REF}/2$  pin). The digital output codes that correspond to these inputs are shown as

D-1, D, and D+1. For the perfect A/D, not only will center-value (A-1, A, A+1, . . . .) analog inputs produce the correct output digital codes, but also each riser (the transitions between adjacent output codes) will be located  $\pm 1/2$  LSB away from each center-value. As shown, the risers are ideal and have no width. Correct digital output codes will be provided for a range of analog input voltages that extend

## Functional Description (Continued)

$\pm 1/2$  LSB from the ideal center-values. Each tread (the range of analog input voltage that provides the same digital output code) is therefore 1 LSB wide.

Figure 2 shows a worst case error plot for the ADC0801. All center-valued inputs are guaranteed to produce the correct output codes and the adjacent risers are guaranteed to be no closer to the center-value points than  $\pm 1/4$  LSB. In other words, if we apply an analog input equal to the center-value  $\pm 1/4$  LSB, we guarantee that the A/D will produce the correct digital code. The maximum range of the position of the code transition is indicated by the horizontal arrow and it is guaranteed to be no more than  $1/2$  LSB.

The error curve of Figure 3 shows a worst case error plot for the ADC0802. Here we guarantee that if we apply an analog input equal to the LSB analog voltage center-value the A/D will produce the correct digital code.

Next to each transfer function is shown the corresponding error plot. Many people may be more familiar with error plots than transfer functions. The analog input voltage to the A/D is provided by either a linear ramp or by the discrete output steps of a high resolution DAC. Notice that the error is continuously displayed and includes the quantization uncertainty of the A/D. For example the error at point 1 of Figure 1 is  $+1/2$  LSB because the digital code appeared  $1/2$  LSB in advance of the center-value of the tread. The error plots always have a constant negative slope and the abrupt upside steps are always 1 LSB in magnitude.

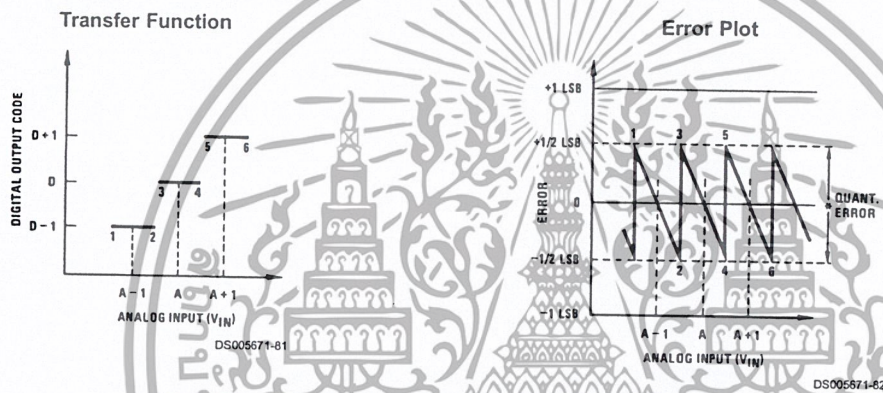


FIGURE 1. Clarifying the Error Specs of an A/D Converter Accuracy =  $\pm 0$  LSB: A Perfect A/D



FIGURE 2. Clarifying the Error Specs of an A/D Converter Accuracy =  $\pm 1/4$  LSB

Functional Description (Continued)

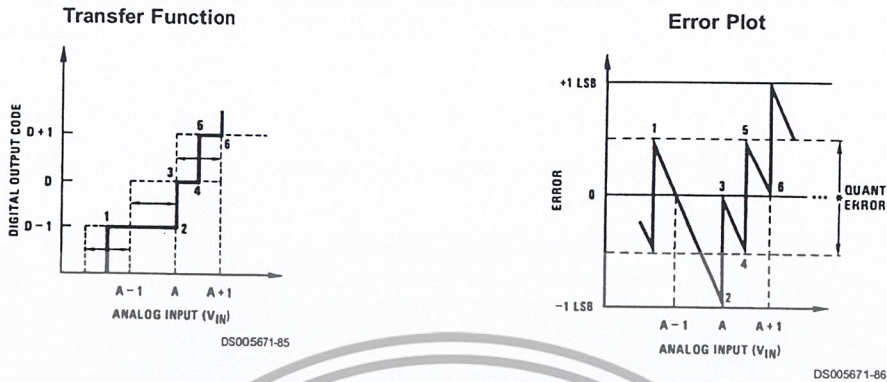


FIGURE 3. Clarifying the Error Specs of an A/D Converter  
Accuracy =  $\pm 1/2$  LSB

2.0 FUNCTIONAL DESCRIPTION

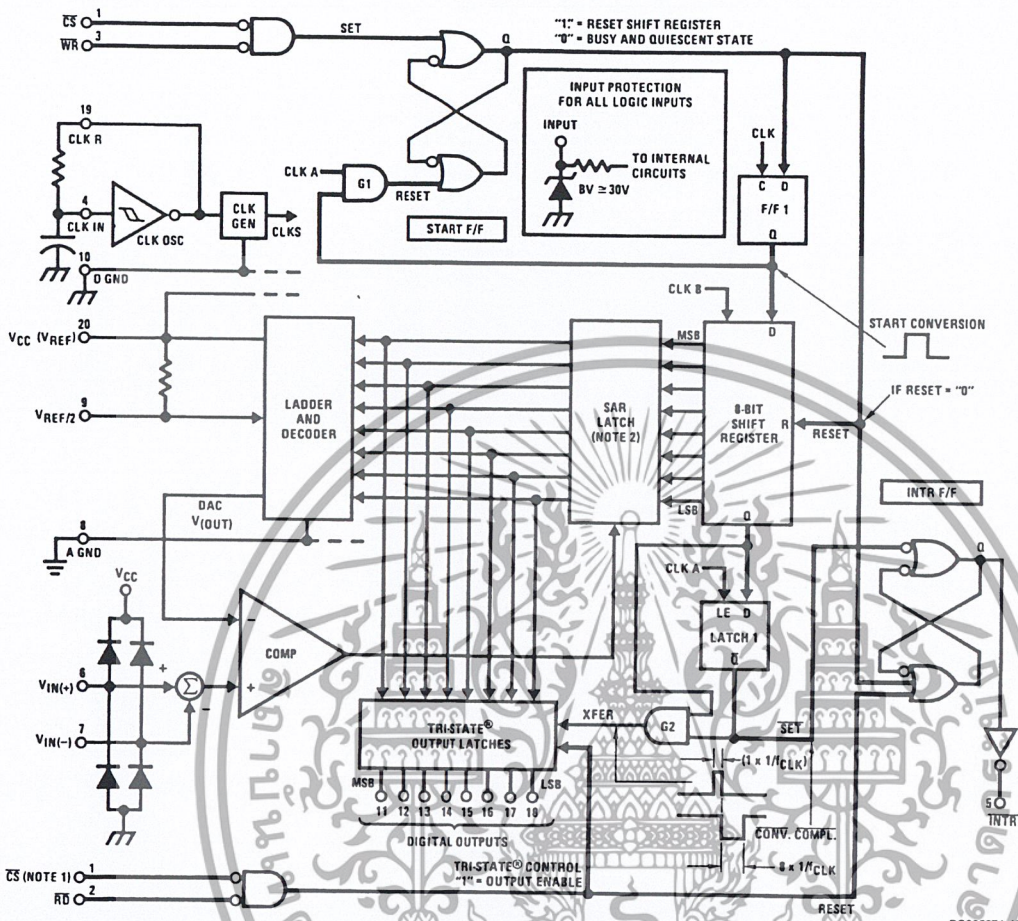
The ADC0801 series contains a circuit equivalent of the 256R network. Analog switches are sequenced by successive approximation logic to match the analog difference input voltage  $[V_{IN(+)} - V_{IN(-)}]$  to a corresponding tap on the R network. The most significant bit is tested first and after 8 comparisons (64 clock cycles) a digital 8-bit binary code (1111 1111 = full-scale) is transferred to an output latch and then an interrupt is asserted (INTR makes a high-to-low transition). A conversion in process can be interrupted by issuing a second start command. The device may be operated in the free-running mode by connecting INTR to the WR input with  $\overline{CS} = 0$ . To ensure start-up under all possible conditions, an external WR pulse is required during the first power-up cycle.

On the high-to-low transition of the  $\overline{WR}$  input the internal SAR latches and the shift register stages are reset. As long as the  $\overline{CS}$  input and  $\overline{WR}$  input remain low, the A/D will remain in a reset state. Conversion will start from 1 to 8 clock periods after at least one of these inputs makes a low-to-high transition.

A functional diagram of the A/D converter is shown in Figure 4. All of the package pinouts are shown and the major logic control paths are drawn in heavier weight lines.

The converter is started by having  $\overline{CS}$  and  $\overline{WR}$  simultaneously low. This sets the start flip-flop (F/F) and the resulting "1" level resets the 8-bit shift register, resets the interrupt (INTR) F/F and inputs a "1" to the D flop, F/F1, which is at the input end of the 8-bit shift register. Internal clock signals then transfer this "1" to the Q output of F/F1. The AND gate, G1, combines this "1" output with a clock signal to provide a reset signal to the start F/F. If the set signal is no longer present (either  $\overline{WR}$  or  $\overline{CS}$  is a "1") the start F/F is reset and the 8-bit shift register then can have the "1" clocked in, which starts the conversion process. If the set signal were to still be present, this reset pulse would have no effect (both outputs of the start F/F would momentarily be at a "1" level) and the 8-bit shift register would continue to be held in the reset mode. This logic therefore allows for wide  $\overline{CS}$  and  $\overline{WR}$  signals and the converter will start after at least one of these signals returns high and the internal clocks again provide a reset signal for the start F/F.

Functional Description (Continued)



Note 13:  $\overline{CS}$  shown twice for clarity.

Note 14: SAR = Successive Approximation Register.

FIGURE 4. Block Diagram

After the "1" is clocked through the 8-bit shift register (which completes the SAR search) it appears as the input to the D-type latch, LATCH 1. As soon as this "1" is output from the shift register, the AND gate, G2, causes the new digital word to transfer to the TRI-STATE output latches. When LATCH 1 is subsequently enabled, the Q output makes a high-to-low transition which causes the INTR F/F to set. An interrupt buffer then supplies the  $\overline{INTR}$  input signal.

Note that this  $\overline{SET}$  control of the INTR F/F remains low for 8 of the external clock periods (as the internal clocks run at 1/8 of the frequency of the external clock). If the data output is continuously enabled ( $\overline{CS}$  and  $\overline{RD}$  both held low), the  $\overline{INTR}$  output will still signal the end of conversion (by a high-to-low transition), because the  $\overline{SET}$  input can control the Q output of the INTR F/F even though the RESET input is constantly at a "1" level in this operating mode. This  $\overline{INTR}$  output will therefore stay low for the duration of the  $\overline{SET}$  signal, which is 8 periods of the external clock frequency (assuming the A/D is not started during this interval).

When operating in the free-running or continuous conversion mode (INTR pin tied to  $\overline{WR}$  and  $\overline{CS}$  wired low—see also section 2.8), the START F/F is SET by the high-to-low transition of the INTR signal. This resets the SHIFT REGISTER

which causes the input to the D-type latch, LATCH 1, to go low. As the latch enable input is still present, the  $\overline{Q}$  output will go high, which then allows the INTR F/F to be RESET. This reduces the width of the resulting  $\overline{INTR}$  output pulse to only a few propagation delays (approximately 300 ns).

When data is to be read, the combination of both  $\overline{CS}$  and  $\overline{RD}$  being low will cause the INTR F/F to be reset and the TRI-STATE output latches will be enabled to provide the 8-bit digital outputs.

2.1 Digital Control Inputs

The digital control inputs ( $\overline{CS}$ ,  $\overline{RD}$ , and  $\overline{WR}$ ) meet standard T<sup>2</sup>L logic voltage levels. These signals have been renamed when compared to the standard A/D Start and Output Enable labels. In addition, these inputs are active low to allow an easy interface to microprocessor control busses. For non-microprocessor based applications, the  $\overline{CS}$  input (pin 1) can be grounded and the standard A/D Start function is obtained by an active low pulse applied at the  $\overline{WR}$  input (pin 3) and the Output Enable function is caused by an active low pulse at the  $\overline{RD}$  input (pin 2).

DS005671-13

## Functional Description (Continued)

### 2.2 Analog Differential Voltage Inputs and Common-Mode Rejection

This A/D has additional applications flexibility due to the analog differential voltage input. The  $V_{IN(-)}$  input (pin 7) can be used to automatically subtract a fixed voltage value from the input reading (tare correction). This is also useful in 4 mA–20 mA current loop conversion. In addition, common-mode noise can be reduced by use of the differential input.

The time interval between sampling  $V_{IN(+)}$  and  $V_{IN(-)}$  is  $4\frac{1}{2}$  clock periods. The maximum error voltage due to this slight time difference between the input voltage samples is given by:

$$\Delta V_e(\text{MAX}) = (V_P) (2\pi f_{cm}) \left( \frac{4.5}{f_{CLK}} \right)$$

where:

- $\Delta V_e$  is the error voltage due to sampling delay
- $V_P$  is the peak value of the common-mode voltage
- $f_{cm}$  is the common-mode frequency

As an example, to keep this error to  $\frac{1}{4}$  LSB ( $\approx 5$  mV) when operating with a 60 Hz common-mode frequency,  $f_{cm}$ , and using a 640 kHz A/D clock,  $f_{CLK}$ , would allow a peak value of the common-mode voltage,  $V_P$ , which is given by:

$$V_P = \frac{[\Delta V_e(\text{MAX})] (f_{CLK})}{(2\pi f_{cm}) (4.5)}$$

or

$$V_P = \frac{(5 \times 10^{-3}) (640 \times 10^3)}{(6.28) (60) (4.5)}$$

which gives

$$V_P \approx 1.9V.$$

The allowed range of analog input voltages usually places more severe restrictions on input common-mode noise levels.

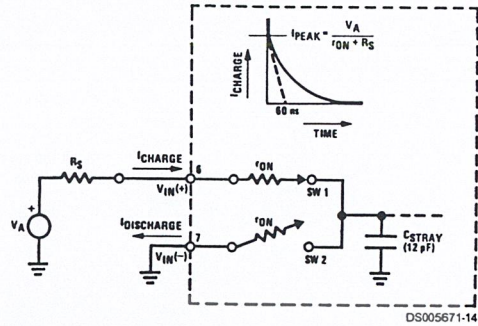
An analog input voltage with a reduced span and a relatively large zero offset can be handled easily by making use of the differential input (see section 2.4 Reference Voltage).

### 2.3 Analog Inputs

#### 2.3.1 Input Current

##### Normal Mode

Due to the internal switching action, displacement currents will flow at the analog inputs. This is due to on-chip stray capacitance to ground as shown in Figure 5.



$$r_{ON} \text{ of SW 1 and SW 2} \approx 5 \text{ k}\Omega$$

$$r_{ON} C_{STRAY} \approx 5 \text{ k}\Omega \times 12 \text{ pF} = 60 \text{ ns}$$

FIGURE 5. Analog Input Impedance

The voltage on this capacitance is switched and will result in currents entering the  $V_{IN(+)}$  input pin and leaving the  $V_{IN(-)}$  input which will depend on the analog differential input voltage levels. These current transients occur at the leading edge of the internal clocks. They rapidly decay and *do not cause errors* as the on-chip comparator is strobed at the end of the clock period.

##### Fault Mode

If the voltage source applied to the  $V_{IN(+)}$  or  $V_{IN(-)}$  pin exceeds the allowed operating range of  $V_{CC}+50$  mV, large input currents can flow through a parasitic diode to the  $V_{CC}$  pin. If these currents can exceed the 1 mA max allowed spec, an external diode (1N914) should be added to bypass this current to the  $V_{CC}$  pin (with the current bypassed with this diode, the voltage at the  $V_{IN(+)}$  pin can exceed the  $V_{CC}$  voltage by the forward voltage of this diode).

#### 2.3.2 Input Bypass Capacitors

Bypass capacitors at the inputs will average these charges and cause a DC current to flow through the output resistances of the analog signal sources. This charge pumping action is worse for continuous conversions with the  $V_{IN(+)}$  input voltage at full-scale. For continuous conversions with a 640 kHz clock frequency with the  $V_{IN(+)}$  input at 5V, this DC current is at a maximum of approximately 5  $\mu$ A. Therefore, *bypass capacitors should not be used at the analog inputs or the  $V_{REF}/2$  pin for high resistance sources ( $> 1$  k $\Omega$ ).* If input bypass capacitors are necessary for noise filtering and high source resistance is desirable to minimize capacitor size, the detrimental effects of the voltage drop across this input resistance, which is due to the average value of the input current, can be eliminated with a full-scale adjustment while the given source resistor and input bypass capacitor are both in place. This is possible because the average value of the input current is a precise linear function of the differential input voltage.

#### 2.3.3 Input Source Resistance

Large values of source resistance where an input bypass capacitor is not used, *will not cause errors* as the input currents settle out prior to the comparison time. If a low pass filter is required in the system, use a low valued series resistor ( $\leq 1$  k $\Omega$ ) for a passive RC section or add an op amp RC active low pass filter. For low source resistance applications, ( $\leq 1$  k $\Omega$ ), a 0.1  $\mu$ F bypass capacitor at the inputs will prevent noise pickup due to series lead inductance of a long

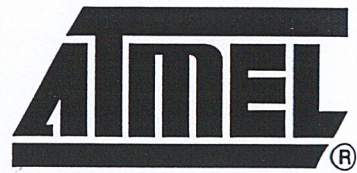
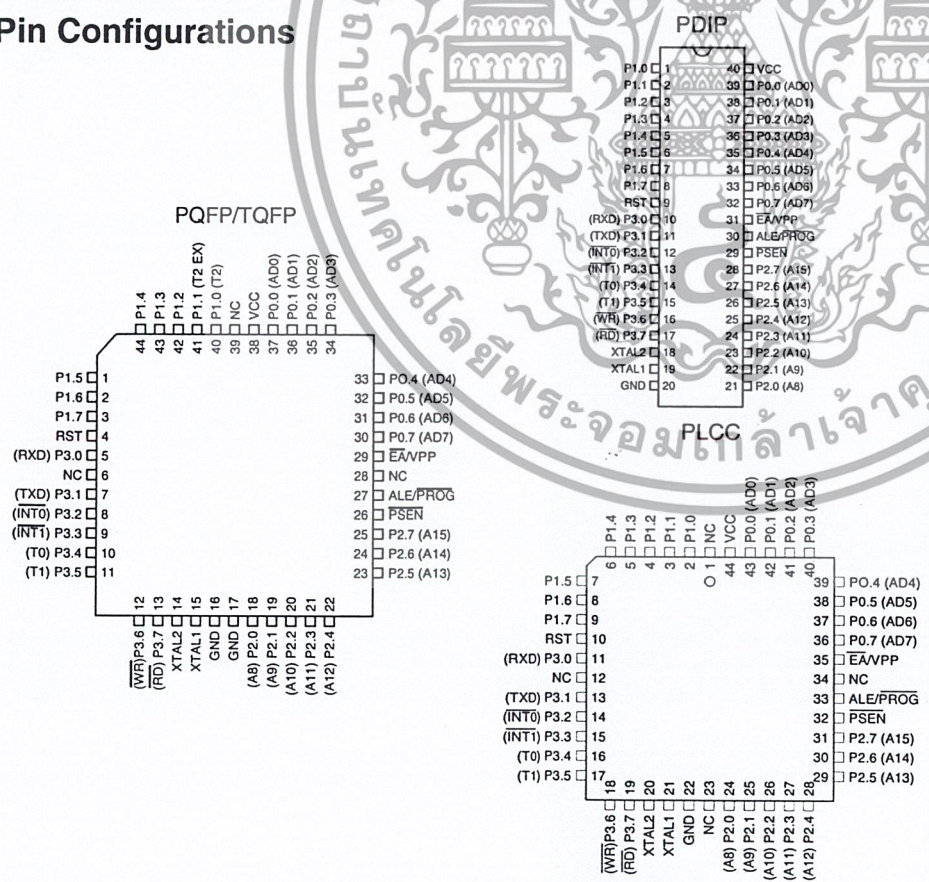
## Features

- Compatible with MCS-51™ Products
- 4K Bytes of In-System Reprogrammable Flash Memory
  - Endurance: 1,000 Write/Erase Cycles
- Fully Static Operation: 0 Hz to 24 MHz
- Three-level Program Memory Lock
- 128 x 8-bit Internal RAM
- 32 Programmable I/O Lines
- Two 16-bit Timer/Counters
- Six Interrupt Sources
- Programmable Serial Channel
- Low-power Idle and Power-down Modes

## Description

The AT89C51 is a low-power, high-performance CMOS 8-bit microcomputer with 4K bytes of Flash programmable and erasable read only memory (PEROM). The device is manufactured using Atmel's high-density nonvolatile memory technology and is compatible with the industry-standard MCS-51 instruction set and pinout. The on-chip Flash allows the program memory to be reprogrammed in-system or by a conventional nonvolatile memory programmer. By combining a versatile 8-bit CPU with Flash on a monolithic chip, the Atmel AT89C51 is a powerful microcomputer which provides a highly-flexible and cost-effective solution to many embedded control applications.

## Pin Configurations



## 8-bit Microcontroller with 4K Bytes Flash

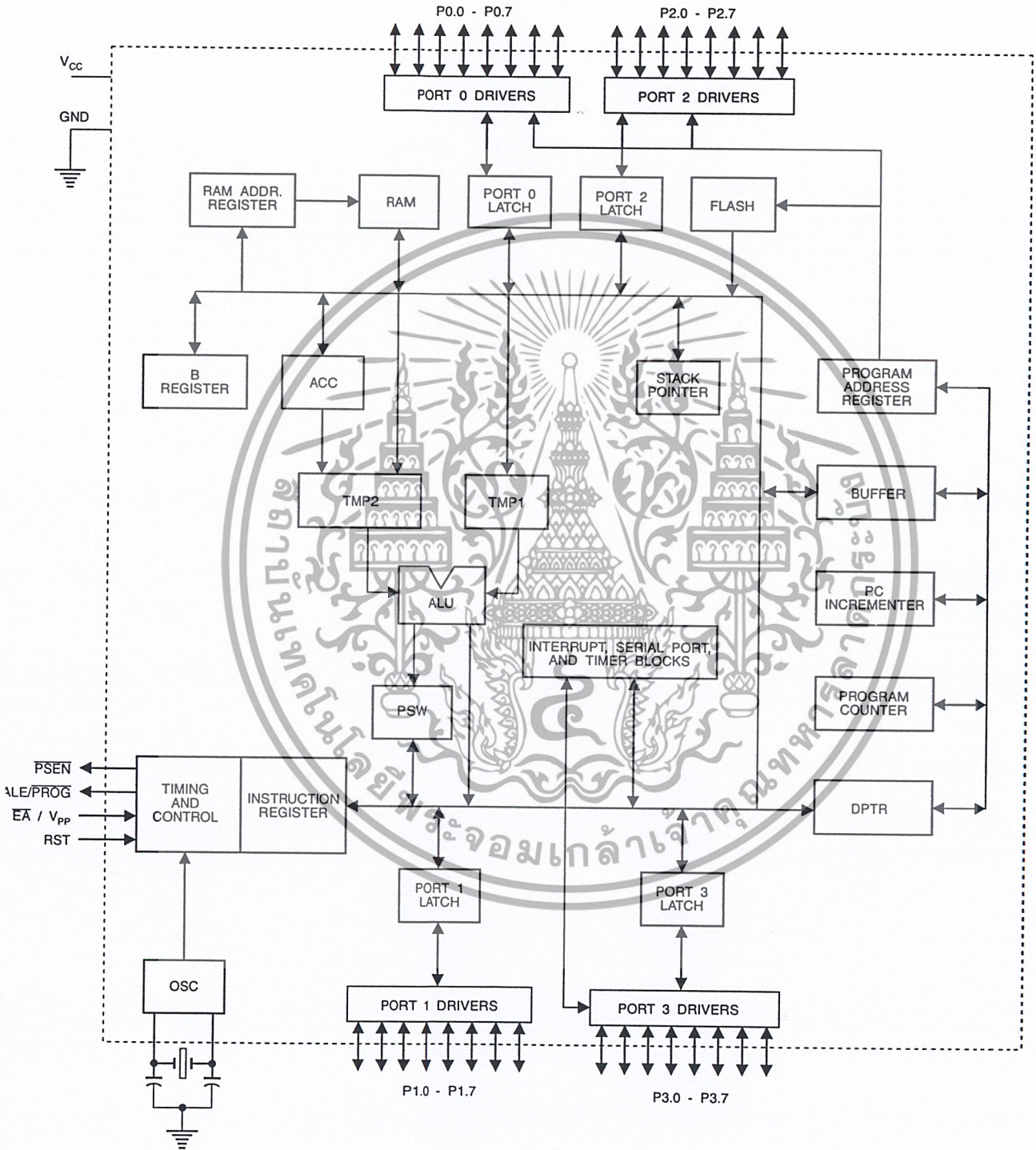
## AT89C51



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



## Block Diagram



## AT89C51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The AT89C51 provides the following standard features: 4K bytes of Flash, 128 bytes of RAM, 32 I/O lines, two 16-bit timer/counters, a five vector two-level interrupt architecture, a full duplex serial port, on-chip oscillator and clock circuitry. In addition, the AT89C51 is designed with static logic for operation down to zero frequency and supports two software selectable power saving modes. The Idle Mode stops the CPU while allowing the RAM, timer/counters, serial port and interrupt system to continue functioning. The Power-down Mode saves the RAM contents but freezes the oscillator disabling all other chip functions until the next hardware reset.

## Pin Description

### VCC

Supply voltage.

### GND

Ground.

### Port 0

Port 0 is an 8-bit open-drain bi-directional I/O port. As an output port, each pin can sink eight TTL inputs. When 1s are written to port 0 pins, the pins can be used as high-impedance inputs.

Port 0 may also be configured to be the multiplexed low-order address/data bus during accesses to external program and data memory. In this mode P0 has internal pullups.

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

### Port 1

Port 1 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 1 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 1 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 1 pins that are externally being pulled low will source current ( $I_{IL}$ ) because of the internal pullups.

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

### Port 2

Port 2 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 2 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 2 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs,

Port 2 pins that are externally being pulled low will source current ( $I_{IL}$ ) because of the internal pullups.

Port 2 emits the high-order address byte during fetches from external program memory and during accesses to external data memory that use 16-bit addresses (MOVX @ DPTR). In this application, it uses strong internal pullups when emitting 1s. During accesses to external data memory that use 8-bit addresses (MOVX @ RI), Port 2 emits the contents of the P2 Special Function Register.

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

### Port 3

Port 3 is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pullups. The Port 3 output buffers can sink/source four TTL inputs. When 1s are written to Port 3 pins they are pulled high by the internal pullups and can be used as inputs. As inputs, Port 3 pins that are externally being pulled low will source current ( $I_{IL}$ ) because of the pullups.

Port 3 also serves the functions of various special features of the AT89C51 as listed below:

Port Pin	Alternate Functions
P3.0	RXD (serial input port)
P3.1	TXD (serial output port)
P3.2	$\overline{INT0}$ (external interrupt 0)
P3.3	$\overline{INT1}$ (external interrupt 1)
P3.4	T0 (timer 0 external input)
P3.5	T1 (timer 1 external input)
P3.6	$\overline{WR}$ (external data memory write strobe)
P3.7	$\overline{RD}$ (external data memory read strobe)

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

### RST

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

### ALE/PROG

Address Latch Enable output pulse for latching the low byte of the address during accesses to external memory. This pin is also the program pulse input ( $\overline{PROG}$ ) during Flash programming.

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





pulse is skipped during each access to external Data Memory.

If desired, ALE operation can be disabled by setting bit 0 of SFR location 8EH. With the bit set, ALE is active only during a MOVX or MOVC instruction. Otherwise, the pin is weakly pulled high. Setting the ALE-disable bit has no effect if the microcontroller is in external execution mode.

### PSEN

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

When the AT89C51 is executing code from external program memory, PSEN is activated twice each machine cycle, except that two PSEN activations are skipped during each access to external data memory.

### EA/VPP

External Access Enable. EA must be strapped to GND in order to enable the device to fetch code from external program memory locations starting at 0000H up to FFFFH. Note, however, that if lock bit 1 is programmed, EA will be internally latched on reset.

EA should be strapped to VCC for internal program executions.

This pin also receives the 12-volt programming enable voltage (VPP) during Flash programming, for parts that require 12-volt VPP.

### XTAL1

Input to the inverting oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

### XTAL2

Output from the inverting oscillator amplifier.

## Oscillator Characteristics

XTAL1 and XTAL2 are the input and output, respectively, of an inverting amplifier which can be configured for use as an on-chip oscillator, as shown in Figure 1. Either a quartz crystal or ceramic resonator may be used. To drive the device from an external clock source, XTAL2 should be left

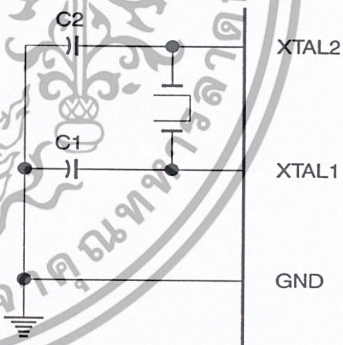
unconnected while XTAL1 is driven as shown in Figure 2. There are no requirements on the duty cycle of the external clock signal, since the input to the internal clocking circuitry is through a divide-by-two flip-flop, but minimum and maximum voltage high and low time specifications must be observed.

## Idle Mode

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

It should be noted that when idle is terminated by a hardware reset, the device normally resumes program execution, from where it left off, up to two machine cycles before the internal reset algorithm takes control. On-chip hardware inhibits access to internal RAM in this event, but access to the port pins is not inhibited. To eliminate the possibility of an unexpected write to a port pin when Idle is terminated by reset, the instruction following the one that invokes Idle should not be one that writes to a port pin or to external memory.

Figure 1. Oscillator Connections



Note: C1, C2 = 30 pF ± 10 pF for Crystals  
= 40 pF ± 10 pF for Ceramic Resonators

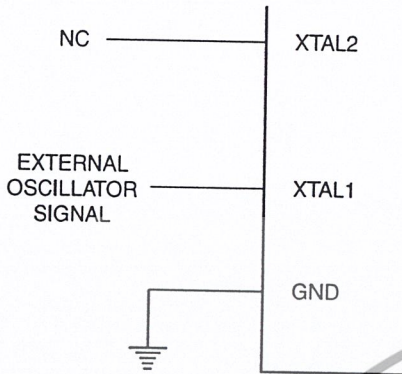
## Status of External Pins During Idle and Power-down Modes

Mode	Program Memory	ALE	PSEN	PORT0	PORT1	PORT2	PORT3
Idle	Internal	1	1	Data	Data	Data	Data
Idle	External	1	1	Float	Data	Address	Data
Power-down	Internal	0	0	Data	Data	Data	Data
Power-down	External	0	0	Float	Data	Data	Data

## 4 AT89C51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Figure 2.** External Clock Drive Configuration



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

### Program Memory Lock Bits

On the chip are three lock bits which can be left unprogrammed (U) or can be programmed (P) to obtain the additional features listed in the table below.

When lock bit 1 is programmed, the logic level at the  $\overline{EA}$  pin is sampled and latched during reset. If the device is powered up without a reset, the latch initializes to a random value, and holds that value until reset is activated. It is necessary that the latched value of  $\overline{EA}$  be in agreement with the current logic level at that pin in order for the device to function properly.

### Power-down Mode

In the power-down mode, the oscillator is stopped, and the instruction that invokes power-down is the last instruction executed. The on-chip RAM and Special Function Regis-

### Lock Bit Protection Modes

Program Lock Bits				Protection Type
	LB1	LB2	LB3	
1	U	U	U	No program lock features
2	P	U	U	MOV <sub>C</sub> instructions executed from external program memory are disabled from fetching code bytes from internal memory, $\overline{EA}$ is sampled and latched on reset, and further programming of the Flash is disabled
3	P	P	U	Same as mode 2, also verify is disabled
4	P	P	P	Same as mode 3, also external execution is disabled





## Programming the Flash

The AT89C51 is normally shipped with the on-chip Flash memory array in the erased state (that is, contents = FFH) and ready to be programmed. The programming interface accepts either a high-voltage (12-volt) or a low-voltage ( $V_{CC}$ ) program enable signal. The low-voltage programming mode provides a convenient way to program the AT89C51 inside the user's system, while the high-voltage programming mode is compatible with conventional third-party Flash or EPROM programmers.

The AT89C51 is shipped with either the high-voltage or low-voltage programming mode enabled. The respective top-side marking and device signature codes are listed in the following table.

	$V_{PP} = 12V$	$V_{PP} = 5V$
Top-Side Mark	AT89C51 xxxx yyww	AT89C51 xxxx-5 yyww
Signature	(030H) = 1EH (031H) = 51H (032H) = FFH	(030H) = 1EH (031H) = 51H (032H) = 05H

The AT89C51 code memory array is programmed byte-by-byte in either programming mode. *To program any non-blank byte in the on-chip Flash Memory, the entire memory must be erased using the Chip Erase Mode.*

**Programming Algorithm:** Before programming the AT89C51, the address, data and control signals should be set up according to the Flash programming mode table and Figure 3 and Figure 4. To program the AT89C51, take the following steps.

1. Input the desired memory location on the address lines.
2. Input the appropriate data byte on the data lines.
3. Activate the correct combination of control signals.
4. Raise  $\overline{EA}/V_{PP}$  to 12V for the high-voltage programming mode.
5. Pulse  $\overline{ALE}/\overline{PROG}$  once to program a byte in the Flash array or the lock bits. The byte-write cycle is self-timed and typically takes no more than 1.5 ms. Repeat steps 1 through 5, changing the address

and data for the entire array or until the end of the object file is reached.

**Data Polling:** The AT89C51 features  $\overline{Data}$  Polling to indicate the end of a write cycle. During a write cycle, an attempted read of the last byte written will result in the complement of the written datum on PO.7. Once the write cycle has been completed, true data are valid on all outputs, and the next cycle may begin.  $\overline{Data}$  Polling may begin any time after a write cycle has been initiated.

**Ready/Busy:** The progress of byte programming can also be monitored by the RDY/ $\overline{BSY}$  output signal. P3.4 is pulled low after ALE goes high during programming to indicate BUSY. P3.4 is pulled high again when programming is done to indicate READY.

**Program Verify:** If lock bits LB1 and LB2 have not been programmed, the programmed code data can be read back via the address and data lines for verification. The lock bits cannot be verified directly. Verification of the lock bits is achieved by observing that their features are enabled.

**Chip Erase:** The entire Flash array is erased electrically by using the proper combination of control signals and by holding  $\overline{ALE}/\overline{PROG}$  low for 10 ms. The code array is written with all "1"s. The chip erase operation must be executed before the code memory can be re-programmed.

**Reading the Signature Bytes:** The signature bytes are read by the same procedure as a normal verification of locations 030H, 031H, and 032H, except that P3.6 and P3.7 must be pulled to a logic low. The values returned are as follows:

- (030H) = 1EH indicates manufactured by Atmel
- (031H) = 51H indicates 89C51
- (032H) = FFH indicates 12V programming
- (032H) = 05H indicates 5V programming

## Programming Interface

Every code byte in the Flash array can be written and the entire array can be erased by using the appropriate combination of control signals. The write operation cycle is self-timed and once initiated, will automatically time itself to completion.

All major programming vendors offer worldwide support for the Atmel microcontroller series. Please contact your local programming vendor for the appropriate software revision.

## AT89C51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

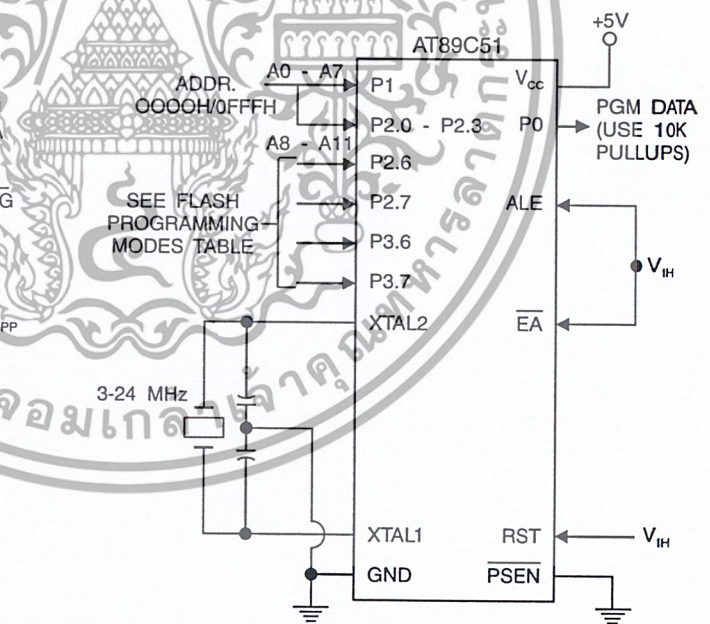
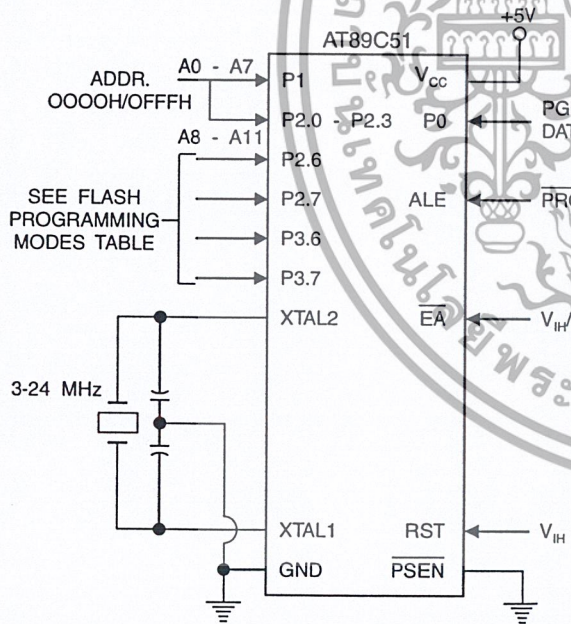
## Flash Programming Modes

Mode	RST	$\overline{\text{PSEN}}$	ALE/PROG	$\overline{\text{EA}}/V_{\text{PP}}$	P2.6	P2.7	P3.6	P3.7
Write Code Data	H	L		H/12V	L	H	H	H
Read Code Data	H	L	H	H	L	L	H	H
Write Lock	Bit - 1	H	L		H/12V	H	H	H
	Bit - 2	H	L		H/12V	H	H	L
	Bit - 3	H	L		H/12V	H	L	L
Chip Erase	H	L		H/12V	H	L	L	L
Read Signature Byte	H	L	H	H	L	L	L	L

Note: 1. Chip Erase requires a 10 ms PROG pulse.

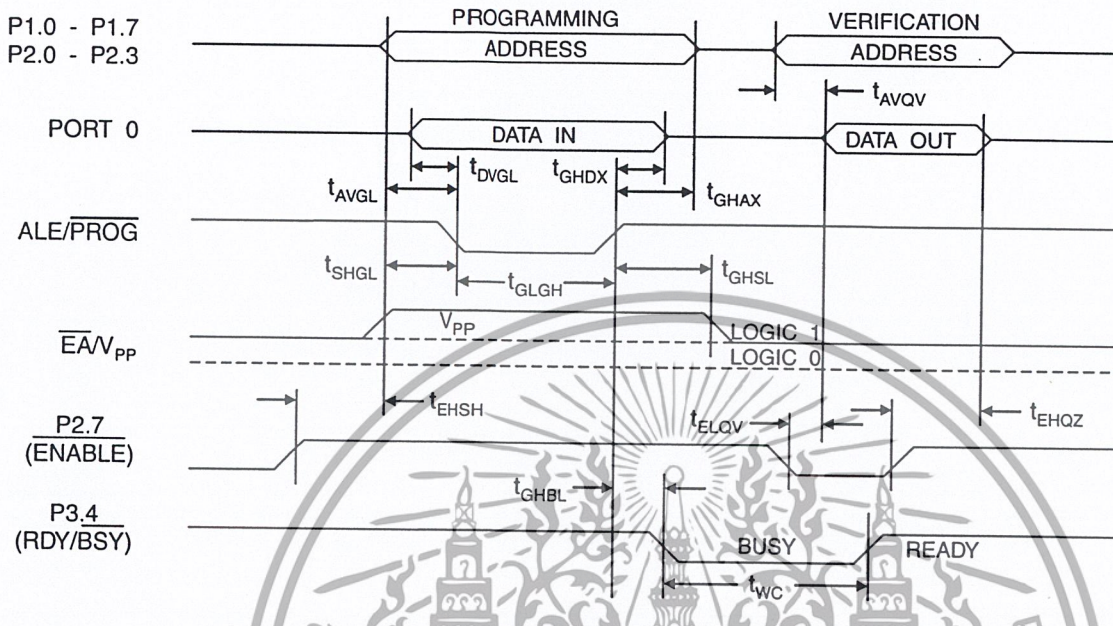
Figure 3. Programming the Flash

Figure 4. Verifying the Flash

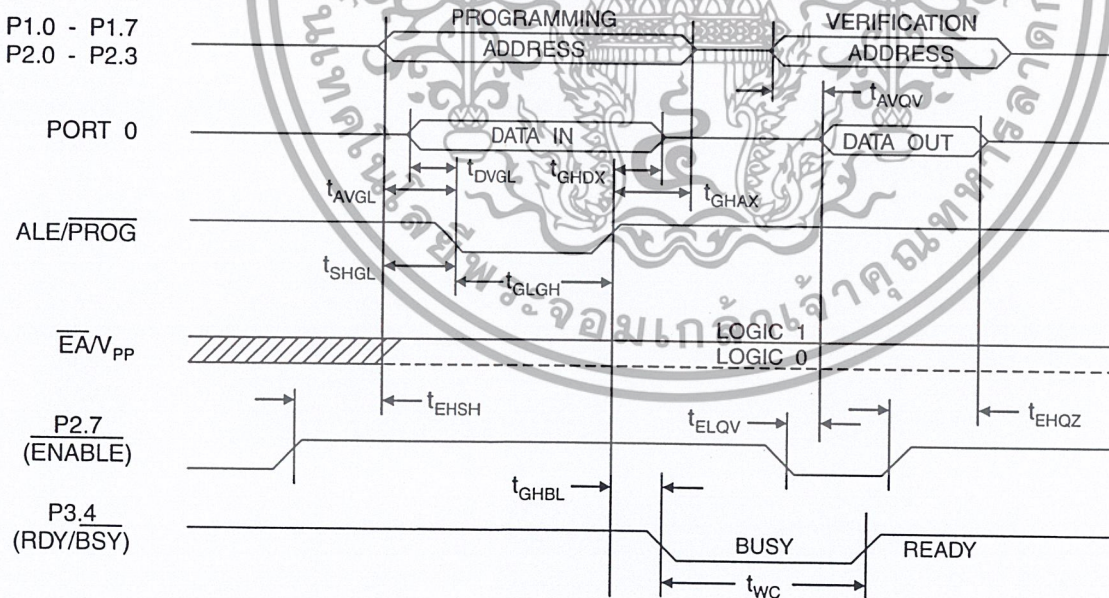




## Flash Programming and Verification Waveforms - High-voltage Mode ( $V_{PP} = 12V$ )



## Flash Programming and Verification Waveforms - Low-voltage Mode ( $V_{PP} = 5V$ )



## AT89C51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Flash Programming and Verification Characteristics

$T_A = 0^\circ\text{C to } 70^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = 5.0 \pm 10\%$

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
$V_{PP}^{(1)}$	Programming Enable Voltage	11.5	12.5	V
$I_{PP}^{(1)}$	Programming Enable Current		1.0	mA
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	3	24	MHz
$t_{AVGL}$	Address Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	$48t_{CLCL}$		
$t_{GHAX}$	Address Hold After $\overline{\text{PROG}}$	$48t_{CLCL}$		
$t_{DVGL}$	Data Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	$48t_{CLCL}$		
$t_{GHDX}$	Data Hold After $\overline{\text{PROG}}$	$48t_{CLCL}$		
$t_{EHS}$	P2.7 (ENABLE) High to $V_{PP}$	$48t_{CLCL}$		
$t_{SHGL}$	$V_{PP}$ Setup to $\overline{\text{PROG}}$ Low	10		$\mu\text{s}$
$t_{GHSL}^{(1)}$	$V_{PP}$ Hold After $\overline{\text{PROG}}$	10		$\mu\text{s}$
$t_{GLGH}$	$\overline{\text{PROG}}$ Width	1	110	$\mu\text{s}$
$t_{AVQV}$	Address to Data Valid		$48t_{CLCL}$	
$t_{ELQV}$	$\overline{\text{ENABLE}}$ Low to Data Valid		$48t_{CLCL}$	
$t_{EHOZ}$	Data Float After $\overline{\text{ENABLE}}$	0	$48t_{CLCL}$	
$t_{GHBL}$	$\overline{\text{PROG}}$ High to $\overline{\text{BUSY}}$ Low		1.0	$\mu\text{s}$
$t_{WC}$	Byte Write Cycle Time		2.0	ms

Note: 1. Only used in 12-volt programming mode.





## Absolute Maximum Ratings\*

Operating Temperature.....	-55°C to +125°C
Storage Temperature.....	-65°C to +150°C
Voltage on Any Pin with Respect to Ground.....	-1.0V to +7.0V
Maximum Operating Voltage.....	6.6V
DC Output Current.....	15.0 mA

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

## DC Characteristics

$T_A = -40^\circ\text{C}$  to  $85^\circ\text{C}$ ,  $V_{CC} = 5.0\text{V} \pm 20\%$  (unless otherwise noted)

Symbol	Parameter	Condition	Min	Max	Units
$V_{IL}$	Input Low-voltage	(Except EA)	-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.1$	V
$V_{IL1}$	Input Low-voltage (EA)		-0.5	$0.2 V_{CC} - 0.3$	V
$V_{IH}$	Input High-voltage	(Except XTAL1, RST)	$0.2 V_{CC} + 0.9$	$V_{CC} + 0.5$	V
$V_{IH1}$	Input High-voltage	(XTAL1, RST)	$0.7 V_{CC}$	$V_{CC} + 0.5$	V
$V_{OL}$	Output Low-voltage <sup>(1)</sup> (Ports 1,2,3)	$I_{OL} = 1.6 \text{ mA}$		0.45	V
$V_{OL1}$	Output Low-voltage <sup>(1)</sup> (Port 0, ALE, PSEN)	$I_{OL} = 3.2 \text{ mA}$		0.45	V
$V_{OH}$	Output High-voltage (Ports 1,2,3, ALE, PSEN)	$I_{OH} = -60 \mu\text{A}$ , $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -25 \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -10 \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
$V_{OH1}$	Output High-voltage (Port 0 in External Bus Mode)	$I_{OH} = -800 \mu\text{A}$ , $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$	2.4		V
		$I_{OH} = -300 \mu\text{A}$	$0.75 V_{CC}$		V
		$I_{OH} = -80 \mu\text{A}$	$0.9 V_{CC}$		V
$I_{IL}$	Logical 0 Input Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 0.45\text{V}$		-50	$\mu\text{A}$
$I_{TL}$	Logical 1 to 0 Transition Current (Ports 1,2,3)	$V_{IN} = 2\text{V}$ , $V_{CC} = 5\text{V} \pm 10\%$		-650	$\mu\text{A}$
$I_{LI}$	Input Leakage Current (Port 0, EA)	$0.45 < V_{IN} < V_{CC}$		$\pm 10$	$\mu\text{A}$
RRST	Reset Pull-down Resistor		50	300	$\text{K}\Omega$
$C_{IO}$	Pin Capacitance	Test Freq. = 1 MHz, $T_A = 25^\circ\text{C}$		10	pF
$I_{CC}$	Power Supply Current	Active Mode, 12 MHz		20	mA
		Idle Mode, 12 MHz		5	mA
	Power-down Mode <sup>(2)</sup>	$V_{CC} = 6\text{V}$		100	$\mu\text{A}$
		$V_{CC} = 3\text{V}$		40	$\mu\text{A}$

- Notes: 1. Under steady state (non-transient) conditions,  $I_{OL}$  must be externally limited as follows:  
 Maximum  $I_{OL}$  per port pin: 10 mA  
 Maximum  $I_{OL}$  per 8-bit port: Port 0: 26 mA  
 Ports 1, 2, 3: 15 mA  
 Maximum total  $I_{OL}$  for all output pins: 71 mA  
 If  $I_{OL}$  exceeds the test condition,  $V_{OL}$  may exceed the related specification. Pins are not guaranteed to sink current greater than the listed test conditions.
2. Minimum  $V_{CC}$  for Power-down is 2V.

## AC Characteristics

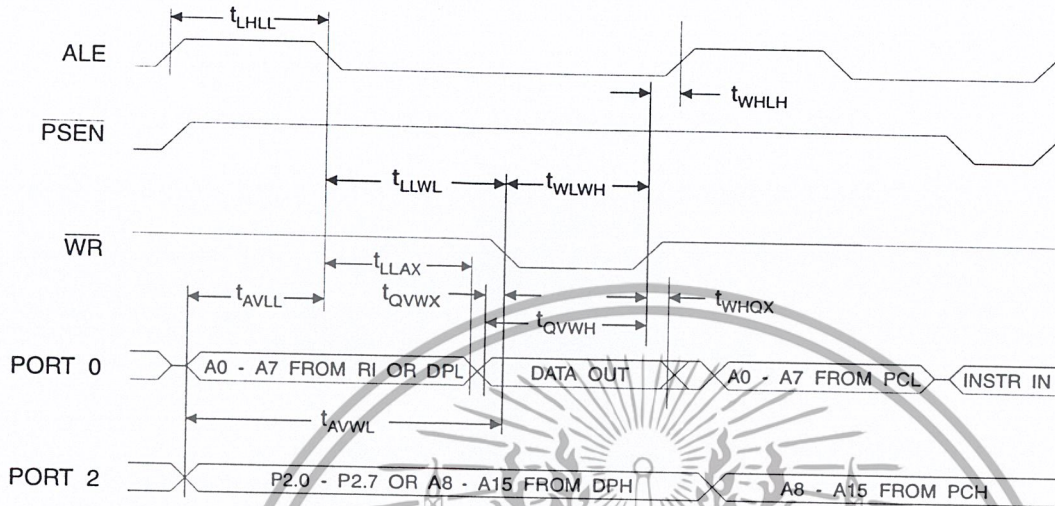
Under operating conditions, load capacitance for Port 0, ALE/ $\overline{\text{PROG}}$ , and  $\overline{\text{PSEN}}$  = 100 pF; load capacitance for all other outputs = 80 pF.

## External Program and Data Memory Characteristics

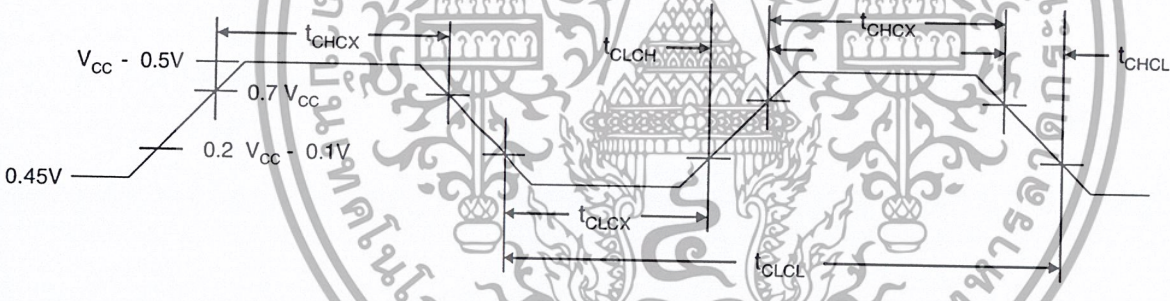
Symbol	Parameter	12 MHz Oscillator		16 to 24 MHz Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
$1/t_{\text{CLCL}}$	Oscillator Frequency			0	24	MHz
$t_{\text{LHLL}}$	ALE Pulse Width	127		$2t_{\text{CLCL}}-40$		ns
$t_{\text{AVLL}}$	Address Valid to ALE Low	43		$t_{\text{CLCL}}-13$		ns
$t_{\text{LLAX}}$	Address Hold After ALE Low	48		$t_{\text{CLCL}}-20$		ns
$t_{\text{LLIV}}$	ALE Low to Valid Instruction In		233		$4t_{\text{CLCL}}-65$	ns
$t_{\text{LLPL}}$	ALE Low to $\overline{\text{PSEN}}$ Low	43		$t_{\text{CLCL}}-13$		ns
$t_{\text{PLPH}}$	$\overline{\text{PSEN}}$ Pulse Width	205		$3t_{\text{CLCL}}-20$		ns
$t_{\text{PLIV}}$	$\overline{\text{PSEN}}$ Low to Valid Instruction In		145		$3t_{\text{CLCL}}-45$	ns
$t_{\text{PXIX}}$	Input Instruction Hold After $\overline{\text{PSEN}}$	0		0		ns
$t_{\text{PXIZ}}$	Input Instruction Float After $\overline{\text{PSEN}}$		59		$t_{\text{CLCL}}-10$	ns
$t_{\text{PXAV}}$	$\overline{\text{PSEN}}$ to Address Valid	75		$t_{\text{CLCL}}-8$		ns
$t_{\text{AVIV}}$	Address to Valid Instruction In		312		$5t_{\text{CLCL}}-55$	ns
$t_{\text{PLAZ}}$	$\overline{\text{PSEN}}$ Low to Address Float		10		10	ns
$t_{\text{RLRH}}$	$\overline{\text{RD}}$ Pulse Width	400		$6t_{\text{CLCL}}-100$		ns
$t_{\text{WLWH}}$	$\overline{\text{WR}}$ Pulse Width	400		$6t_{\text{CLCL}}-100$		ns
$t_{\text{RLDV}}$	$\overline{\text{RD}}$ Low to Valid Data In		252		$5t_{\text{CLCL}}-90$	ns
$t_{\text{RHDX}}$	Data Hold After $\overline{\text{RD}}$	0		0		ns
$t_{\text{RHDZ}}$	Data Float After $\overline{\text{RD}}$		97		$2t_{\text{CLCL}}-28$	ns
$t_{\text{LLDV}}$	ALE Low to Valid Data In		517		$8t_{\text{CLCL}}-150$	ns
$t_{\text{AVDV}}$	Address to Valid Data In		585		$9t_{\text{CLCL}}-165$	ns
$t_{\text{LLWL}}$	ALE Low to $\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ Low	200	300	$3t_{\text{CLCL}}-50$	$3t_{\text{CLCL}}+50$	ns
$t_{\text{AVWL}}$	Address to $\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ Low	203		$4t_{\text{CLCL}}-75$		ns
$t_{\text{QVWX}}$	Data Valid to $\overline{\text{WR}}$ Transition	23		$t_{\text{CLCL}}-20$		ns
$t_{\text{QVWH}}$	Data Valid to $\overline{\text{WR}}$ High	433		$7t_{\text{CLCL}}-120$		ns
$t_{\text{WHQX}}$	Data Hold After $\overline{\text{WR}}$	33		$t_{\text{CLCL}}-20$		ns
$t_{\text{RLAZ}}$	$\overline{\text{RD}}$ Low to Address Float		0		0	ns
$t_{\text{WHLH}}$	$\overline{\text{RD}}$ or $\overline{\text{WR}}$ High to ALE High	43	123	$t_{\text{CLCL}}-20$	$t_{\text{CLCL}}+25$	ns



External Data Memory Write Cycle



External Clock Drive Waveforms



External Clock Drive

Symbol	Parameter	Min	Max	Units
$1/t_{CLCL}$	Oscillator Frequency	0	24	MHz
$t_{CLCL}$	Clock Period	41.6		ns
$t_{CHCX}$	High Time	15		ns
$t_{CLCX}$	Low Time	15		ns
$t_{CLCH}$	Rise Time		20	ns
$t_{CHCL}$	Fall Time		20	ns



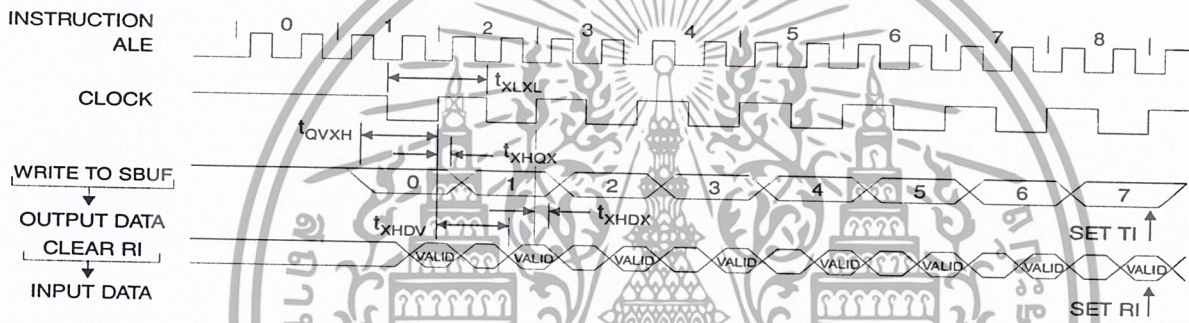


## Serial Port Timing: Shift Register Mode Test Conditions

( $V_{CC} = 5.0\text{ V} \pm 20\%$ ; Load Capacitance = 80 pF)

Symbol	Parameter	12 MHz Osc		Variable Oscillator		Units
		Min	Max	Min	Max	
$t_{XLXL}$	Serial Port Clock Cycle Time	1.0		$12t_{CLCL}$		$\mu\text{s}$
$t_{QVXH}$	Output Data Setup to Clock Rising Edge	700		$10t_{CLCL}-133$		ns
$t_{XHQX}$	Output Data Hold After Clock Rising Edge	50		$2t_{CLCL}-117$		ns
$t_{XHDX}$	Input Data Hold After Clock Rising Edge	0		0		ns
$t_{XHDV}$	Clock Rising Edge to Input Data Valid		700		$10t_{CLCL}-133$	ns

## Shift Register Mode Timing Waveforms



## AC Testing Input/Output Waveforms (1)

## Float Waveforms (1)



Note: 1. AC Inputs during testing are driven at  $V_{CC} - 0.5\text{V}$  for a logic 1 and  $0.45\text{V}$  for a logic 0. Timing measurements are made at  $V_{IH}$  min. for a logic 1 and  $V_{IL}$  max. for a logic 0.

Note: 1. For timing purposes, a port pin is no longer floating when a 100 mV change from load voltage occurs. A port pin begins to float when 100 mV change from the loaded  $V_{OH}/V_{OL}$  level occurs.

## AT89C51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# MAXIM

## +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

MAX220-MAX249

### General Description

The MAX220-MAX249 family of line drivers/receivers is intended for all EIA/TIA-232E and V.28/V.24 communications interfaces, particularly applications where  $\pm 12V$  is not available.

These parts are especially useful in battery-powered systems, since their low-power shutdown mode reduces power dissipation to less than  $5\mu W$ . The MAX225, MAX233, MAX235, and MAX245/MAX246/MAX247 use no external components and are recommended for applications where printed circuit board space is critical.

### Applications

Portable Computers  
Low-Power Modems  
Interface Translation  
Battery-Powered RS-232 Systems  
Multidrop RS-232 Networks

### Features

#### Superior to Bipolar

- ◆ Operate from Single +5V Power Supply (+5V and +12V—MAX231/MAX239)
- ◆ Low-Power Receive Mode in Shutdown (MAX223/MAX242)
- ◆ Meet All EIA/TIA-232E and V.28 Specifications
- ◆ Multiple Drivers and Receivers
- ◆ 3-State Driver and Receiver Outputs
- ◆ Open-Line Detection (MAX243)

### Ordering Information

PART	TEMP. RANGE	PIN-PACKAGE
MAX220CPE	0°C to +70°C	16 Plastic DIP
MAX220CSE	0°C to +70°C	16 Narrow SO
MAX220CWE	0°C to +70°C	16 Wide SO
MAX220C/D	0°C to +70°C	Dice*
MAX220EPE	-40°C to +85°C	16 Plastic DIP
MAX220ESE	-40°C to +85°C	16 Narrow SO
MAX220EWE	-40°C to +85°C	16 Wide SO
MAX220EJE	-40°C to +85°C	16 CERDIP
MAX220MJE	-55°C to +125°C	16 CERDIP

Ordering information continued at end of data sheet.

\*Contact factory for dice specifications.

### Selection Table

Part Number	Power Supply (V)	No. of RS-232 Drivers/Rx	No. of Ext. Caps	Nominal Cap. Value ( $\mu F$ )	SHDN & Three-State	Rx Active in SHDN	Data Rate (kbps)	Features
MAX220	+5	2/2	4	0.1	No	—	120	Ultra-low-power, industry-standard pinout
MAX222	+5	2/2	4	0.1	Yes	—	200	Low-power shutdown
MAX223 (MAX213)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes	✓	120	MAX241 and receivers active in shutdown
MAX225	+5	5/5	0	—	Yes	✓	120	Available in SO
MAX230 (MAX200)	+5	5/0	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	5 drivers with shutdown
MAX231 (MAX201)	+5 and +7.5 to +13.2	2/2	2	1.0 (0.1)	No	—	120	Standard +5/+12V or battery supplies; same functions as MAX232
MAX232 (MAX202)	+5	2/2	4	1.0 (0.1)	No	—	120 (64)	Industry standard
MAX232A	+5	2/2	4	0.1	No	—	200	Higher slew rate, small caps
MAX233 (MAX203)	+5	2/2	0	—	No	—	120	No external caps
MAX233A	+5	2/2	0	—	No	—	200	No external caps, high slew rate
MAX234 (MAX204)	+5	4/0	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Replaces 1488
MAX235 (MAX205)	+5	5/5	0	—	Yes	—	120	No external caps
MAX236 (MAX206)	+5	4/3	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	Shutdown, three state
MAX237 (MAX207)	+5	5/3	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Complements IBM PC serial port
MAX238 (MAX208)	+5	4/4	4	1.0 (0.1)	No	—	120	Replaces 1488 and 1489
MAX239 (MAX209)	+5 and +7.5 to +13.2	3/5	2	1.0 (0.1)	No	—	120	Standard +5/+12V or battery supplies; single-package solution for IBM PC serial port
MAX240	+5	5/5	4	1.0	Yes	—	120	DIP or flatpack package
MAX241 (MAX211)	+5	4/5	4	1.0 (0.1)	Yes	—	120	Complete IBM PC serial port
MAX242	+5	2/2	4	0.1	Yes	✓	200	Separate shutdown and enable
MAX243	+5	2/2	4	0.1	No	—	200	Open-line detection simplifies cabling
MAX244	+5	8/10	4	1.0	No	—	120	High slew rate
MAX245	+5	8/10	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, two shutdown modes
MAX246	+5	8/10	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, three shutdown modes
MAX247	+5	8/9	0	—	Yes	✓	120	High slew rate, int. caps, nine operating modes
MAX248	+5	8/8	4	1.0	Yes	✓	120	High slew rate, selective half-chip enables
MAX249	+5	6/10	4	1.0	Yes	✓	120	Available in quad flatpack package

MAXIM

Maxim Integrated Products 1

For pricing, delivery, and ordering information, please contact Maxim/Dallas Direct! at 1-888-629-4642, or visit Maxim's website at [www.maxim-ic.com](http://www.maxim-ic.com).

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# +5V-Powered, Multichannel RS-232 Drivers/Receivers

**MAX220-MAX249**

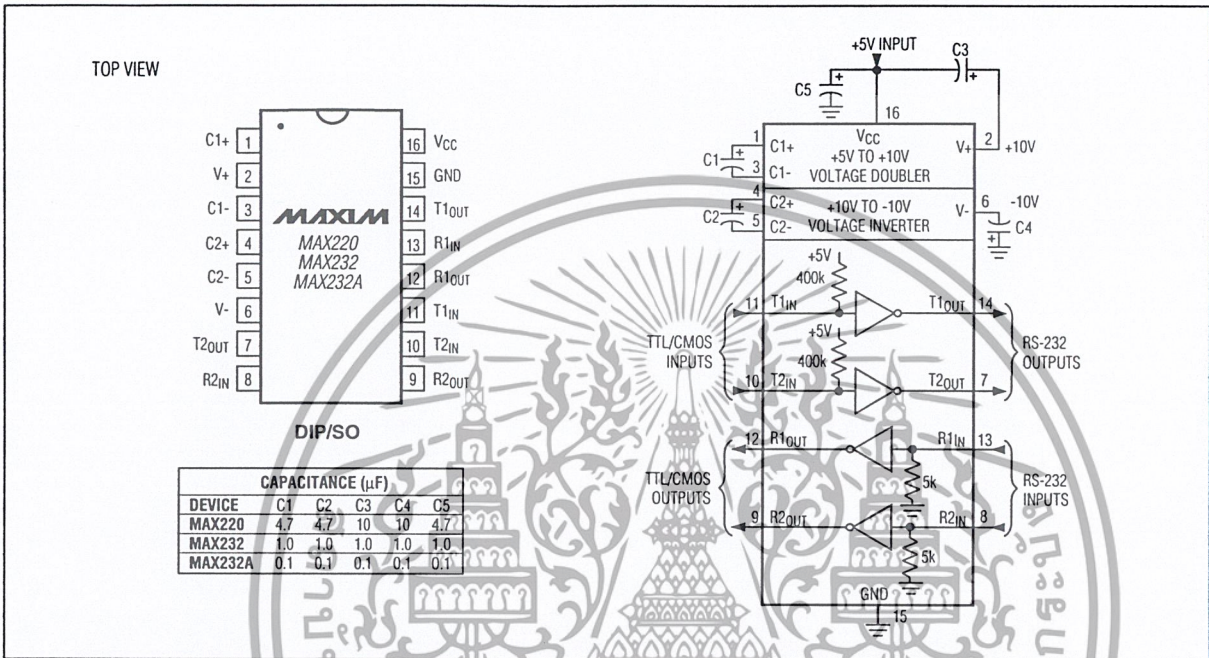


Figure 5. MAX220/MAX232/MAX232A Pin Configuration and Typical Operating Circuit

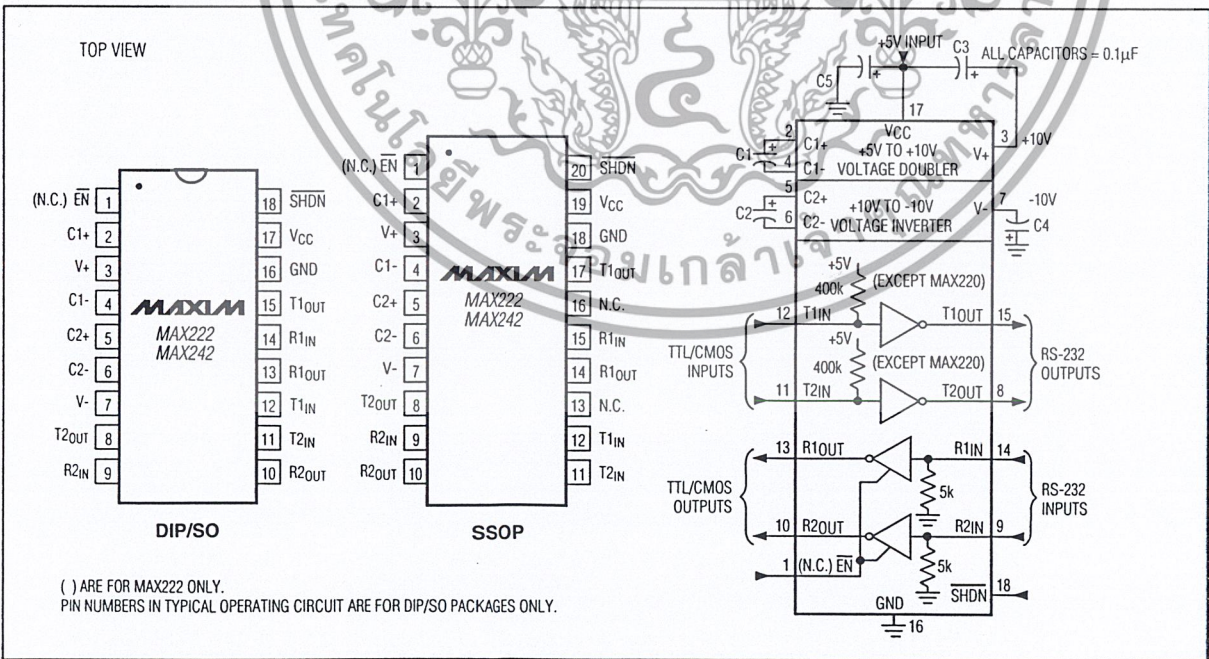


Figure 6. MAX222/MAX242 Pin Configurations and Typical Operating Circuit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้