

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การควบคุมตำแหน่งของก้านสูบ โดยใช้หลักการเหนี่ยวนำ

POSITION CONTROL OF CYLINDER USING INDUCTIVE SENSOR



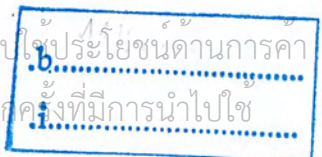
ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปประโยชน์ด้านการค้า  
โดยทะเบียน 55070  
วันที่ เดือน ปี 7 เม.ย. 2548



POSITION CONTROL OF CYLINDER USING INDUCTIVE SENSOR



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

2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท การควบคุมตำแหน่งของก้านสูบโดยใช้หลักการเหนี่ยวนำ  
POSITION CONTROL OF CYLINDER USING INDUCTIVE  
SENSOR

นักศึกษาผู้จัดทำ นายกัตัญญ ศรีเรือง รหัสประจำตัว 44015505

นายกฤษฏา งามช่วงศ์ รหัสประจำตัว 44015506

นายอนุชา หนูล้อม รหัสประจำตัว 44015545

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขา วิศวกรรมการวัดคุม

ปีการศึกษา 2546

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท	ลายมือชื่อ
ผศ. จิสรุต ศรีรัตนะ	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ

วันพุธที่ 24 มีนาคม พ.ศ. 2547

สถานที่สอบ

ณ ห้องสอบปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชารับรองแล้ว



(รศ.ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เอกสารที่เผยแพร่โดยอิสระด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาโท  
การควบคุมตำแหน่งของก้านสูบโดยใช้หลักการเหนี่ยวนำ  
POSITION CONTROL OF CYLINDER USING INDUCTIVE  
SENSOR

นักศึกษาผู้จัดทำ	นายกัตัญญ	ศรีเรือง
	นายกฤษฎา	ช่วยชูวงศ์
	นายอนุชา	หนูล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.วิศรุต	ศรีรัตน์
ปีการศึกษา	2546	

### บทคัดย่อ

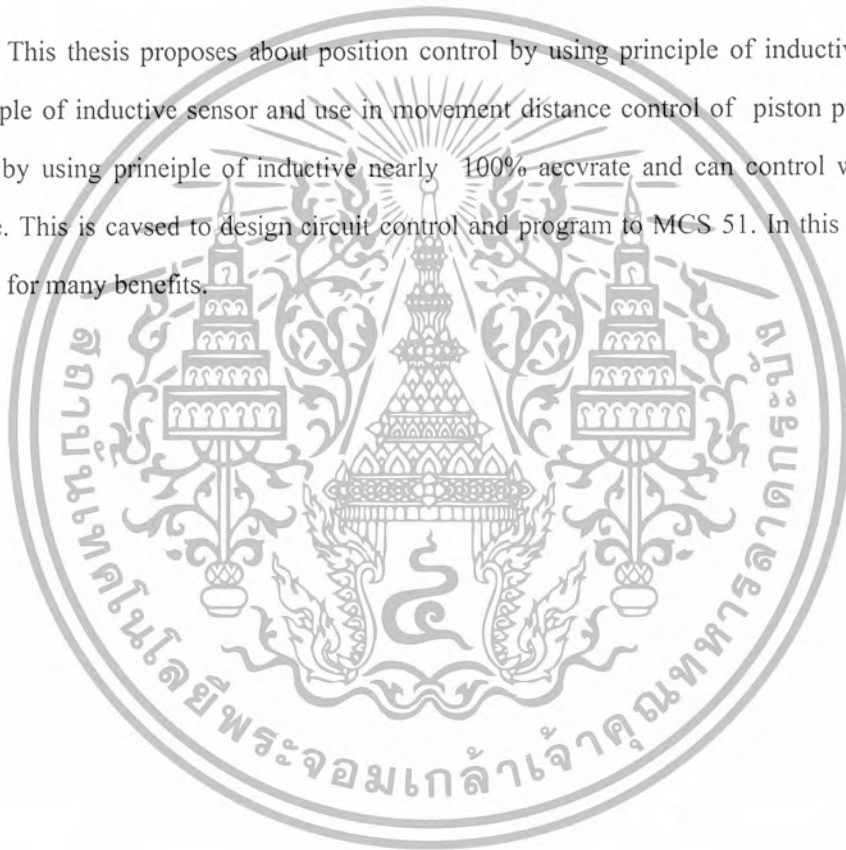
ปริญญาโทฉบับนี้ได้เสนอเกี่ยวกับการควบคุมตำแหน่งโดยใช้หลักการของอินดักทีฟ เซนเซอร์ โดยทำการศึกษาหลักการของอินดักทีฟเซนเซอร์ และใช้หลักการควบคุมระยะทางการเคลื่อนที่ของก้านสูบเป็นกรณีศึกษา ซึ่งการควบคุมระยะ โดยใช้หลักการของอินดักทีฟนี้ค่อนข้างที่จะให้ค่าที่แน่นอน และสามารถควบคุมกำหนดระยะได้ดีในระยะใกล้ๆ จึงได้ทำการออกแบบวงจรควบคุมพร้อมทั้งเขียนโปรแกรมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สั่งการได้ตามต้องการซึ่งในส่วนของโครงการนี้จะสามารถที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานและพัฒนาให้เกิดประโยชน์มากมาย ตามลักษณะของงานนั้น จึงหวังว่าคงมีประโยชน์สำหรับผู้ที่ต้องการศึกษาและพัฒนาต่อไป



<b>Thesis Title</b>	Position Control of Cylinder Using Inductive Sensor
<b>Authors</b>	Mr. Katanyu Srirueng Mr. Krissada Chuaychoowong Mr. Anucha Nulom
<b>Thesis Advisor</b>	Asst.Prof. Witsarut Sriratana
<b>Year</b>	2003

### ABSTRACT

This thesis proposes about position control by using principle of inductive by learning a principle of inductive sensor and use in movement distance control of piston pump. Distance control by using principle of inductive nearly 100% accurate and can control well in a short distance. This is caused to design circuit control and program to MCS 51. In this can apply and develop for many benefits.



## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์นี้พนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเพราะได้รับความเมตตาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิศรุต ศรีรัตนะ ที่ได้ให้คำแนะนำแก่ผู้วิจัยตลอดมา อีกทั้งยังเอื้อเพื่ออุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ ในการทำปริญญาานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณ เป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการวัดคุมทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำอันเป็น ประโยชน์ต่อการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

และที่ลืมเสียมิได้คือ ขอกราบขอบพระคุณคุณแม่ อันเป็นที่รักยิ่ง ที่สนับสนุนและเป็น แรงบันดาลใจในการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณ ทุกท่าน



คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	1
1.4 ขั้นตอนการศึกษา.....	2
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....</b>	<b>3</b>
2.1 กล่าวนำ.....	3
2.2 อินдукทีฟเซนเซอร์(INDUCTIVE SENSOR).....	3
2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51.....	4
2.3.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51.....	4
2.3.2 การัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51.....	6
2.3.3 การแบ่งประเภทของหน่วยความจำ.....	10
2.3.4 กระบวนการอินเตอร์รัพต์.....	12
2.4 ระบบนิวแมติก.....	15
2.4.1 กระบอกลูกสูบ.....	18
2.4.2 โซลินอยด์วาล์ว 3/2 D.C.V. ปกติปิด.....	20
2.4.3 วาล์วควบคุมอัตราการไหลปรับโดยมือหมุน หรือวาล์วบังคับความเร็ว.....	20
2.4.4 รีเลย์ (Relay).....	21
2.4.4.1 พื้นฐานกลไกของรีเลย์.....	22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.4.2 วงจรพื้นฐานของรีเลย์.....	23
2.5 การแปลงระหว่างสัญญาณอนาล็อกและดิจิทัล.....	25
2.5.1 การเปลี่ยนแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล.....	25
2.5.2 การแปลง (Conversion Techniques) .....	26
2.5.2.1 ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบความลาดเอียงเดี่ยว (Single slope A/D Converter).....	26
2.5.2.2 ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบความลาดเอียงคู่ (Dual – slope A/D converter) .....	27
2.5.2.3 ตัวแปลงแบบประมาณค่าที่ต่อเนื่องกัน (Successive – Approximation Converters).....	30
2.5.2.4 ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบเปรียบเทียบหรือ แฟลช (Flash or Compare A/D Converters).....	34
2.5.2.5 ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบการนับ (Counting A/D Converter).....	35
2.5.3 การเปรียบเทียบความเร็วในการแปลงของตัวแปลงสัญญาณอนาล็อก เป็นดิจิทัล(Comparison of A/D Converter Speed).....	38
บทที่ 3 หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ.....	40
3.1 กล่าวนำ.....	40
3.2 การออกแบบวงจร.....	40
3.2.1 หลักการทำงานของวงจร.....	40
3.2.2 โปรแกรมการทำงานทั้งหมด.....	41
3.2.2 วงจรไฟเลี้ยง.....	44
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	45
4.1 กล่าวนำ.....	45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 บทสรุปปัญหาและแนวทางการแก้ไข.....	51
5.1 บทสรุป.....	51
5.2 ปัญหาในการทดลองและแนวทางการแก้ไข.....	51
บรรณานุกรม.....	53
ภาคผนวก.....	54



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ลำดับความสำคัญของการอินเตอร์รัพต์.....	13
2.2 Vector Address ของการตอบสนองอินเตอร์รัพต์.....	15
2.3 แสดงการเปรียบเทียบระบบนิวแมติกกับระบบการทำงานอื่นๆ.....	17
2.4 การจัดหน้าสัมผัสและลำดับการทำงานของรีเลย์.....	23
4.1 แสดงผลการทดลองการวัดระยะของการเคลื่อนที่เข้าและออกของก้านสูบ.....	48
4.2 แสดงผลการทดลองที่ 2 บาร์ โดยทำการปรับโฟลคอนโทรลใหม่.....	49
4.3 แสดงผลการทดลองที่ 3 บาร์ โดยทำการปรับโฟลคอนโทรลใหม่.....	49
4.4 แสดงผลการทดลองที่ 0.5 บาร์ โดยทำการปรับโฟลคอนโทรลใหม่ครั้งที่ 1.....	49
4.5 แสดงผลการทดลองที่ 0.5 บาร์ โดยทำการปรับโฟลคอนโทรลใหม่ครั้งที่ 2.....	50



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 การประยุกต์ใช้งานของ Inductive sensor ในงานประเภทต่างๆ.....	4
รูปที่ 2.2 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบเฟลช อนุกรม AT89C5x....	5
รูปที่ 2.3 การจัดขามาตรฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 อนุกรม AT89C5x.....	6
รูปที่ 2.4 การสร้างสัญญาณแอดเดรสและสัญญาณข้อมูล.....	7
รูปที่ 2.5 การต่อวงจรแลตซ์ตำแหน่ง A0-A7.....	8
รูปที่ 2.6 การต่อสัญญาณรีเซต.....	9
รูปที่ 2.7 การต่อสัญญาณนาฬิกาที่ขา XTAL1 และ XTAL2.....	10
รูปที่ 2.8 การใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอก.....	10
รูปที่ 2.9 การเลือกให้หน่วยความจำ โปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51.....	11
รูปที่ 2.10 การจัดพื้นที่หน่วยความจำข้อมูลของ MCS-51.....	11
รูปที่ 2.11 ลักษณะโครงสร้างของกระบอกสูบลม.....	18
รูปที่ 2.12 ลักษณะของกระบอกสูบแบบสองทิศทาง.....	19
รูปที่ 2.13 วาล์วแบบเปิดปิดแบบกลแบบ 3/2 B.C.V. ปกติปิด ใช้การเซตด้วย แม่เหล็กไฟฟ้าและรีเซตด้วยสปริง.....	20
รูปที่ 2.14 ลักษณะของวาล์วควบคุมอัตราการไหลปรับโดยมือหมุน.....	21
รูปที่ 2.15 สัญลักษณ์ของรีเลย์.....	22
รูปที่ 2.16 การควบคุมแบบพื้นฐานให้รีเลย์ทำงาน.....	24
รูปที่ 2.17 รีเลย์ที่มีการค้างสภาวะทำงาน.....	24
รูปที่ 2.18 ระบบเปลี่ยนปริมาณทางธรรมชาติเป็นปริมาณดิจิทัล.....	25
รูปที่ 2.19 Ramp/Analog Voltage Comparison on a 6 – Bit A/D Converter.....	26
รูปที่ 2.20 Single – slope A/D converter.....	27
รูปที่ 2.21 Ramp 1 – Dual – slope A/D Converter.....	28
รูปที่ 2.22 Ramp 2 – Dual – slope A/D converter.....	28
รูปที่ 2.23 Ramp i and 2 Dual – slope A/D converter.....	29
รูปที่ 2.24 Dual – slope A/D converter functional diagram.....	29
รูปที่ 2.25 Successive – Approximation A/D Converter Block Diagram.....	30
รูปที่ 2.26 Basic Sample – Hold Switch.....	31
รูปที่ 2.27 4 V 4 – Bit Successive Approximation A/D Converter Output.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.28 Flash A/D Converter Block diagram.....	35
รูปที่ 2.29 A Counting A/D Converter.....	37
รูปที่ 2.30 บล็อกไดอะแกรมการประมาณค่าออกเป็นดิจิทัล.....	39
รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงการทำงานของวงจรถ่าย.....	40
รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรม.....	41
รูปที่ 3.3 แสดงวงจรรวมทั้งหมดของโครงการ.....	43
รูปที่ 3.3 วงจรไฟเลี้ยง.....	44
รูปที่ 4.1 แสดงแผนผังการต่อวงจร.....	47



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปริญญานิพนธ์

ปัจจุบันในการควบคุมตำแหน่งของก้านสูบในงานอุตสาหกรรมไม่ว่าจะเป็นงานพวกอัดหรืองานปั๊มขึ้นงานขึ้นรูปต่างๆอาจจะมีวิธีในการควบคุมที่ทันสมัยกว่านี้แต่โครงการนี้ เป็นการนำความรู้ที่ได้ศึกษา เกี่ยวกับหลักการทำงานของเซนเซอร์ประเภทต่างๆ มาประยุกต์ใช้งานกับอุปกรณ์ที่มีอยู่แล้วให้เกิดประโยชน์ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของก้านสูบ โดยแทนที่จะเป็นการเคลื่อนที่ของก้านสูบเป็นแค่ 0 กับ 1 คือออกสุดหรือเข้าสุด แต่นี้จะสามารถควบคุมให้หยุดที่ตำแหน่งที่ต้องการได้ โดยใช้หลักการของอินดักทีฟเซนเซอร์ ซึ่งเหมาะสำหรับการตรวจจับระยะใกล้ๆ ลักษณะสัญญาณที่ออกมาเป็น อนาล็อก เป็นเชิงเส้น

### 1.2 วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อเป็นการศึกษาหลักการทำงานของอุปกรณ์ อินดักทีฟเซนเซอร์
- 2) เพื่อศึกษาการทำงานของโซลินอยด์ว่าลิ้นในระบบนิวแมติกส์ร่วมกับลูกสูบได้
- 3) สามารถใช้หลักการอินดักทีฟเซนเซอร์ควบคุม โดยใช้กระบอกสูบเป็นกรณีศึกษาได้
- 4) เพื่อออกแบบวงจรควบคุมเชิงอินดักทีฟเซนเซอร์ร่วมกับกระบอกสูบเป็นกรณีศึกษาได้
- 5) สามารถควบคุมตำแหน่ง การเคลื่อนที่ของก้านสูบได้
- 6) สามารถที่จะแสดงตำแหน่ง ของก้านสูบในรูปของตัวเลขได้
- 7) เพื่อประยุกต์ใช้งานกับงานจริงในงานอุตสาหกรรมได้

### 1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ปริญญานิพนธ์เล่มนี้จะกล่าวถึงการออกแบบการควบคุมตำแหน่งของก้านสูบโดยใช้หลักการอินดักทีฟเซนเซอร์ เป็นกรณีศึกษาและเพื่อนำ ไปประยุกต์ใช้กับการงานจริง โดยการศึกษาการทำงานของโซลินอยด์ว่าลิ้นให้ทำงานสัมพันธ์กับลูกสูบในระบบนิวแมติก และศึกษาหลักการทำงานของอินดักทีฟเซนเซอร์คือ ระยะทางจะมีผลต่อความแตกต่าง ของความเข้มสนามแม่เหล็กที่ส่งออกไปจากตัวอินดักทีฟกับความเข้มสนามแม่เหล็กที่รับกลับมา โดยนำสัญญาณเอาท์พุทจากตัวอินดักทีฟ ซึ่งเป็นอนาล็อก แล้วแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ มาเปรียบเทียบกับค่าที่ป้อนเข้าไปว่าจะต้องการควบคุมที่ระยะทางเท่าไร เมื่อได้ระยะทางที่ต้องการตัวประมวล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเช็ค(โดยทำการเขียน โปรแกรมรองรับเอาไว้)แล้วก็จะส่งให้ก้านสูบหยุด ณ ตำแหน่งที่กำหนดไว้ เป็นเช่นนี้เรื่อยไปเมื่อต้องการควบคุมระยะทาง เท่าไรก็ตาม

#### 1.4 ขั้นตอนการศึกษา

การทำโครงการในปริญญาโทฉบับนี้มีขั้นตอนการศึกษาเริ่มจากการศึกษาหลักการของอินดักทีฟเซนเซอร์ และการทำงานของลักษณะโซลินอยด์ว่าลู่ร่วมกับการเคลื่อนที่ของก้านสูบในลูกสูบประเภทต่างๆ และทำการศึกษาในส่วนของโปรแกรมซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่จะเป็นตัวเชื่อมต่อให้อุปกรณ์ทั้งหมดทำงานสัมพันธ์กันตามลำดับที่ต้องการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและหลักการ

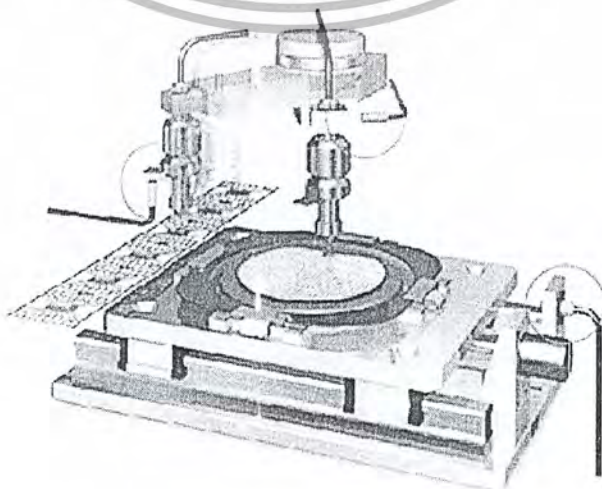
### 2.1 กล่าวนำ

ทฤษฎีและหลักการต่างๆ ที่จะกล่าวถึงต่อไปจากนี้ เป็นหนึ่งในส่วนประกอบของการสร้างชุดควบคุมตำแหน่งของก้านสูบ โดยใช้ หลักการเหนี่ยวนำ ซึ่งเป็นการใช้ทรัพยากร หรือ ตัวอุปกรณ์ของทางภาควิชาที่มีอยู่แล้วมาทำการออกแบบ แต่โครงการชุดนี้ในส่วนของตัวลูกสูบไม่สามารถที่จะนำไปผลิตค้น หรือออกชิ้นงาน เพราะเป็นลูกสูบที่มีขนาดเล็ก ซึ่งในการสร้างและออกแบบขึ้นมาเป็นกรณีศึกษาเท่านั้นแต่หลักการและชุดควบคุม ไม่ว่าจะ เป็นทั้งด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์สามารถนำไปประยุกต์งานได้จริง

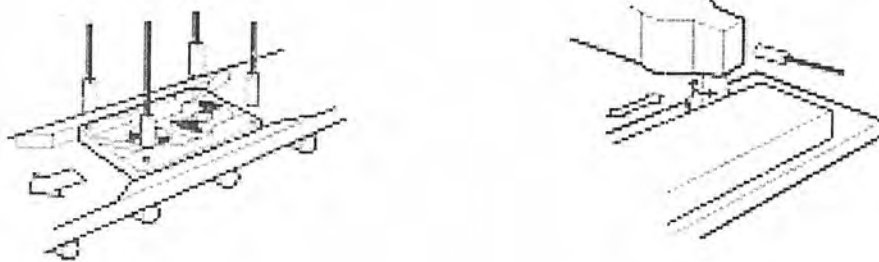
### 2.2 อินдукทีฟเซนเซอร์ (INDUCTIVE SENSOR)

หลักการเมื่อจ่ายไฟให้กับตัวเซนเซอร์จะส่งคลื่นที่มีความเข้มของสนามแม่เหล็กออกมาจากหัววัดซึ่งด้านหน้าวัสดุหรือแผ่นเพลท มาดักคลื่นไวสนามแม่เหล็กก็จะสะท้อนกลับมายังหัววัด มันจะทำการเปรียบเทียบระหว่างสนามแม่เหล็กที่ส่งออกไป กับสนามแม่เหล็กที่รับกลับมาซึ่งระยะทางและแผ่นเพลทที่ใช้กันจะมีผลต่อสนามแม่เหล็กที่ได้รับกลับมา และส่วนน้อยที่สูญหายไปซึ่งเกิดจากการหักล้างระหว่างสนามแม่เหล็กที่ส่งออกไปใหม่กับสนามแม่เหล็กที่สะท้อนกลับมายังหัววัด การใช้หลักการเหนี่ยวนำของอุปกรณ์ตรวจจับนี้จะมีค่าความแม่นยำพอสมควรเมื่อเทียบกับเซนเซอร์ แบบอัลตราโซนิก

#### APPLICATIONS



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 การประยุกต์ใช้งานของอินค์ทีฟเซนเซอร์ ในงานประเภทต่างๆ

### 2.3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ที่จะใช้ในโครงการนี้จะเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ซึ่งมีหน่วยความจำภายในเป็นแบบแฟลช (Flash Memory) มีเบอร์ขึ้นต้นด้วย AT89 เหตุผลที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์แบบนี้ในการเรียนรู้เพื่อการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีด้วยกันหลายประการดังนี้

- 1) หน่วยความจำโปรแกรมภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นแบบแฟลช ทำให้สามารถลบและเขียนใหม่ได้นับพันครั้ง จึงสามารถใช้งานในรูปแบบของไมโครคอนโทรลเลอร์ชิปเดี่ยวไม่ต้องใช้หน่วยความจำภายนอก ถึงผลให้สามารถใช้งานพอร์ตอินพุตเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ
- 2) ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือพัฒนาจำพวกอิมูเลเตอร์และเครื่องโปรแกรมอีพรอม
- 3) ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้มีออกมาหลายเบอร์ และมีความสามารถแตกต่างกันออกไป ทำให้มีทางเลือกในการใช้งานที่ดีกว่า
- 4) มีการใช้หน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้สามารถป้องกันการคัดลอกข้อมูลของหน่วยความจำโปรแกรมได้เป็นอย่างดี

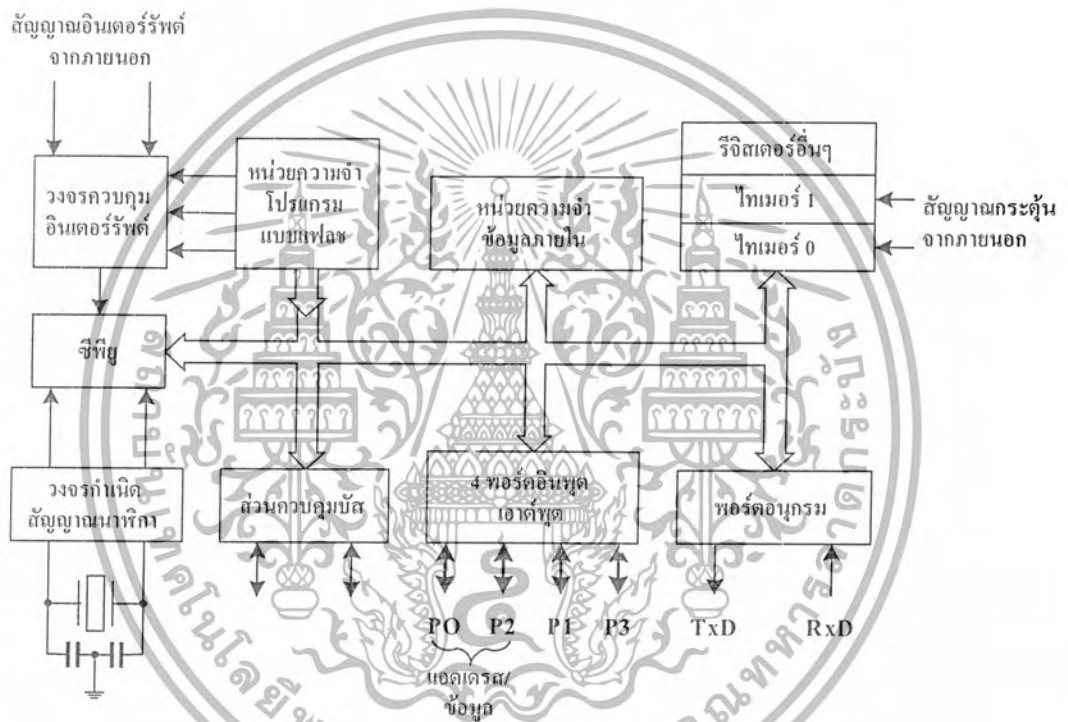
#### 2.3.1 คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

- 1) เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูขนาด 8 บิต
- 2) ภายในมีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแฟลชสามารถลบและเขียนใหม่ได้พันครั้ง
- 3) หน่วยความจำข้อมูลพื้นฐานเป็นหน่วยความจำแบบแรม ในบางเบอร์จะมีหน่วยความจำแบบอีพรอมเพิ่มเติม
- 4) ขาพอร์ตเป็นแบบสองทิศทาง สามารถใช้งานเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต

5) มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดuple็กซ์ (รับและส่งข้อมูลในเวลาเดียวกัน)

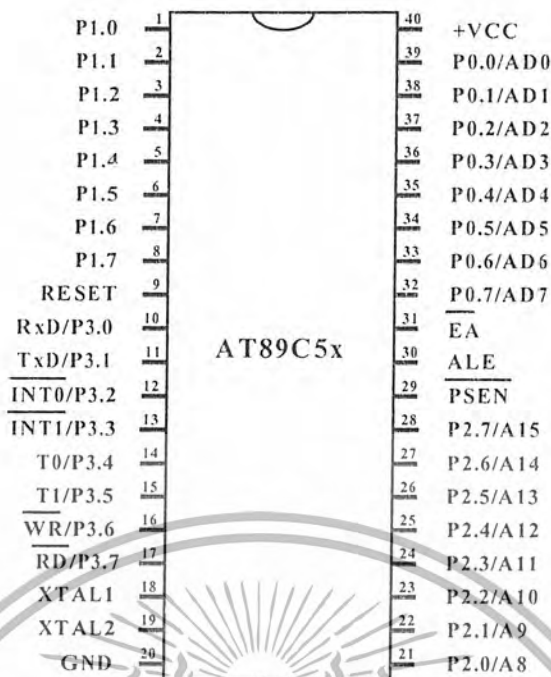
- 6) ไทเมอร์/เคาน์เตอร์ขนาด 16 บิตอย่างน้อย 2 ตัว
- 7) สามารถรองรับแหล่งกำเนิดอินเทอร์รัพต์ได้ 6 ประเภท
- 8) สามารถขยายหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์
- 9) มีวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาอยู่ในชิป

ในรูปที่ 2.2 เป็นโครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 อนุกรม AT89C5x จะเห็นได้ว่าโครงสร้างของ AT89C5x จะเหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 พื้นฐานทั่วไป หากแต่จะแตกต่างกันเฉพาะหน่วยความจำโปรแกรมแบบแฟลชที่เพิ่มเติมขึ้นมา



รูปที่ 2.2 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช อนุกรม AT89C5x

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การจัดขามาตรฐานของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 อนุกรม AT89C5x

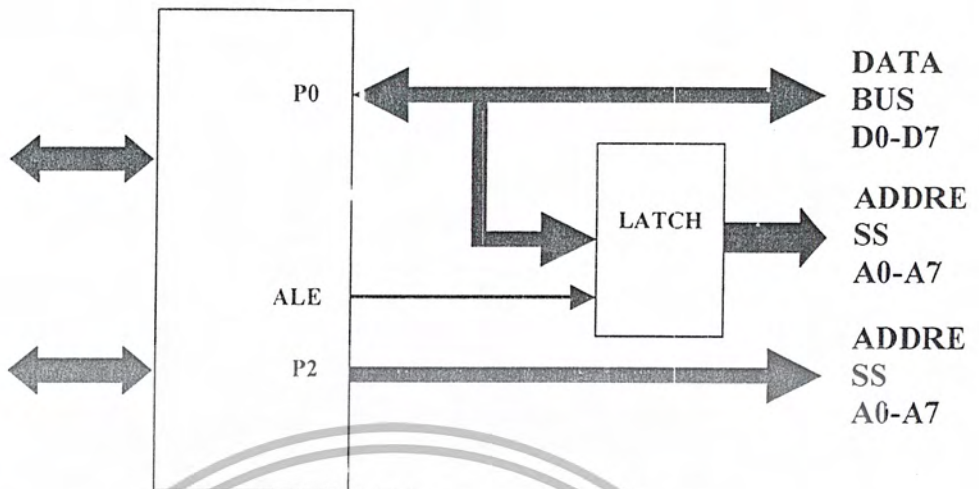
### 2.3.2 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทุกเบอร์จะมีขาใช้งานพื้นฐานเหมือนกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.3 โดยมีรายละเอียดขั้นต้นดังนี้

- 1) ขา VCC ใช้สำหรับต่อไฟเลี้ยง +5V
- 2) ขา GND เป็นขากราวด์ สำหรับต่อกับกราวด์ของระบบ
- 3) ขาพอร์ต 0 (P0.0-P0.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็น ได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต

สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้ โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อกับขั้ว ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (Float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนี้ขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A0-A7) และขาของข้อมูล (D0-D7) โดยใช้กระบวนการมัลติเพล็กซ์เข้าช่วย เพื่อสลับกับการทำงานเป็นได้ทั้งขาติดต่อแอดเดรสและขาข้อมูล

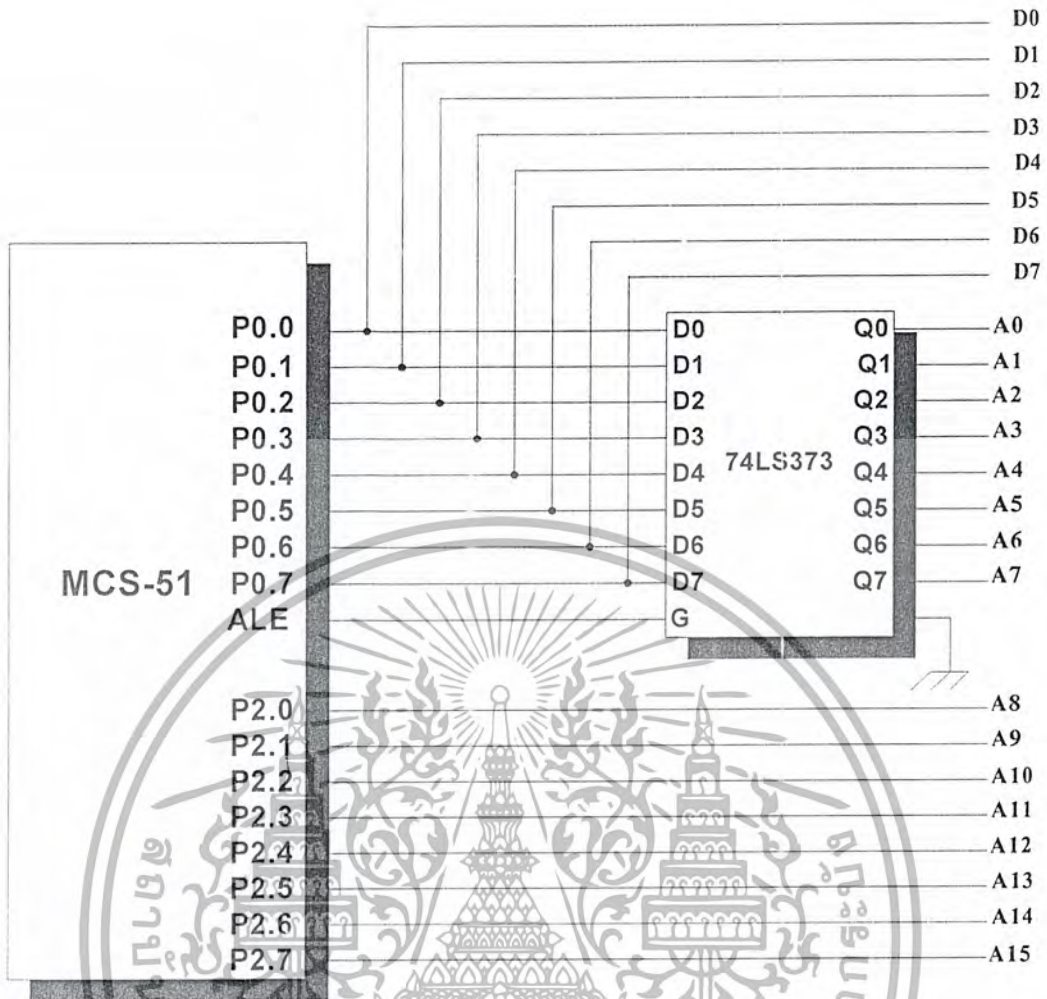
การสร้างสัญญาณตำแหน่ง A0-A7 และสัญญาณข้อมูล D0-D7 ทำโดยใช้แลตซ์ข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การสร้างสัญญาณแอดเดรสและสัญญาณข้อมูล

อุปกรณ์ที่นำมาใช้แทนตำแหน่ง A0-A7 ที่ออกมาจากพอร์ต P0 คือ ไอซี 74LS373 ซึ่งเป็น 8 บิตแลตช์เราสามารถนำมาต่อใช้งานได้ดังแสดงในรูปที่ 2.5





รูปที่ 2.5 การต่อวงจรเลขชี้ตำแหน่ง A0-A7

4) ขาพอร์ต 1 (P1.0-P1.7) มีขา 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตใดเป็นอินพุต สามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย

5) ขาพอร์ต 2 (P2.0-P2.7) มีขา 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตใดเป็นอินพุต สามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปลั๊อยลอย (Float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ตนั้นขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูงของหน่วยความจำภายนอก (A8-A15)

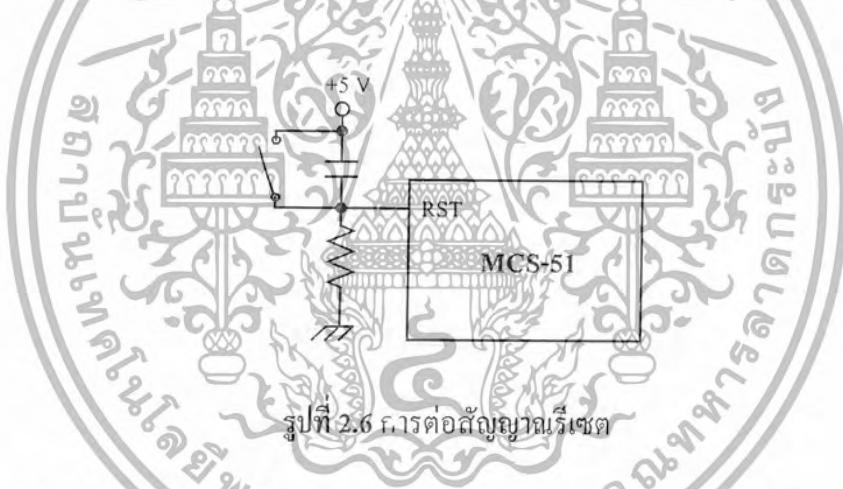
6) ขาพอร์ต 3 (P3.0-P3.7) มีขา 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตใดเป็นอินพุต สามารถทำได้โดย

การเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะ  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปล่อยลอย (Float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตได้ นอกนั้นขาพอร์ต 3 ยังเป็นขาที่มีหน้าที่การใช้งานพิเศษ ดังมีรายละเอียดดังนี้

- P3.0 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารอนุกรม หรือขา RxD
- P3.1 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับส่งข้อมูลจากการสื่อสารอนุกรม หรือขา TxD
- P3.2 ใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเทอร์รัพต์จากภายนอกช่อง 0 หรือขา INTO
- P3.3 ใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเทอร์รัพต์จากภายนอกช่อง 1 หรือขา INTO
- P3.4 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณไทมเมอร์จากภายนอกช่อง 0 หรือขา T0
- P3.5 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเทอร์รัพต์จากภายนอกช่อง 1 หรือขา T1
- P3.6 ใช้เป็นขาสัญญาณ WR ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก
- P3.7 ใช้เป็นขาสัญญาณ RD ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

7) ขารีเซต (Reset) ใช้ในการรีเซ็ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในการป้อนสัญญาณเพื่อรีเซ็ตสถานะที่ขานี้ต้องอยู่ในระดับบิตสูงอย่างน้อย 2 แมกซ์ไซเคิล โดยที่วงจรถูกกำเนิดสัญญาณนาฬิกายังคงทำงานต่อเนื่องไปอย่างปกติ การต่อขารีเซตจะเป็นดังรูปที่ 2.5



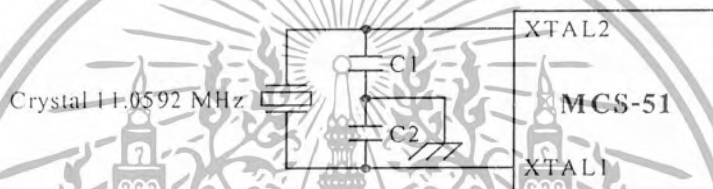
8) ขา ALE/PROG (Address Latch Enable/Program pulse input) เป็นขาที่ใช้ในการควบคุมการแลตช์ของขาพอร์ต 0 เมื่อมีการใช้งานหน่วยความจำภายนอก นอกจากนั้นขานี้ยังใช้เป็นขาสำหรับรับพัลส์ของการโปรแกรมสำหรับโปรแกรมข้อมูลลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในรุ่นนี้มีหน่วยความจำเป็นแบบอีพรอม

9) ขา PSEN (Program Store Enable) ขานี้ใช้ในการส่งสัญญาณเพื่อร้องขาคิดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณออกมาที่ขานี้ 2 ครั้งในแต่ละไมซ์นไซเคิล แต่ถ้าหากคิดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก ขานี้จะไม่มีการส่งสัญญาณใดๆ ออกมา

10) ขา EA/Vpp (External Access Enable/Programming voltage input) ใช้สำหรับเลือกหน่วยความจำโปรแกรมจากภายนอกหรือภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้าขานี้เป็น “0” จะเป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก แต่ถ้าหากขานี้เป็น “1” ก็จะเป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้ที่ขานี้ยังใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับแรงดันไฟฟ้าสูงสำหรับการโปรแกรมหน่วยความจำภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์

11) XTAL1 และ XTAL2 เป็นขาสำหรับติดต่อกับคริสตัลเพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

การต่อใช้งานของขา XTAL1 และ XTAL2 เพื่อสร้างวงจรผลิตสัญญาณให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์โดยใช้คริสตัลสามารถทำได้ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การต่อสัญญาณนาฬิกาที่ขา XTAL1 และ XTAL2

หากต้องการใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอกจะต่อ XTAL1 ต่อกับวงจรและต่อสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกเข้าที่ขา XTAL2 ดังรูปที่ 2.8



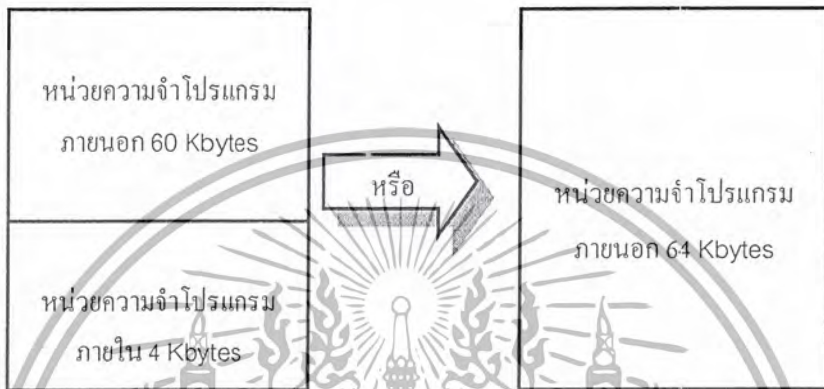
รูปที่ 2.8 การใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอก

### 2.3.3 การแบ่งประเภทของหน่วยความจำ

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 มีหน่วยความจำภายในหลักๆ อยู่ 2 ส่วนคือ หน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) หน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) เป็นโปรแกรมที่ใช้เก็บโปรแกรมสั่งงาน โดยสามารถเลือกใช้หน่วยความจำภายในอย่างเดียวหรือรวมกับภายนอก หรือเลือกใช้หน่วยความจำภายนอกอย่างเดียวก็ได้ โดยภายใน AT89C51 จะมีหน่วยความจำโปรแกรมภายใน 4 กิโลไบต์ ถ้าเลือกใช้หน่วยความจำภายในและภายนอกรวมกัน ก็จะสามารถติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกได้ 60 กิโลไบต์ หรือเลือกใช้หน่วยความจำภายนอกทั้งหมด 64 Kbytes ดังแสดงในรูปที่ 2.9

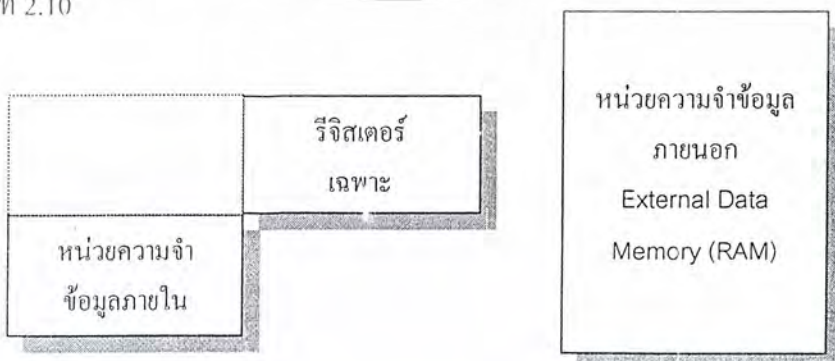


รูปที่ 2.9 การเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C51

2) หน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) เป็นหน่วยความจำที่ใช้เก็บข้อมูล หน่วยความจำนี้สามารถเขียนข้อมูลลงไป และอ่านข้อมูลออกมาได้ ซึ่งเป็นหน่วยความจำภายในชิปมีเพียง 128 ไบต์ ส่วนหน่วยความจำภายนอกชิปมี 64 กิโลไบต์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถจัดแบ่งหน่วยความจำข้อมูลออกเป็น 2 ส่วนคือ

- หน่วยความจำข้อมูลภายใน (Internal Data Memory)
- หน่วยความจำข้อมูลภายนอก (External Data Memory)

รูปแบบการจัดพื้นที่ของหน่วยความจำข้อมูลไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เบอร์ 8051 แสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การจัดพื้นที่หน่วยความจำข้อมูลของ MCS-51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.4 กระบวนการอินเทอร์รัพต์

การติดต่อกันระหว่าง ไมโครคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์ภายนอกสามารถทำได้ 2 ลักษณะคือ ใช้วิธีการโพลลิง (Polling) ซึ่งไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องคอยตรวจสอบอุปกรณ์ภายนอกอยู่ตลอดเวลาว่ามีข้อมูลที่ต้องการติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไม่ ซึ่งวิธีนี้จะทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องเสียเวลาไปกับการตรวจสอบนานมาก หากมีอุปกรณ์จำนวนมากติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ การติดต่อบนที่สองเป็นการใช้การอินเทอร์รัพต์ซึ่งเป็นวิธีการที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่ต้องคอยตรวจสอบอุปกรณ์ภายนอกอยู่ตลอดเวลา แต่จะให้อุปกรณ์ภายนอกส่งสัญญาณอินเทอร์รัพต์เข้ามาให้ไมโครคอนโทรลเลอร์เมื่ออุปกรณ์ภายนอกต้องการติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ได้รับสัญญาณอินเทอร์รัพต์แล้วจึงจะทำการรับส่งข้อมูลกับอุปกรณ์ภายนอกนั้นๆ ต่อไป

การอินเทอร์รัพต์ (Interrupt) เป็นชื่อเรียกกระบวนการที่เข้ามาขัดจังหวะการทำงานโดยปกติของไมโครคอนโทรลเลอร์ ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถตอบสนองการอินเทอร์รัพต์ที่เกิดขึ้นได้จาก 5 แหล่งกำเนิดสำหรับเบอร์ AT89C51 ประกอบด้วยการอินเทอร์รัพต์จากภายนอกผ่านทางขา INTO และ INT1 สัญญาณอินเทอร์รัพต์จากไทเมอร์/เคาน์เตอร์ T0 และ T1

#### 1) การควบคุมอินเทอร์รัพต์

สัญญาณต่างๆ ของการร้องขออินเทอร์รัพต์ทั้งหมด เราสามารถเซตหรือเคลียร์ได้ด้วยซอฟต์แวร์ เช่นเดียวกับฮาร์ดแวร์ ดังนั้นการร้องขออินเทอร์รัพต์จึงสามารถสร้างหรือยกเลิกได้ด้วยซอฟต์แวร์ แหล่งกำเนิดสัญญาณอินเทอร์รัพต์ทั้งหมด เราสามารถควบคุมให้ทำการร้องขออินเทอร์รัพต์หรือไม่ก็ได้ โดยถาดเซตหรือเคลียร์บิตต่างๆ ที่อยู่ในรีจิสเตอร์ IE (Interrupt Enable) ภายในรีจิสเตอร์ IE มีบิต EA ที่ทำหน้าที่ควบคุมให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตอบรับการร้องขออินเทอร์รัพต์หรือไม่ตอบรับทั้งหมด หากเรากำหนดให้บิต EA เป็น 0 ไมโครคอนโทรลเลอร์จะไม่ตอบรับการร้องขออินเทอร์รัพต์ทั้งหมด

IE : INTERRUPT ENABLE REGISTER (Bit addressable)

IE.7	IE.6	IE.5	IE.4	IE.3	IE.2	IE.1	IE.0
EA	-	ET2	ES	ET1	EX1	ET0	EX0

**EA IE.7 (Disable all interrupt)** หากกำหนดให้บิตนี้มีค่าเป็น 0 จะไม่มีการตอบรับอินเทอร์รัพต์ทั้งหมด หากต้องการให้มีการตอบรับอินเทอร์รัพต์ จะต้องเซตให้ EA เป็น 1 และเซตบิตควบคุมแต่ละอินเทอร์รัพต์ที่ต้องการใช้อินเทอร์รัพต์ให้เป็น 1 ด้วยโดยใช้คำสั่ง เซตหรือเคลียร์บิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- IE.6 ไม่ใช้งาน
- ET2 IE.5 ควบคุมให้ Timer2 หรือ Capture ส่งอินเทอร์รัพต์หรือไม่ ( 1= ส่งอินเทอร์รัพต์ )
- ES IE.4 ควบคุมให้พอร์ตอนุกรมส่งอินเทอร์รัพต์หรือไม่ ( 1= ส่งอินเทอร์รัพต์ )
- ET1 IE.3 ควบคุมให้ Timer1 ส่งอินเทอร์รัพต์เมื่อถึงค่าที่ตั้งไว้หรือไม่ ( 1= ส่งอินเทอร์รัพต์ )
- EX1 IE.2 ควบคุมให้ตอบรับอินเทอร์รัพต์จากภายนอก INT1 หรือไม่  
( 1= ตอบรับอินเทอร์รัพต์ )
- ET0 IE.1 ควบคุมให้ Timer0 ส่งอินเทอร์รัพต์เมื่อถึงค่าที่ตั้งไว้หรือไม่ (1= ส่งอินเทอร์รัพต์ )
- EX0 IE.0 ควบคุมให้ตอบรับอินเทอร์รัพต์จากภายนอก INTO หรือไม่  
(1= ตอบรับอินเทอร์รัพต์ )

หากต้องการใช้สัญญาณอินเทอร์รัพต์จากแหล่งกำเนิดอื่นใด จะต้องเซตให้บิตควบคุมเป็น 1 และต้องเซตให้ EA เป็น 1 ด้วย

## 2) การจัดลำดับความสำคัญของอินเทอร์รัพต์

การจัดลำดับความสำคัญของอินเทอร์รัพต์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ จัดได้ 2 ระดับแตกต่างกัน โดยการเซตค่าในรีจิสเตอร์ควบคุมการจัดลำดับความสำคัญของอินเทอร์รัพต์ (IP : Interrupt Priority register) ในกรณีที่ไม่มี การจัดลำดับความสำคัญของอินเทอร์รัพต์หรือจัดให้มีความสำคัญในระดับเดียวกัน ไมโครคอนโทรลเลอร์จะจัดให้มีลำดับความสำคัญของสัญญาณอินเทอร์รัพต์ที่อยู่ในระดับเดียวกัน (เพื่อแก้ปัญหาการขออินเทอร์รัพต์ในระดับเดียวกันที่เกิดขึ้นพร้อมกัน) ตามลำดับความสำคัญจากสูงไปต่ำดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลำดับความสำคัญของการอินเทอร์รัพต์

IE0	External Interrupt 0
TF0	Timer 0
IE1	External Interrupt 1
TF1	Timer 1
RI หรือ TI	Serial Port
TF2 หรือ EXF2	Timer 2

การกำหนดลำดับความสำคัญของอินเทอร์รัพต์กำหนดได้จากบิตต่างๆ ของรีจิสเตอร์ IP โดยบิตที่มีค่าเป็น 1 จะมีลำดับความสำคัญสูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## IP : INTERRUPT ENABLE REGISTER

IP.7	IP.6	IP.5	IP.4	IP.3	IP.2	IP.1	IP.0
-	-	PT2	PS	PT1	PX1	PT0	PX0

- IP.7 ไม่ใช้
- IP.6 ไม่ใช้
- PT2 PT.5 กำหนดความสำคัญของTimer 2
- PS IP.4 กำหนดความสำคัญของพอร์ตอนุกรม
- PT1 IP.3 กำหนดความสำคัญของTimer 1
- PX1 IP.2 กำหนดความสำคัญของสัญญาณ INT1 ( External Interrupt 1 )
- PT0 IP.1 กำหนดความสำคัญของTimer 0
- PX0 IP.0 กำหนดความสำคัญของสัญญาณ INT0 หรือไม่ ( External Interrupt 0 )

\* หากบิตใดมีค่า 1 จะมีลำดับความสำคัญสูง

เมื่อมีการกำหนดลำดับความสำคัญของการอินเทอร์รัพต์แตกต่างกันแล้ว หากมีการร้องขออินเทอร์รัพต์เกิดขึ้นพร้อมกันจากแหล่งกำเนิด 2 แหล่งกำเนิดที่มีระดับความสำคัญแตกต่างกัน ไมโครคอนโทรลเลอร์จะตอบรับการร้องขออินเทอร์รัพต์จากแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเทอร์รัพต์ที่มีระดับความสำคัญสูงกว่าสัญญาณการร้องขออินเทอร์รัพต์ที่มีระดับความสำคัญสูงกว่าสามารถอินเทอร์รัพต์ซ้อน ในขณะที่ไมโครคอนโทรลเลอร์กำลังทำโปรแกรมตอบสนองการอินเทอร์รัพต์ของสัญญาณที่มีความสำคัญต่ำกว่าได้

หมายเหตุ ในขณะที่ไมโครคอนโทรลเลอร์กำลังทำโปรแกรมตอบสนองการอินเทอร์รัพต์ จะไม่สามารถตอบรับการร้องขออินเทอร์รัพต์จากแหล่งกำเนิดระดับที่ต่ำกว่า หรือระดับเดียวกันได้อีก จนกว่าจะจบโปรแกรมตอบสนองการอินเทอร์รัพต์ก่อน

วงจรรควบคุมอินเทอร์รัพต์ของ MCS-51 ทำโดยการควบคุมการติดต่อสวิตช์ต่างๆ ซึ่งควบคุมการติดต่อสวิตช์ด้วยซอฟต์แวร์จากการเซตหรือเคลียบิตหรือรีจิสเตอร์ IE และ IP

หากต้องการให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตอบรับการร้องขออินเทอร์รัพต์ จะต้องมีการกำหนดการทำงานตามขั้นตอนต่อไปนี้

- 1) เซตบิต EA (Enable all) ในรีจิสเตอร์ IE.7 ให้เป็น 1
- 2) เซตบิตควบคุมอินเทอร์รัพต์แต่ละแหล่งกำเนิดที่ต้องการใช้งานอินเทอร์รัพต์ในรีจิสเตอร์ IE ให้มีค่าเป็น 1
- 3) กำหนดลำดับความสำคัญของการอินเทอร์รัพต์ (หากต้องการ) โดยกำหนดในรีจิสเตอร์ IP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) เขียนโปรแกรมตอบสนองการร้องขออินเทอร์รัพต์ของแต่ละแหล่งกำเนิดลงในตำแหน่งต่าง ๆ ตาม Vector Address ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 Vector Address ของการตอบสนองอินเทอร์รัพต์

Interrupt Source	Vector Address
IE0	0003H
TF0	000BH
IE1	0013H
TF1	001BH
RI & TI	0023H
TF2 & EXF2	002BH

ตารางที่ 2.2 แสดงตำแหน่งต่างๆ ของโปรแกรมตอบสนองอินเทอร์รัพต์ของแต่ละแหล่งกำเนิดซึ่งจะต้องนำคำสั่งริเริ่มของโปรแกรมตอบสนองอินเทอร์รัพต์ไปบรรจุไว้ หากมีการใช้อินเทอร์รัพต์ทั้งหมดจะพบว่าความยาวของตอบสนองอินเทอร์รัพต์ของแต่ละโปรแกรมจะมีความยาวเพียง 8 ไบต์เท่านั้น หากโปรแกรมมีความยาวมากกว่านี้ ต้องนำไปเขียนเป็นโปรแกรมย่อยไว้ภายนอก แล้วใช้วิธีเรียกโปรแกรมย่อยมาทำงาน

## 2.4 ระบบนิวแมติก

สาเหตุสำคัญที่มีการนำเอาระบบนิวแมติกมาใช้ในการงานอุตสาหกรรมเนื่องมาจาก

1. ระบบนิวแมติกที่ใช้งานทั่วไปไม่มีการระเบิดหรือลุกไหม้เป็นเปลวไฟ จึงประหยัดค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการป้องกันความปลอดภัย
2. ความเร็วของเครื่องมือที่ใช้ระบบนิวแมติกให้ความเร็วในการทำงานสูง 1 ถึง 2 เมตรต่อวินาที แต่ถ้าหากต้องการความเร็วสูงขึ้นมากกว่านี้ จะต้องใช้กระบอกสูบชนิดพิเศษ ซึ่งมีความเร็วถึง 10 เมตรต่อวินาที
3. ระบบนิวแมติกสามารถนำลมที่อัดตัวแล้วไว้ในถังและนำไปใช้งานได้เลย
4. ระบบนิวแมติกเมื่อใช้งานแล้วระบายทิ้งปล่อยสู่บรรยากาศเลยไม่ต้องเดินท่อทางกลับมาใช้อีกทำให้ประหยัดค่าใช้จ่าย
5. อุปกรณ์ใช้งานในระบบนิวแมติกมีความปลอดภัยถ้าใช้งานเกินกำลัง
6. ระบบนิวแมติกสามารถปรับความเร็วในการทำงานได้โดยใช้อุปกรณ์ควบคุมความเร็ว

และสามารถทำให้รอบในการทำงานสูงถึง 800 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. สามารถปรับความดันลมอัดให้มีค่ามากขึ้นได้ตามต้องการ โดยใช้อุปกรณ์ควบคุมความดัน

8. ความสะอาดของระบบนิวแมติกดีมาก เพราะมีชุดปรับคุณภาพลมก่อนนำไปใช้งาน

9. ระยะเวลาของก้านสูบสามารถปรับแต่ระยะชักให้สั้นหรือยาวได้ตามต้องการ

10. สามารถทำงานได้ที่ระดับความแตกต่างของอุณหภูมิสูง

จะเห็นได้ว่าระบบนิวแมติกมีข้อดีอยู่หลายประการ แต่ในขณะเดียวกัน ระบบนิวแมติกก็มีข้อเสียอยู่ดังนี้

1. ในโรงงานอุตสาหกรรมบางครั้งมีการเพิ่มอุปกรณ์นิวแมติกเข้ามาในวงจรโดยไม่คำนึงถึงความสามารถของเครื่องอัดลม ซึ่งอาจจะทำให้เครื่องจักรทำงานคลาดเคลื่อนได้ และในบางครั้งถ้ากระบอกสูบอยู่ห่างจากอุปกรณ์ควบคุมเกินกว่า 5 เมตร จะทำให้เกิดปัญหาในการทำงานของกระบอกสูบ

2. ลมที่ได้มาจากการอัดตัวในระบบนิวแมติกจะมีความชื้นปนอยู่ และเมื่อความดันลดลงจะทำให้เกิดหยดน้ำขึ้นได้

3. การทำงานของระบบนิวแมติกมักจะมีเสียงดังเพราะจะต้องมีการระบายลมที่ทิ้งปล่อยออกสู่บรรยากาศ จึงจำเป็นจะต้องมีท่อเก็บเสียง

4. ความดันของลมอัดในระบบนิวแมติกจะเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิ ถ้าอุณหภูมิสูงความดันก็จะสูง และถ้าอุณหภูมิต่ำความดันก็จะต่ำลงด้วย

5. ถ้าต้องการแรงในการใช้งานมาก เส้นผ่าศูนย์กลางของกระบอกสูบจะต้องมีเส้นผ่าศูนย์กลางโตขึ้นเพื่อที่จะให้ได้แรงตามความต้องการ ซึ่งกระบอกสูบในระบบนิวแมติกจะมีขีดจำกัดอยู่คุณสมบัติของนิวแมติกเมื่อเปรียบเทียบกับไฮดรอลิก

เนื่องจากระบบนิวแมติกและระบบไฮดรอลิกมีความสัมพันธ์ซึ่งเป็นลักษณะของพลังงานของไหลเหมือนกัน เมื่อนำเอาระบบนิวแมติกเปรียบเทียบกับระบบไฮดรอลิกจะมีข้อแตกต่างกันดังนี้

1. ความดันใช้งานของลมอัดในระบบนิวแมติกมีค่าอยู่ระหว่าง 6 ถึง 7 บาร์ แต่ถ้าต้องการความดันใช้งานสูงกว่านี้ก็ได้แต่ไม่เกิน 10 บาร์ ซึ่งน้อยกว่าความดันใช้งานของระบบไฮดรอลิกมาก จึงเหมาะกับการใช้งานเบาๆ เท่านั้น

2. ลมอัดมีการขูดตัวมากกว่าน้ำมันในระบบไฮดรอลิก ดังนั้นเมื่อมีการหยุดค้าง ตำแหน่งในระหว่างระยะชักจึงไม่ดีเท่าที่ควร

3. ความต้านทานการไหลของลมอัดในท่อทางส่งมีค่าน้อยกว่าความต้านทานการไหลของน้ำมันในระบบไฮดรอลิก จึงสามารถเคลื่อนที่ไ้เร็วกว่า

4. ระบบนิวแมติกมีความสะอาดมากกว่าระบบไฮดรอลิกมาก เพราะระบบไฮดรอลิกมีการรั่วไหลของน้ำมันเกิดขึ้นและอาจเกิดอันตรายจากการติดไฟของน้ำมันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. โดยทั่วไปในโรงงานอุตสาหกรรมมักจะทำให้ลมอัดใช้งานประเภทอื่นอยู่แล้ว ดังนั้นจึงเป็นการสะดวกที่จะนำเอาระบบนิวแมติกมาใช้ ซึ่งค่าใช้จ่ายในการเดินท่อทางส่งลมอัดมีราคาถูกกว่า ถ้าต้องการจะนำเอาระบบไฮดรอลิกมาใช้ในโรงงาน จะต้องหาปั้มไฮดรอลิกมาใช้งาน และค่าใช้จ่ายในการเดินท่อทางส่งน้ำมันไฮดรอลิกมีราคาสูงมาก

6. ระบบนิวแมติกสามารถใช้งานขณะที่อุณหภูมิของลมอัดสูงได้ถึง 160 C โดยขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งานและอุปกรณ์ทำงาน ส่วนในระบบไฮดรอลิก น้ำมันที่ใช้ในการส่งถ่ายกำลังจุมิอุณหภูมิสูงไม่เกิน 70 C

**การเปรียบเทียบระบบนิวแมติกกับระบบการทำงานอื่นๆ**

เนื่องจากในงานอุตสาหกรรม การบังคับการทำงานด้วยระบบกลไก ระบบไฟฟ้า ระบบอิเล็กทรอนิกส์ ระบบไฮดรอลิก และระบบนิวแมติก ซึ่งแต่ละระบบก็มีข้อเสียแตกต่างกันไป ดังรายละเอียดในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 แสดงการเปรียบเทียบระบบนิวแมติกกับระบบการทำงานอื่นๆ

รายละเอียดของระบบ	บังคับการทำงานด้วยระบบ			
	กลไก	อิเล็กทรอนิกส์	ไฮดรอลิก	นิวแมติก
ระบบขับเคลื่อน	กลไก	อิเล็กทรอนิกส์	ไฮดรอลิก	นิวแมติก
โครงสร้าง	ซับซ้อน	ซับซ้อน	ซับซ้อน	ง่าย
ความสามารถ	ดีมาก	ดีมาก	ดี	ดี(ต้องระวัง)
เคลื่อนเส้นตรง	ง่าย	ง่าย	ง่าย	ง่าย
เคลื่อนที่แบบหมุน	ง่าย	ง่าย	ยาก	ยาก
กำลังขับ	น้อย	น้อย	มาก	น้อย
บำรุงรักษา	ง่าย	ยาก	ง่าย	ง่าย
ความเร็วคงที่	ดีมาก	ดี	ดี	ไม่คงที่
รับภาระเกินกำหนด	ยาก	ยาก	ยาก	ง่าย
เลือกรูปแบบติดตั้ง	น้อย	กลาง	มาก	มากกว่า

### 2.4.1 กระบอกสูบ

กระบอกสูบลมจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานลมอัดให้เป็นพลังงานกล ลักษณะในการเคลื่อนที่เป็นการเคลื่อนที่แบบเส้นตรง ในสมัยก่อนที่ลูกสูบลมจะเข้ามามีบทบาท ในงานอุตสาหกรรมยังใช้กลไกทางกลและทางไฟฟ้า มีความยุ่งยากในการควบคุม และปัญหาของช่วงชักจำกัด ดังนั้นในอุตสาหกรรมสมัยใหม่จึงพัฒนาลูกสูบลมมาใช้ในงานจนถึงปัจจุบัน

ตัวกระบอกสูบลมมักจะทำด้วยท่อชนิดไม่มีตะเข็บ เช่น เหล็ก อะลูมิเนียม ทองเหลือง สเตนเลส ขึ้นอยู่กับลักษณะงานที่ใช้ ภายในท่อจะต้องเจียรนัยให้เรียบ เพื่อลดการเสียดสีของซีลที่จะเกิดขึ้น และยังคงแรงเสียดทานภายในกระบอกสูบอีกด้วย ตัวฝาสูบทั้งสองด้านส่วนใหญ่นิยมการหล่อขึ้นรูป บางแบบอาจใช้การอัดขึ้นรูป การยึดตัวกระบอกสูบเข้ากับฝาอาจใช้เกลียวขันเหมาสำหรับกระบอกสูบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 25 มิลลิเมตรลงมา ถ้าโตกว่านี้นิยมใช้สกรูร้อยขันรัดหัวท้ายไว้ สำหรับก้านสูบอาจทำด้วยสเตนเลสหรือเหล็กชุบผิวโครเมียม ที่เกลียวปลายก้านสูบจะทำได้ด้วยกรรมวิธีขึ้นรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ลักษณะ โครงสร้างของกระบอกสูบลม

การทำงานของกระบอกสูบลมตามรูปที่ 2.11 เป็นกระบอกสูบแบบมีระบบลมกันกระแทก ซึ่งส่วนใหญ่จะนิยมใช้กระบอกสูบลมแบบดังกล่าวในงานอุตสาหกรรมอย่างมาก อาจจะมีด้านเดียวหรือสองด้านก็ตาม เพื่อช่วยลดความเร็วหรือลดอัตราหมว่งของลูกสูบเมื่อสลับระยะชัก เป็นการป้องกันการกระแทกที่เกิดขึ้นระหว่างลูกสูบ บัฟเฟอร์กระบอกสูบ โดยการใส่วาล์วเข็ม (needle valve) กับวาล์วกันกลับ (check valve) ทำให้เกิดเบาะลมขึ้นระหว่างลูกสูบกับฝากระบอกสูบ ลมที่มีความดันสูงก็จะทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ต่อไปด้วยความล่าช้า และจะเป็นการหมว่งความเร็วของลูกสูบลดตอนใกล้สลับระยะชัก ทำให้ไม่เกิดกระแทก โดยทั่วไประยะกันกระแทกจะอยู่ระหว่าง 15 ถึง 40 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ ที่ตัวกระบอกสูบจะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วาล์วเข็ม เมื่อก้านสูบเลื่อนไปถึงช่องกันกระแทกลมที่อยู่หน้าลูกสูบ ไม่สามารถผ่านออกไปได้ อีสุระ จะต้องผ่านออกไปทางวาล์วเข็มเท่านั้น ความเร็วของลูกสูบก็จะถูกหน่วงให้ลดลงตอนใกล้ สุเคราะห์ชะงัก ในขณะที่ลูกสูบเคลื่อนที่ออก ลมส่วนหนึ่งจะผ่านวาล์วกันกลับเข้ามาได้ ทำให้ลมไป กระทำกับหน้าตัดของลูกสูบ ได้เต็มที่ ลูกสูบจะเคลื่อนที่ไปอย่างรวดเร็ว แต่พอใกล้จะสุเคราะห์ชะงัก คือเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ไปถึงเบาะลม ลูกสูบก็จะเคลื่อนที่ช้าอีกเช่นเคย การทำให้เกิดแรงกันกระแทก ได้มาน้อย สามารถทำได้โดยการปรับวาล์วเข็มที่อยู่ตรงปลายของกระบอกลูกสูบนั่นเอง

ในปัจจุบันได้มีการนำกระบอกลูกสูบหลายๆเข้ามาใช้ในงานอุตสาหกรรม ซึ่งแต่ละแบบก็มี ลักษณะการทำงาน และการไปใช้งานแตกต่างกันไปดังต่อไปนี้

กระบอกลูกสูบชนิดทำงานสองทาง จะใช้ลมดันหัวลูกสูบทั้งตอนเคลื่อนที่ออกและเคลื่อน ที่กลับ ทำให้ได้แรงทั้งสองทิศทาง เหมาะกับงานที่จะต้องการใช้แรงในตอนลูกสูบเลื่อนออกและ เลื่อนเข้ารวมทั้งลักษณะงานที่ต้องการช่วงชักยาว ปัญหาที่เกิดขึ้นในกรณีในช่วงชักยาวเกินไป จะ ทำให้ก้านสูบเกิดการโก่งงอได้ ดังนั้นช่วงชักของกระบอกลูกสูบแบบนี้จะต้องมีการคำนวณหาระยะ ช่วงชักที่อนุญาตให้ใช้งานได้ นอกจากนี้ปัญหาดังกล่าวถ้ากระบอกลูกสูบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง โตเกินไปจะทำให้เกิดความสิ้นเปลืองลมมาก

รูปที่ 2.12 ลักษณะของกระบอกลูกสูบแบบสองทิศทาง

ลักษณะของกระบอกลูกสูบชนิดทำงานสองทางที่ใช้ในวงการอุตสาหกรรมมีอยู่หลายชนิด เช่น

1. กระบอกลูกสูบชนิดที่ไม่มีเบาะลมกันกระแทก กระบอกลูกสูบแบบนี้ดังรูปที่ 2.12 เป็น กระบอกลูกสูบที่มีราคาถูก เหมาะกับงานที่ใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ไม่มากนัก ถ้านำไปใช้ กับงานที่มีการเคลื่อนเร็ว จะทำให้ในปลายช่วงชักและตอนกลับสุดของลูกสูบเกิดการกระแทกกับ พนักหัวท้ายของกระบอกลูกสูบทำให้เกิดความเสียหายได้

2. กระบอกลูกสูบชนิดที่มีเบาะลมกันกระแทก ถูกสร้างขึ้นเพื่อแก้ปัญหาของกระบอกลูกสูบ ชนิดที่ไม่มีเบาะลมกันกระแทก เพราะกันกระแทกมีไว้เพื่อช่วยลดความเร็วหรือลดอัตราส่วนของ

ลูกสูบเมื่อสูดระยะชัก เป็นการป้องกันการกระแทกที่เกิดขึ้นระหว่างลูกสูบกับผนังหัวท้ายของกระบอกสูบ โดยการปรับสกรูกันกระแทกที่ติดตั้งไว้ที่หัวท้ายของกระบอกสูบ เมื่อหัวลูกสูบเคลื่อนเข้ามาถึงเบาะกันกระแทก ลมที่ถูกระบายทิ้งจะผ่านไปได้อย่างมาก จะต้องผ่านทางสกรูปรับกันกระแทกได้ทางเดียวเท่านั้น ทำให้เกิดความดันด้านกลับ ในตำแหน่งนี้ลูกสูบจะเคลื่อนที่ช้าลงเนื่องจากความดันด้านกลับ ในทำนองเดียวกันถ้าลูกสูบเคลื่อนที่กลับเมื่อใกล้สูดระยะชักเข้าก็จะเกิดอาการเช่นเดียวกันขึ้น โดยทั่วไประยะกันกระแทกจะอยู่ประมาณ 10 ถึง 30 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับเส้นผ่านศูนย์กลางระยะชักของกระบอกสูบ

2.4.2 โขลินอยด์วาล์ว 3/2 D.C.V. ปกติปิด

ใช้การเซตด้วยแม่เหล็กไฟฟ้าและรีเซตด้วยสปริง ตำแหน่งของวาล์วที่ไม่มีกระแสไฟฟ้าเข้าคอยล์สปริงจะกีดกันกลางลงและปิดรูลมด้านล่างทั้งนี้จะทำให้ลมจากรูจ่ายลม 1 ไม่ต่อกับรูใช้งาน 2 ส่วนรูใช้งาน 2 จะต่อกับรูลมทั้ง 3

การทำงานของวาล์วจะเริ่มเมื่อไฟเข้าที่คอยล์ 12 แจนกลางจะยกขึ้นปิดรูลมด้านบน ทำให้รูลมเข้า 1 ต่อกับรูใช้งาน 2 ส่วนรูลมทั้ง 3 จะถูกปิดจากรูลมเข้า 1 วาล์วจะกลับสู่ตำแหน่งเดิมโดยแรงสปริง เมื่อการจ่ายไฟเข้าคอยล์ 12 หายตกลง วาล์วชนิดนี้ใช้สำหรับควบคุมกระบอกสูบชนิดทำงานทางเดียวและควบคุมวาล์ว 4/2 และ 5/2

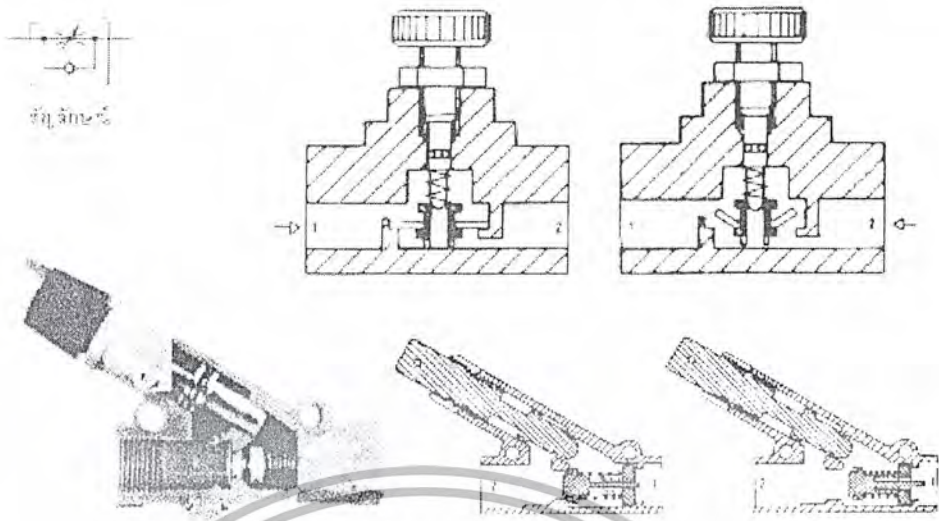


รูปที่ 2.13 วาล์วแบบปิดเปิดแผ่นกลมแบบ 3/2 D.C.V. ปกติปิด ใช้การเซตด้วยแม่เหล็กไฟฟ้าและรีเซตด้วยสปริง

2.4.3 วาล์วควบคุมอัตราการไหลปรับโดยมือหมุน หรือวาล์วบังคับความเร็ว

ประกอบด้วยวาล์วลดการไหล และวาล์วกันกลับต่อขนานกัน ลมอัดจึงสามารถไหลอย่างอิสระได้ทางหนึ่ง และโดยการบังคับการไหลอีกทางหนึ่ง ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 ลักษณะของวาล์วควบคุมอัตราการไหลปรับโดยมือหมุน

การทำงานของวาล์วแบบนี้ ถ้าลมเข้าจากรูม 1 จะผ่านวาล์วก้นกลับไปไม่ได้ ต้องผ่านทาง วาล์วปรับปริมาณลม (วาล์วเข็ม) จึงจะออกไปทางรู 2 ได้ ปริมาณลมอัดจะมากขึ้นอยู่กับระยะการปรับวาล์วปรับปริมาณลม แต่ถ้าลมผ่านเข้าทางรู 2 จะผ่านวาล์วก้นกลับออกไปได้เสีย ไม่ต้องผ่านวาล์วปรับปริมาณลม วาล์วชนิดนี้สามารถนำไปใช้ในการปรับความเร็วของกระบอกสูบลม

#### 2.4.4 รีเลย์ (Relay)

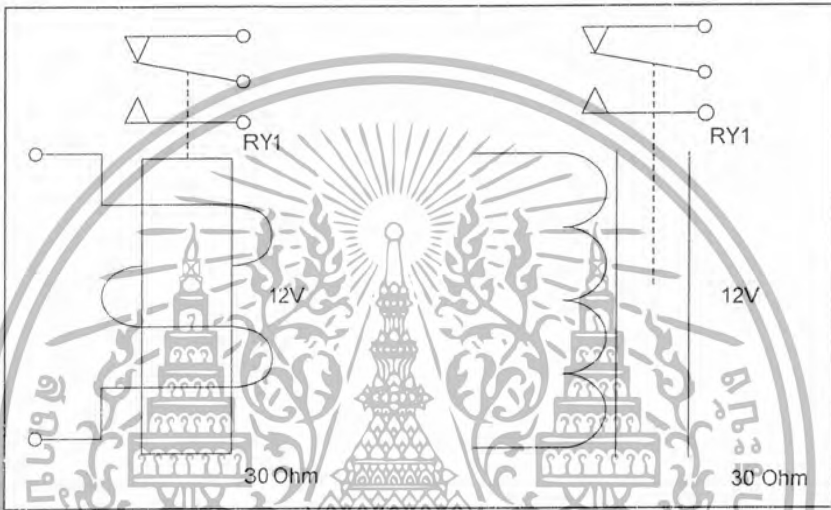
ปัจจุบันรีเลย์ที่มีจำหน่ายกันอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน แบ่งออกได้เป็นหลายประเภทตัวอย่างเช่น รีเลย์กลไกควบคุมด้วยไฟฟ้า (Electromechanical Relay หรือ EMR ) โครงสร้างภายในจะประกอบไปด้วยขดลวดและหน้าสัมผัส ซึ่งใช้สำหรับหน้าที่ตัดต่อวงจรและ รีเลย์อีกชนิดคือ โซลิตสเตรรีเลย์ (Solid State Relay หรือ SSR) เป็นรีเลย์ที่มีโครงสร้างภายในเป็นสารกึ่งตัวนำตัดต่อวงจรเสมือนเป็นคอยล์และหน้าสัมผัสในรีเลย์ธรรมดา

รีเลย์ที่ใช้งานกันจะมีทั้งแบบที่ใช้กับสัญญาณขนาดเล็ก และที่ใช้กับสัญญาณขนาดใหญ่หรือเพาเวอร์รีเลย์ซึ่งก็ได้รับการพัฒนาขึ้นมาโดยมีขนาดเล็กลง ในขณะที่ประสิทธิภาพในการทำงานสูงขึ้น รูปร่างที่นิยมใช้ก็เป็นรูปกล่องสี่เหลี่ยมเล็กๆ มีขาต่อออกมาใช้งาน ขดลวดพันอยู่บนแกนเหล็กเพื่อทำหน้าที่เป็นแม่เหล็กไฟฟ้า เมื่อป้อนแรงดันให้ แม่เหล็กจะดูดหน้าสัมผัสซึ่งทำด้วยโลหะเงินหรือส่วนผสมของเงินตัดต่อกระแสไฟฟ้าให้วงจรตามต้องการ การเคลื่อนที่ของหน้าสัมผัสนั้นจะอาศัยแรงดึงจากสปริงช่วยให้คืนกลับตำแหน่งเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.4.1 พื้นฐานกลไกของรีเลย์

เมื่อให้แรงดันเข้าที่คอยล์ของรีเลย์ จะก่อให้เกิดสนามแม่เหล็ก ซึ่งจะมีแรงมากกว่าแรงดึงของสปริงคู่ทำให้หน้าสัมผัสติดกัน หรือแยกจากกันตามชนิดของรีเลย์ดังในรูปที่ 2.15 เป็นสัญลักษณ์ของรีเลย์ใน 2 รูปแบบคือมองในแง่ของโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นลวดพันและมองในแง่ของตัวเหนี่ยวนำที่พันบนแกนเหล็ก หน้าสัมผัสของรีเลย์เป็นสวิตช์ชุดเดียวแบบ 2 ทิศทางสภาวะปกติเปิดวงจร หรือเขียนเป็นรูป แบบย่อๆ ได้ว่า SPST-NO ซึ่งมีความหมายมาจาก Single Pole Single Throw Normal Open นั้นเอง



รูปที่ 2.15 สัญลักษณ์ของรีเลย์

โดยทั่วไปแล้วภายนอกขั้วรีเลย์จะถูกห่อหุ้มอย่างมิดชิดเพื่อป้องกันฝุ่นละอองตัวถังจะเป็นพลาสติกใสที่มองเห็นด้านในได้ หรือพลาสติกทึบซึ่งแล้วแต่บริษัทผู้ผลิตจะสร้างขึ้นมา รีเลย์จะถูกผลิตมาหลายๆ ขนาดและหลายพิกัด สามารถใช้ได้ทั้งไฟกระแสตรงและไฟกระแสสลับซึ่งจะต้องได้รับการรับรองมาตรฐานความปลอดภัยจาก UL หรือ CSA เมื่อนำมาใช้กับไฟเอซีหรือดีซีที่มีอันตรายสูง

ลักษณะที่สำคัญของรีเลย์จะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนอินพุตซึ่งในที่นี้คือขดลวดแม่เหล็ก และส่วนที่สองเป็นส่วนของเอาต์พุต ซึ่งก็คือหน้าสัมผัสหรือคอนแทกต์ ซึ่งจะเป็นส่วนที่กำหนดอัตราแรงดันที่ใช้ควบคุมให้รีเลย์ทำงาน และอัตราทนกระแสของรีเลย์ ส่วนหน้าสัมผัสของรีเลย์ที่ใช้งาน แล้วแต่ผู้ผลิตจะออกแบบมา ในตารางที่ 2.4 จะแสดงลักษณะการจัดหน้าสัมผัสของรีเลย์ในแบบต่างๆ

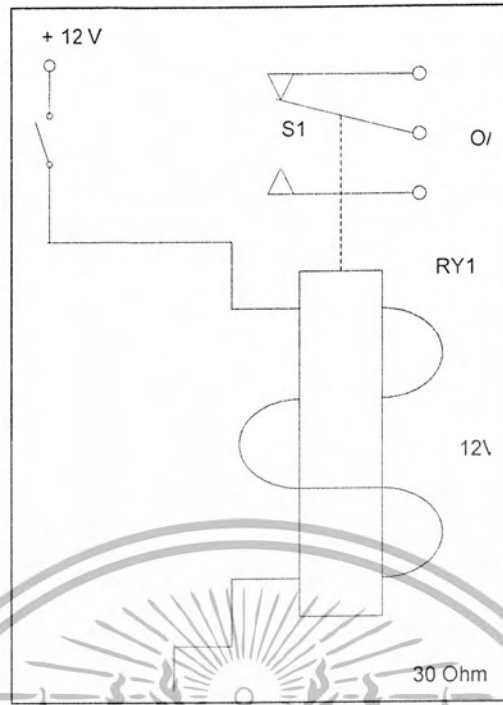
ตารางที่ 2.4 การจัดหน้าสัมผัสและลำดับการทำงานของรีเลย์

หน้าสัมผัส	ลำดับการทำงาน	สัญลักษณ์	แบบ
SPST-NO	ต่อหน้าสัมผัส(1)		A
SPST-NC	แยกหน้าสัมผัส(1)		B
SPDT	แยกหน้าสัมผัส(1)ต่อหน้าสัมผัส(2)		C
SPDT	ต่อหน้าสัมผัส(1)ก่อนที่จะแยกหน้าสัมผัส(2)		D
SPDT (B-M-B)	แยกหน้าสัมผัส(1)ก่อนที่จะแยกหน้าสัมผัส(2)ก่อนที่จะแยกหน้าสัมผัส(3)		E

## 2.4.4.2 วงจรพื้นฐานของรีเลย์

รีเลย์สามารถนำมาพลิกแปลงใช้งานในรูปแบบต่างๆ ได้มากมาย นอกจากใช้เป็นสวิตช์แล้ว สามารถนำมาต่อเลียนแบบ การทำงานในลักษณะของวงจรดิจิทัล หรือวงจรลอจิกในรูปแบบต่างๆ ได้อีกด้วย เริ่มจากวงจรในรูปที่ 2.16 เป็นการใช้งานรีเลย์ในรูปแบบพื้นฐานคือ ทำงานเป็นสวิตช์ ON/OFF ธรรมดาโดยการควบคุม จากสวิตช์ S1 หน้าสัมผัสของรีเลย์แบบ 1 ชุด 2 ทาง ในรูปที่ 2.3 เป็นวงจรรีเลย์ที่สามารถที่จะค้างสถานะการทำงานได้ หรือสามารถที่จะทำงานแลตช์ (latch) ได้โดยการควบคุม จากสวิตช์ S1 เมื่อกด S1 จะทำให้มีกระแสไหลเข้าไปในขดลวดของรีเลย์ คูณหน้าสัมผัสของรีเลย์ ซึ่งมี 2 ชุด ชุดหนึ่งจะถูกแบ่งไปใช้ในการควบคุมการทำงานของรีเลย์โดยจะต่อหน้าสัมผัสทำให้มีไฟป้อนสู่ขดลวดของรีเลย์อยู่ตลอดเวลาซึ่งก็คือ รีเลย์คูณค้างอยู่ตลอดเวลา หลังจากที่ได้รับไฟป้อนครั้งแรก การทำให้รีเลย์กลับคืนสู่สภาวะปกติทำได้โดยการตัดไฟเลี้ยงออกจากวงจรเท่านั้น จากหน้าสัมผัส 2 ชุด จะเหลือหน้าสัมผัสนำไปต่อใช้งานหรือเอาต์พุตเพียงชุดเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 การควบคุมแบบพื้นฐานให้รีเลย์ทำงาน



รูปที่ 2.17 รีเลย์ที่มีการค้างสถานะทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

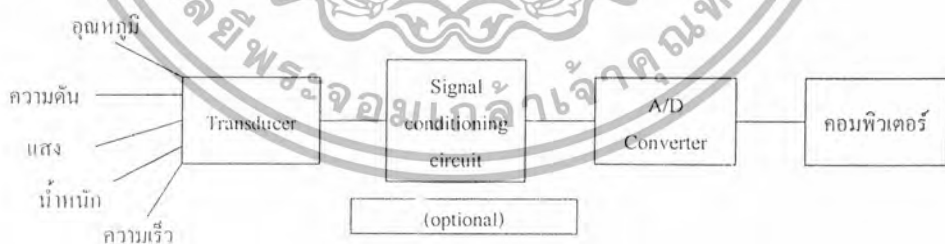
## 2.5 การแปลงระหว่างสัญญาณอนาล็อกและดิจิทัล

อุปกรณ์ทางกายภาพที่ทำงานกับสัญญาณไฟฟ้าแบบอนาล็อก เช่น เครื่องกำเนิดความร้อน ปริมาณความร้อนจะขึ้นกับกระแสไฟฟ้าที่ความสว่างจะขึ้นกับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า การควบคุมการทำงานของอุปกรณ์เหล่านี้จะต้องใช้สัญญาณอนาล็อกทั้งสิ้น ถ้าจะให้ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการควบคุมจะต้องแปลงสัญญาณดิจิทัลที่ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถประมวลผลได้ให้เป็นสัญญาณอนาล็อกเสียก่อน โดยใช้อุปกรณ์ที่มีชื่อเรียกว่า Digital-to-Analog Converter : DAC

ปริมาณทางธรรมชาติส่วนใหญ่จะมีปริมาณอนาล็อก ในทางไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์จะเรียกสัญญาณแอนาล็อก (analog signal) ซึ่งเป็นสัญญาณที่มีค่าต่อเนื่องได้แก่กระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า อุณหภูมิ ความเร็ว หรือเวลา ถ้าเราต้องการให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลสัญญาณเหล่านั้น เราจะต้องเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า Analog-to-Digital Converter : ADC

### 2.5.1 การเปลี่ยนแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล

ในการวัดปริมาณต่างๆ ทางธรรมชาติ ปริมาณเหล่านั้นจะต้องถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้าเสียก่อน โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่าทรานสดิวเซอร์ (Transducer) เช่น ตัววัดอุณหภูมิ จะทำหน้าที่เปลี่ยนอุณหภูมิให้เป็นแรงดันไฟฟ้า การวัดน้ำหนักโดยใช้ load cell เปลี่ยนค่าน้ำหนักให้เป็นแรงดันไฟฟ้า เป็นต้น จากนั้นจะนำเอาค่าที่ได้ต่อกับวงจร ADC เพื่อเปลี่ยนให้สัญญาณดิจิทัล เพื่อนำไปประมวลผลต่อไป โดยระบบจะเป็นดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ระบบเปลี่ยนปริมาณทางธรรมชาติเป็นปริมาณดิจิทัล

จากรูปจะเห็นว่าระหว่างเอาต์พุตของ ทรานสดิวเซอร์กับอินพุตของวงจร ADC จะมีวงจร signal conditioning วงจรนี้จะมีหรือไม่มีก็ได้ ขึ้นกับระบบที่ออกแบบขึ้น ถ้าหากเอาต์พุตที่ได้จากทรานสดิวเซอร์มีสัญญาณอ่อนเกินไปอาจใช้วงจรนี้ขยายสัญญาณให้แรงขึ้น หรือถ้าหาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

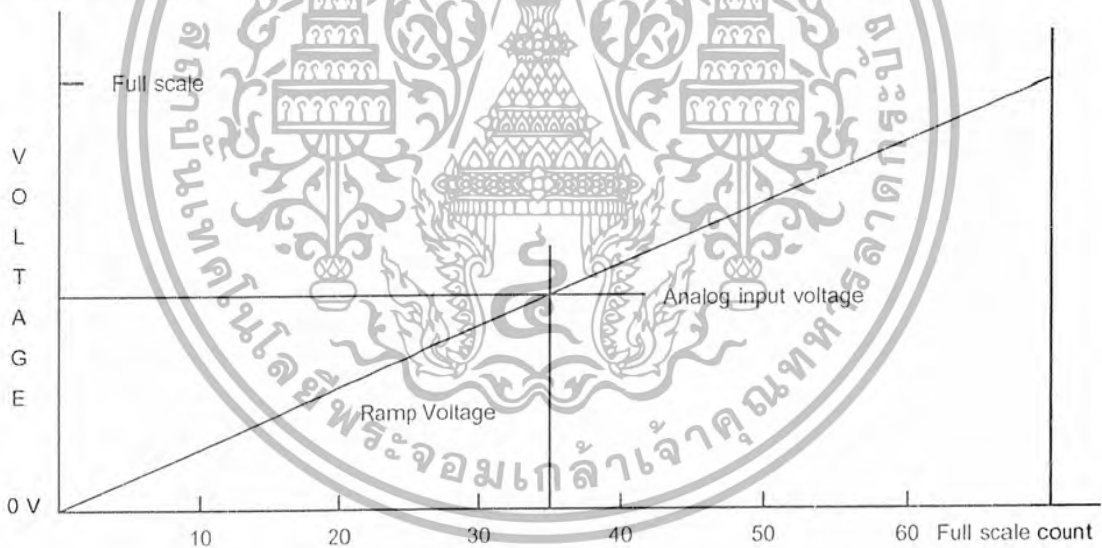
สัญญาณที่ได้จากเอาต์พุตของทรานสดิวเซอร์มีรูปร่างไม่เหมาะสม อาจใช้วงจรนี้แต่งรูปสัญญาณให้ดูดีขึ้น

### 2.5.2 การแปลง (Conversion Techniques)

#### 2.5.2.1 ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบความลาดเอียงเดียว (Single

slope A/D Converter) เทคนิค

ตัวแปลงความลาดเอียงเดียวนี้จะทำการรวมค่าสัญญาณอินพุตทั้งหมดแล้วให้ค่าเอาต์พุตที่เป็นดิจิทัล โดยทำการเปรียบเทียบค่าแรงดันของสัญญาณอินพุตที่ไม่รู้ค่ากับค่าแรงดันลาดเอียงที่สร้างขึ้นมาจากแหล่งอ้างอิง โดยสัญญาณแรงดันลาดเอียง (Ramp Voltage) อ้างอิงที่สร้างขึ้นมาจะต้องมีการควบคุมให้มีความเที่ยงตรง นั่นคือจะต้องมีความเป็นเชิงเส้นมากอาจจะต้องทำให้มีความลาดเอียงถึง 2" ค่า ของสัญญาณนาฬิกาจากค่า 0 ถึงค่าเต็มสเกล เมื่อ n คือจำนวนบิตของตัวแปลง โดยตัวแปลงจะทำการนับจำนวนสัญญาณนาฬิกาจนกว่าการสร้างสัญญาณแรงดันลาดเอียงจาก 0 โวลต์จนถึงค่าแรงดันอินพุตที่ไม่รู้ค่า นั้น ค่าจำนวนสัญญาณนาฬิกาที่ตัวนับได้ในขณะนั้นก็คือสัญญาณดิจิทัลที่ได้จากสัญญาณอินพุตนั้นเอง สำหรับตัวอย่างจะลองสมมติให้เป็นตัวแปลงแบบ 6 บิต ให้ค่าที่อ่านได้เต็มสเกลมีค่า 5 โวลต์ จะแสดงได้ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 Ramp/Analog Voltage Comparison on a 6 –Bit A/D Converter

ตัวแปลงขนาด 6 บิต =  $2^6$  หรือ 64 ค่า

ค่าความลาดเอียง เต็มสเกล = แรงดันเต็มสเกลหารด้วย 64

แรงดันเต็มสเกล = 5V

แรงดันอนาล็อกอินพุต = 34/64 ของค่าแรงดันเต็มสเกล

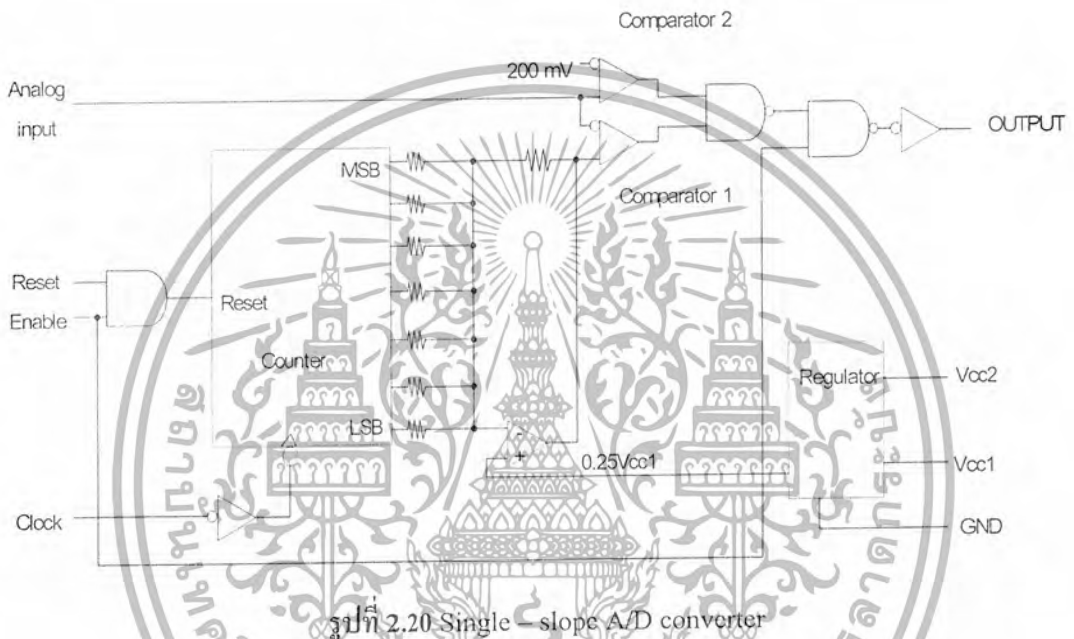
ดังนั้นแรงดันอนาล็อกอินพุต =  $5V \times (34/64) = 2.6V$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งที่จำเป็นสำหรับตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบความลาดเอียงเดียว คือ

1. แรงดันอ้างอิงมีความเสถียรเพื่อใช้สร้างแรงดันลาดเอียง
2. สัญญาณนาฬิกา (ตัวกำเนิดความถี่) ที่เสถียร เพื่อใช้นับช่วงเวลาของแรงดันลาดเอียง
3. ตัวรวมค่าที่มีความเป็นเชิงเส้นและเสถียรเพื่อควบคุมความถูกต้องของแรงดันลาดเอียง

จากรูปที่ 2.20 จะแสดงบล็อกไดอะแกรมที่แสดงส่วนต่างๆของตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบความลาดเอียงเดียว (Single – slope A/D converter)



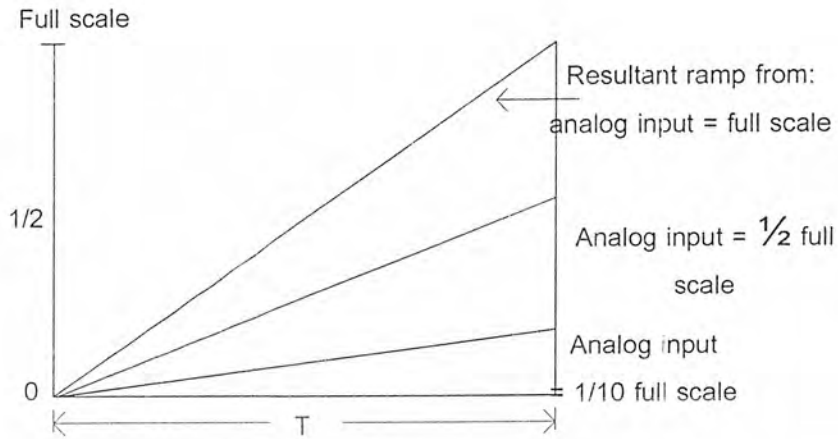
รูปที่ 2.20 Single – slope A/D converter

### 2.5.2.2 ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบความลาดเอียงคู่ (Dual – slope A/D converter)

สำหรับการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบความลาดเอียงคู่ (Dual – slope A/D converter) นี้จะใช้วิธีการ โดยช้อบ โดยสัญญาณแรงดันอนาล็อกที่เป็นอินพุต และแรงดันอ้างอิงจะถูกเปลี่ยนไปเป็นช่วงเวลาโดยตัวอินทิเกรเตอร์ (Integrator) หลังจากนั้นทำการวัดค่าโดยการนับความเร็วของการแปลงค่าวิธีนี้จะช้าแต่มีค่าความถูกต้องสูง

สำหรับตัวแปลงแบบความลาดเอียงคู่ (Dual – slope A/D converter) นี้จะใช้วิธีการที่คล้ายกันกับตัวแปลงแบบความลาดเอียงเดียว แต่มีความถูกต้องสูงกว่า และมีความเร็วในการแปลงค่าต่ำกว่า ผลเนื่องมาจากตัวสร้างแรงดันลาดเอียงนั่นเอง ในการสร้างแรงดันลาดเอียงนั้นจะใช้แรงดันอินพุตที่ไม่รู้ค่าและจะมีการใช้เวลาสร้างที่คงที่ (fixed time ; T) ซึ่งค่าแรงดันสูงสุดที่ได้นี้จะมีส่วนโดยตรงกับแรงดันอินพุตที่ไม่รู้ค่า ดังแสดงในรูปที่ 2.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.21 Ramp 1 – Dual – slope A/D Converter

ค่าที่เป็นผลติดตามมาก็คือการรวมค่ากลับไปยัง 0 โวลต์ ที่มีอัตราความลาดเอียงคงที่ด้วยการใช้ แรงดันอ้างอิงสำหรับให้ช่วงเวลานั้นแปรเปลี่ยนได้เพื่อร่นำไปสู่ค่าอ้างอิง โดยที่ในช่วงความลาดเอียงที่ 2 นี้จะมีความลาดเอียงคงที่ แต่ค่าเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนค่าจนถึงแรงดัน 0 โวลต์ นั้น จะเป็นสัดส่วน โดยตรงกับค่าสูงสุดของความลาดเอียงที่ 1 ดังแสดงดังรูปที่ 2.22

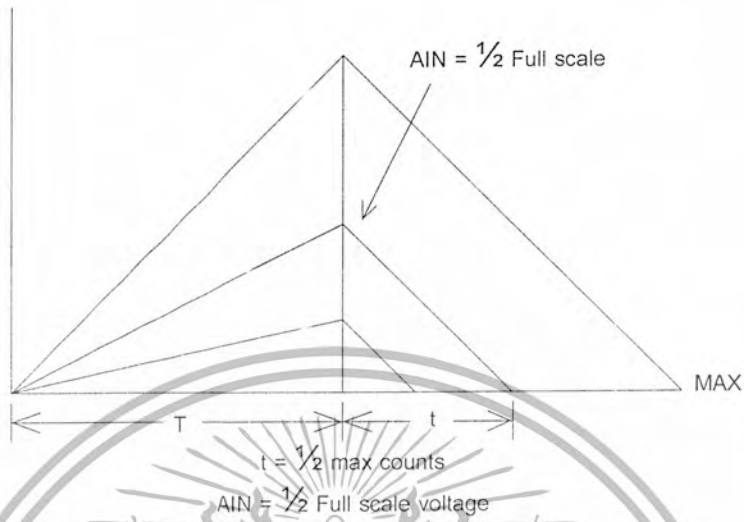


รูปที่ 2.22 Ramp 2 – Dual – slope A/D converter

นำแรงดันลาดเอียงทั้ง 2 นี้มาวางต่อกัน โดยการใช้ความถี่สัญญาณนาฬิกาเดียวกันทั้งช่วงที่ ให้ค่าการนับ ( T ) คงที่และ t แปรเปลี่ยนที่ความลาดเอียงคงที่และใช้อินทิเกรชันเน็ตเวิร์ค (Integration Network) เดียวกัน ในการสร้างสัญญาณลาดเอียงทั้งคู่ (Ramp 1 และ Ramp 2 ) ความผิดพลาดนั้นอนุญาตให้เกิดขึ้นสำหรับความถี่สัญญาณนาฬิกาได้ และความผิดพลาดจากความไม่เชิง

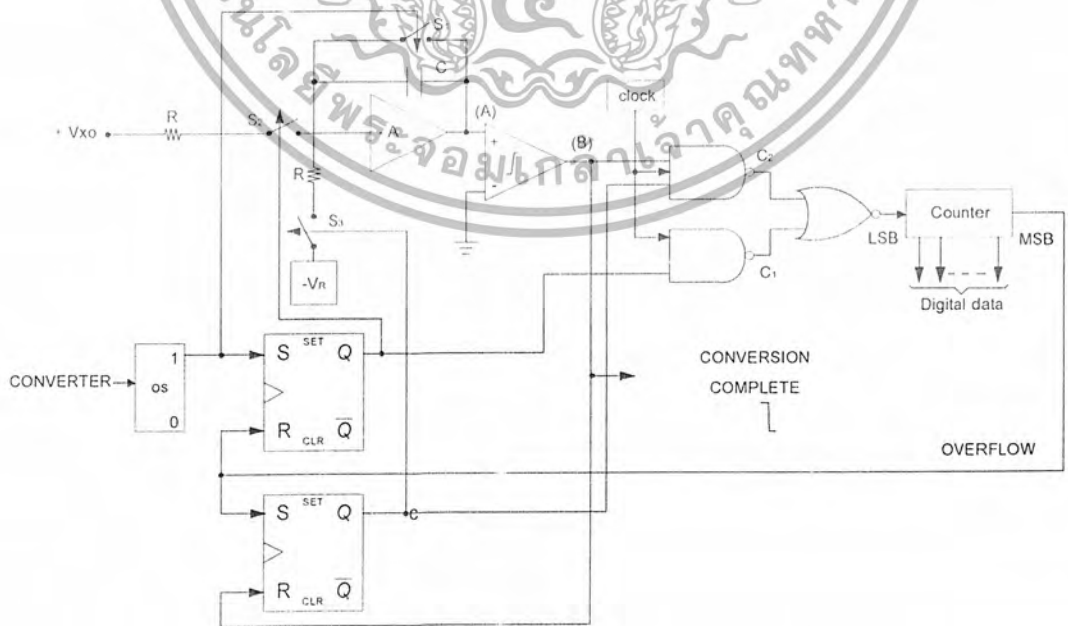
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นเนื่องจากตัวรวมค่าไม่เป็นเชิงเส้นนั้นตัดทิ้งได้ซึ่งในกรณีนี้จะต้องให้แรงดันอ้างอิงนั้นมีความเสถียรสำหรับสัญญาณลาดเอียงทั้งคู่ที่นำมาต่อกันนั้นจะแสดงได้ดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 Ramp 1 and 2 Dual – slope A/D converter

ขณะเดียวกันความเร็วในการแปลงค่าของตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบความลาดเอียงคู่นี้จะต่ำ โดยที่มีช่วงความลาดเอียงขนาด 8 – 14 บิต ที่สามารถนำมาใช้ได้ ส่วนรูปไดอะแกรมแสดงส่วนต่างๆ ของตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบความลาดเอียงคู่ (Dual – slope A/D converter) นั้นเอง ดังแสดงในรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 Dual – slope A/D converter functional diagram

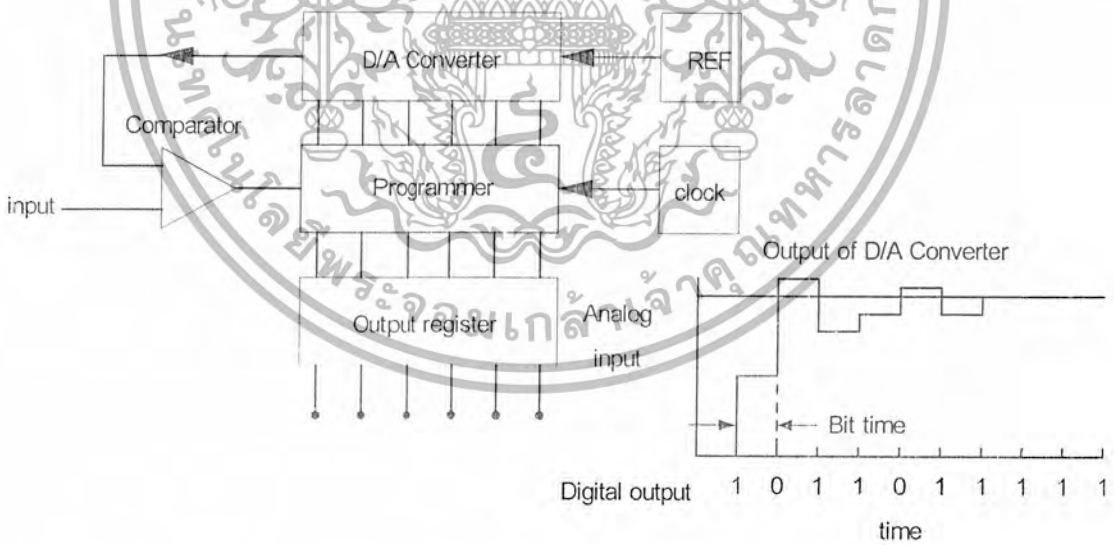
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2.3 ตัวแปลงแบบประมาณค่าที่ต่อเนื่องกัน (Successive – Approximation Converters)

ตัวแปลงชนิดนี้มีการใช้กันมานานแล้วและปัจจุบันก็ยังคงใช้กันอยู่ เป็นตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้งานนั้นจะใช้อัตราการสุ่มสูงสุดประมาณ 1MHz หรือ “Successive Approximation” นี้มาจากความจริงที่ว่าค่าตัวเลขที่รับมานั้นตัวแปลงจะทำการแปลงอย่างต่อเนื่องรวมทั้งการเผื่อสังเกตจนกระทั่งมันได้ค่าแรงดันเอาท์พุทที่ถูกต้อง

ตัวแปลงแบบประมาณค่าที่ต่อเนื่องกัน (Successive – Approximation Converters) จะไม่ใช้การสร้างสัญญาณลาดเอียงขึ้นเพื่อให้ค่าเอาท์พุทที่เป็นดิจิทัล แต่จะใช้ตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก (A/D converter) แทน เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบค่าบิตกับอินพุตอย่างต่อเนื่องจากค่าบิตที่มีความสำคัญมาก (MSB) ไปยังบิตที่มีนัยความสำคัญน้อย (LSB) โดยเรียงกันตามลำดับ

วิธีการเปรียบเทียบก็คือจะเป็นไปตามลำดับค่าน้ำหนักของเลขฐาน 2 (Binary – weighted). เมื่อนั้นจะสร้างสัญญาณดิจิทัล  $n$  ค่า เมื่อ  $n$  คือค่าความลาดเอียงของตัวแปลง ในอดีตนั้นจะใช้ “Resister Ladder” เพื่อแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก แต่เมื่อไม่นานมานี้ได้ใช้วิธีการคล้ายๆ กันนี้ในตัวแปลงสัญญาณอนาล็อก ดังรูปที่ 2.25 ซึ่งแสดงส่วนประกอบต่างๆ ของตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบประมาณค่าที่ต่อเนื่องกัน



รูปที่ 2.25 Successive – Approximation A/D Converter Block Digram

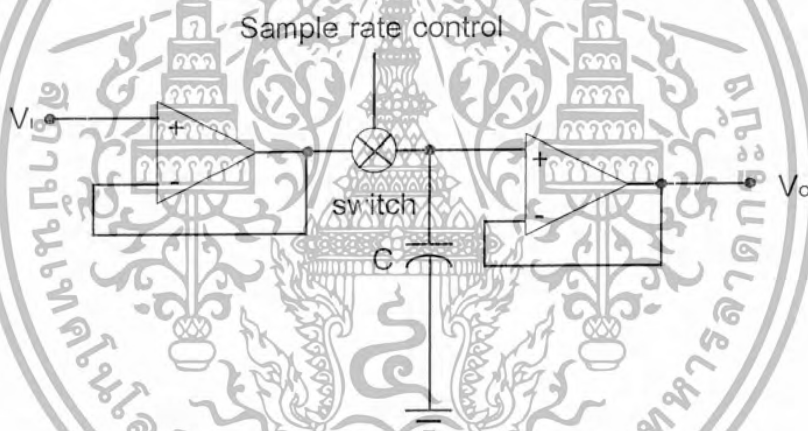
ในส่วนของอินพุตนั้น ตัวเปรียบเทียบแรงดันนั้นจะนำสัญญาณได้จากอินพุตมาเปรียบเทียบกับค่าแรงดันที่ได้จากตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อก (D/A Converter) โดยที่

ตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อกนั้นจะถูกโปรแกรมให้ค่า (MSB = 1 ส่วนบิตอื่นเป็น “0” )

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลิตแรงดันเท่ากับค่าครึ่งหนึ่งของค่าเต็มสเกลของย่านการวัดของตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล การหาค่าของตัวเปรียบเทียบนั้นคือถ้าอินพุตของ D/A มากกว่าหรือน้อยกว่าสัญญาณอินพุตที่นำมา เปรียบเทียบ ดังรูปที่ 2.25 ค่าแรงดันอินพุตมีค่ามากกว่าค่าเอาต์พุตของ D/A ดังนั้นบิตที่ 1 (MSB) จึงมีค่าลอจิก “1” ของดิจิทัลเอาต์พุต หลังจากนั้น D/A ก็จะเพิ่มค่าเอาต์พุตอีกครั้งหนึ่งในค่าต่อไปซึ่งในกรณีที่สัญญาณจาก D/A มีค่ามากกว่าแรงดันอินพุตก็จะทำให้ค่าต่อไป (MSB - 1) เป็นลอจิก “0” ซึ่งกระบวนการนี้จะกระทำอย่างรื้อเนื่องจนค่าที่ได้จาก D/A มีค่าแตกต่างกับสัญญาณแรงดันอินพุตก็เป็นการสิ้นสุด ค่ารหัสดิจิทัลก็จะถูกส่งออกไปยังรีจิสเตอร์ (Register)

ขณะเดียวกันทุกขั้นตอนนั้นจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วมาก จะทำให้สัญญาณที่ได้นั้นคงที่ในขณะที่มันแปลงค่าโดยประมาณอย่างต่อเนื่องกัน การทำให้เสร็จสมบูรณ์นี้จะใช้วงจรสุ่มค่าและคงค่าไว้ด้านหน้าของตัวเปรียบเทียบ (ดังในรูปที่ 2.25) ในระหว่างการทำการเปลี่ยนค่าที่วงจรรับค่าอินพุตจะรับค่าอินพุตเข้ามาก่อนที่จะเริ่มการเปลี่ยนค่าและจะคงค่าอินพุตที่สุ่มเข้ามาไว้จนทำการเปลี่ยนเสร็จ จึงจะรับค่าใหม่เข้ามาอีก วงจรสุ่มค่าและคงค่าอินพุตอย่างง่ายนั้นแสดงได้ (ดังรูปที่ 2.26)



รูปที่ 2.26 Basic Sample - Hold Switch

โดยพื้นฐานแล้ววงจร Sample - Hold หรือ Voltage memory นั้นก็คืออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เก็บค่าแรงดันที่รับเข้ามาโดยใช้ตัวเก็บประจุคุณภาพสูง นั่นคือตัวเก็บประจุต้องมีการรั่วไหลและการซึมซาบของฉนวนต่ำ สวิตช์อิเล็กทรอนิกส์จะต่อเข้าไปเพื่อคงค่าแรงดันในตัวเก็บประจุ ดังนั้นเมื่อสวิตช์ปิดตัวเก็บประจุก็จะทำการรับค่าแรงดันอินพุตเข้ามาและเมื่อสวิตช์เปิดตัวเก็บประจุก็จะรักษาค่าแรงดันอินพุตที่รับเข้ามาไว้ตามเวลาที่ต้องการ ออป - แอมป์ (op - amp) นั้นจะถูกต่อในลักษณะที่เป็นวงจรกันชน นั่นคือมีอัตราการขยายทางแรงดันเท่ากับหนึ่ง และมีความต้านทานทางอินพุต (Input impedance) สูงซึ่งมีความจำเป็นในการประยุกต์ใช้งานและในขณะเดียวกันก็มีความต้านทานทางอินพุตต่ำ ซึ่งเหมาะสมที่จะนำไปขับตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ค่าในแต่ละบิตของเลขฐานสอง (Binary bit weighting)

ในเลขฐานสอง (Binary number) ค่าของบิตที่มีนัยสำคัญมากที่สุด (Most significant bit หรือ MSB) จะมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของค่าสูงสุดหรือค่าเต็มสเกล ส่วนค่าถัดจาก MSB ต่อไปจะมีค่าเป็น  $1/4$  ของค่าสูงสุด,  $1/8$  ของค่าสูงสุด,  $1/16$  ของค่าสูงสุด เป็นต้น จนถึงค่าบิตที่มีนัยสำคัญน้อยที่สุด (Least significant bit หรือ LSB) ซึ่งจะมีค่าเป็น  $(1/2)^n$  ของค่าสูงสุด เมื่อ  $n$  คือจำนวนบิต

ดังตัวอย่างสมมติว่าให้ค่าเต็มสเกล(ค่าสูงสุด) เป็น 4 โวลท์ที่ใช้ตัวแปลงขนาด 4 บิต ดังนั้นเราสามารถหาค่าในแต่ละบิตของเลขฐานสองที่มีขนาด 4 บิต ได้ดังนี้

MSB (Most significant bit)	=	$4 \times 1/2$	= 2 Volt
Next MSB	=	$4 \times 1/4$	= 1 Volt
Next MSB	=	$4 \times 1/8$	= 1/2 Volt
LSB (Least significant bit)	=	$4 \times 1/2^4$	= 1/4 Volt

ค่าที่อ่านเต็มสเกล =  $3 \frac{3}{4}$  Volt

ดังนั้นค่าความละเอียดของตัวแปลงขนาด 4 บิตสามารถหาค่าได้ดังนี้

ค่าความละเอียด = (ค่าเต็มสเกล) /  $2^4$  = 1/4 Volt

นั่นคือค่าการเปลี่ยนแปลงในแต่ละขั้นนั้นจะมีค่า = 1/4 Volt

### การสร้างจำนวนดิจิทัลหรือเลขฐานสอง (Creating a digital number)

ดังในขั้นตอนที่ผ่านค่าแปลงแบบประมาณค่าต่อเนื่องกันนี้จะมีตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อกอยู่ภายในเพื่อใช้ในการเปรียบค่าที่ได้จากตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อกกับสัญญาณอินพุตหลังจากนั้นมันจะต้องทำการเลือกค่านับฐานสองที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าอินพุตในขณะนั้นให้มากที่สุดซึ่งในขั้นตอนแรกนั้นตัวแปลง A/D (Analog to digital converter) นั้นจะเริ่มที่ค่าบิตที่มีค่านัยสำคัญมากที่สุด (MSB) ก่อน (ดังแสดงในรูปที่ 2.27)

ASSUME A 4 BIT A/D CONVERTER

ASSUME 4 V FULL SCALE

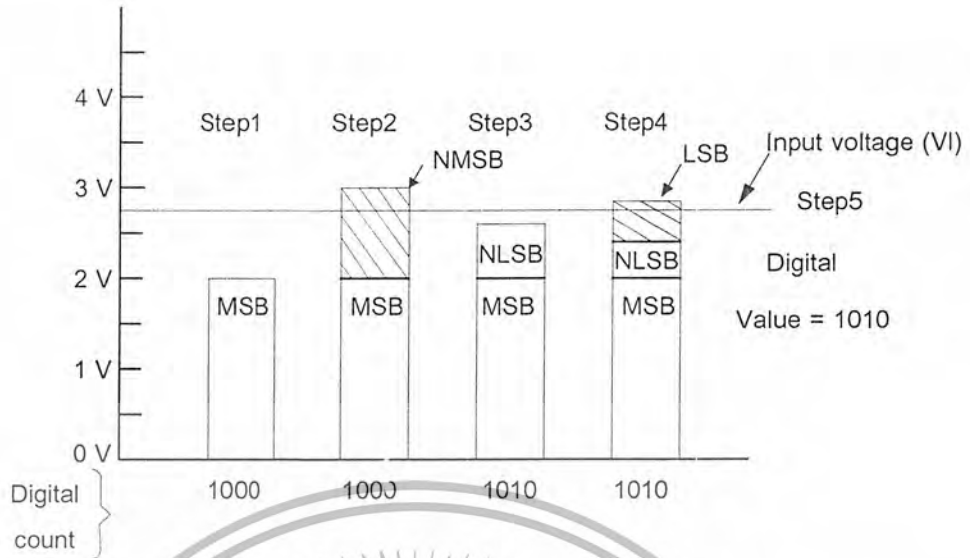
ASSUME AN ANALOG INPUT VOLTAGE OF 25/8 V

STEP 1 (MSB  $\leq$  VI), (MSB = 1)

STEP 2 (MSB + NMSB  $\leq$  VI), (NLSB = 0)

STEP 3 (MSB + NLSB  $\leq$  VI), (NLSB = 1)

STEP 4 (MSB + NLSB + LSB  $\geq$  VI), (LSB = 0)



รูปที่ 2.27 4 V, 4 - Bit Successive Approximation A/D Converter Output

จากตัวอย่างข้างบนเราจะเห็นว่าตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล(A/D converter) นี้ จะทำการเปรียบเทียบค่าครึ่งหนึ่งของค่าเต็ม เทียบกับค่าอินพุตก่อนแล้วจึงทำการตัดสินใจเลือก คือ ถ้าอินพุตต่ำกว่าก็จะให้ค่า MSB = 0 แต่ถ้าค่าแรงดันอินพุตมากกว่าก็จะให้ค่า MSB = 1 จากนั้นก็จะทำการพิจารณาค่า NMSB (Next most significant bit) ก็จะเหมือนกันกับการพิจารณาในการหาค่า MSB นั้นเองและจะกระทำเช่นนี้ไปจนถึงค่า LSB หลังจากที่เราตรวจสอบค่าที่ LSB เสร็จแล้วตัวนับก็จะให้ค่าดิจิตอลเอาท์พุต

สำหรับตัวแปลงขนาด 4 บิตก็จะต้องการขั้นตอนในการตัดสินใจ 4 ขั้นตอน หรือ 4 ครั้งนั่นเอง ส่วนตัวแปลงขนาด 8 บิต ก็จะต้องการขั้นตอนในการตัดสินใจ 8 ขั้นตอน หรือ 8 ครั้งนั่นเอง การตัดสินใจในแต่ละครั้งนั้นจะเสร็จสมบูรณ์อย่างรวดเร็วมาก ดังนั้นในตัวแปลงขนาด 8 บิตนี้จะใช้เวลาน้อยกว่าตัวแปลงแบบความลาดเชิงเตี้ยๆที่มีขนาด 8 บิตเท่ากัน

สิ่งที่จำเป็นสำหรับตัวแปลงแบบประมาณค่าต่อเนื่องกัน (Successive - Approximation Converter) เพื่อให้การทำงานนั้นมีความถูกต้อง ได้แก่ แหล่งจ่ายแรงดันอ้างอิงที่เสถียร , ตัวแปลงดิจิตอลเป็นอนาล็อก (A/D Converter) ที่มีความถูกต้อง และ สัญญาณควบคุมตัวนับ , เอาท์พุต รีจิสเตอร์ (Output Register) อย่างเพียงพอ เป็นต้น

Successive - Approximation A/D นี้ จะมีความเร็วในการแปลงมากกว่าตัวแปลงแบบ Single หรือ Dual - Slope A/D แต่จะมีความถูกต้องในการแปลงที่น้อยกว่า

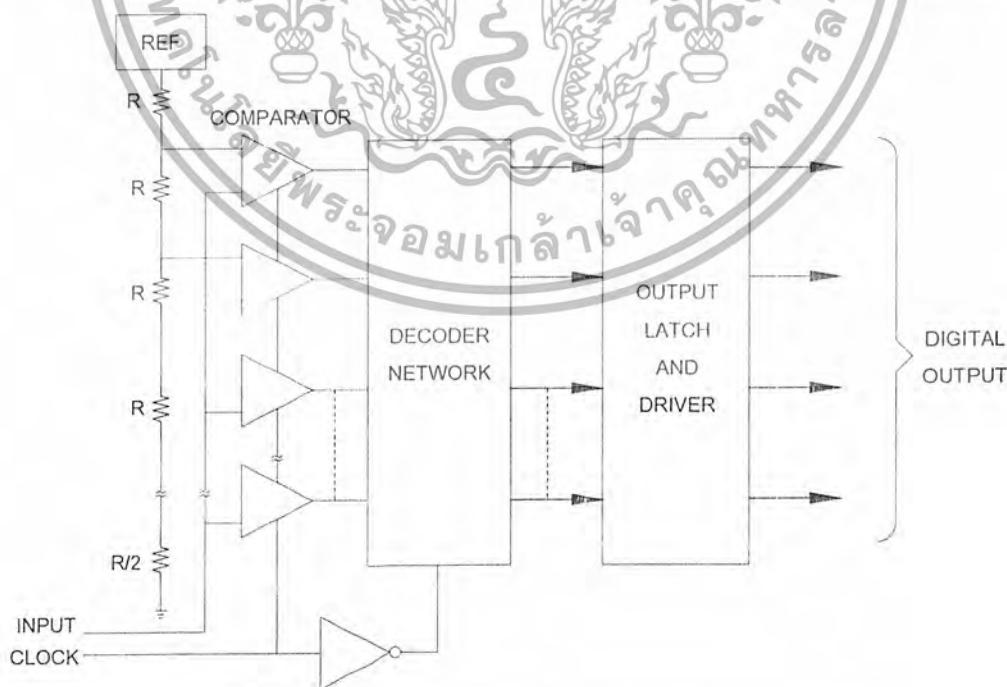
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.5.2.4 ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบเปรียบเทียบหรือ แฟลช (Flash or Compare A/D Converters)

ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบแฟลช (Flash A/D converter) นี้ชื่อของมันก็ได้มาจากความเก่งกาจของมันที่สามารถทำการแปลงได้อย่างรวดเร็วมากคือมันจะให้ค่าการแปลงทุกๆเวลาที่มันได้รับสัญญาณนาฬิกา

ดั่งที่ได้อธิบายมาแล้วสำหรับการทำงานของตัวแปลงแบบ Successive Approximation โดยมันจะต้องการสัญญาณนาฬิกา 1 ลูกสำหรับค่าความละเอียด 1 บิต นั่นคือถ้าตัวแปลงมีขนาด 8 บิตก็จะต้องการสัญญาณนาฬิกาถึง 8 ลูกจึงจะเสร็จการแปลงค่าใน 1 ครั้ง แต่ตัวแปลงแบบแฟลช นี้ไม่มีความจำเป็นต้องใช้วงจร Sample – hold และตัวแปลงดิจิทัลเป็นอนาล็อก (D/A converter) การเปลี่ยนที่มีความรวดเร็วมากนี้ ได้มาจากการใช้ตัวเปรียบเทียบ (comparator) ทุกๆค่าระดับแรงดันที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง (quantization level) นั่นคือจะต้องใช้ตัวเปรียบเทียบเป็นจำนวน  $2^n - 1$  ตัวเมื่อ  $n$  ; เป็นจำนวนบิตของการแปลงค่าแรงดันที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงนี้จะขึ้นอยู่กับค่าแรงดันอ้างอิงที่ใช้

พลังงานและความเร็วของวิธีการนี้จะต้องอยู่ในความเป็นจริงที่ว่าตัวเปรียบเทียบทุกตัวจะได้รับแรงดันอินพุตในลักษณะขนานกันอย่างทันทีทันใด เพราะตัวเปรียบเทียบทุกตัวจะทำการเปลี่ยนอย่างทันทีทันใดเช่นกัน ตัวแปรที่ทำให้เกิดการจำกัดของระบบการแปลงแบบนี้ก็คือจำนวนตัวเปรียบเทียบที่ต้องใช้เมื่อมีจำนวนมากก็จะต้องการวัสดุซิลิกอน (Silicon) มากหรือแผ่นใหญ่ขึ้นนั่นเองจึงทำให้ราคาแพงขึ้นด้วย ดังรูปที่ 2.28 แสดงบล็อกไดอะแกรมของตัวแปลงแบบแฟลช



รูปที่ 2.28 Flash A/D Converter Block diagram

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปจะเห็นได้ว่าสัญญาณอินพุตจะถูกต่อให้กับตัวเปรียบเทียบทุกๆ ตัวส่วนขาอินพุตอีกขาหนึ่งของตัวเปรียบเทียบจะถูกต่อไปยังวงจรแบ่งแรงดันซึ่งมีลักษณะเป็น โครจข่ายแบบบันได โดยที่วงจรแบ่งแรงดันนี้จะได้รับแรงดันมาจากแรงดันอ้างอิง โดยที่ค่าแรงดันอ้างอิงนี้จะเป็นแรงดันเต็มสเกลของแรงดันอินพุตนั่นเอง วิธีการของตัวแปลงแบบแฟลช (Flash) ในการแบ่งค่าระดับแรงดันที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงนั้นง่ายมาก คือเมื่อขอบขาขึ้นของสัญญาณนาฬิกาถูกป้อนเข้ามาตัวเปรียบเทียบก็จะให้ค่าเอาต์พุตที่เป็น “0” หรือ “1” อย่างรวดเร็วโดยจะขึ้นอยู่กับแรงดันสัญญาณอินพุตว่ามากหรือน้อยกว่าแรงดันเปรียบเทียบของดั่งเปรียบเทียบที่ได้รับจาก โครจข่ายแบ่งแรงดันแบบบันไดนั่นเอง คือค่าเราให้แรงดันสัญญาณอินพุตน้อยกว่าตัวเปรียบเทียบก็จะให้เอาต์พุตเป็น “0” ถ้ามมากกว่าก็จะให้ค่าเอาต์พุตเป็น “1” ค่าที่ได้จากตัวเปรียบเทียบทุกๆ ตัวนี้จะถูกเปลี่ยนไปเป็นเลขฐานสองโดยโครจข่ายการถอดรหัส (Decoder network)

สรุปตัวแปลงสัญญาณแบบแฟลช (Flash) หรือการเปรียบเทียบ (Comparator) นี้จะให้ค่าในการแปลงในทุกๆเวลาที่ได้รับสัญญาณนาฬิกา ถึงแม้ว่ามันจะต้องการตัวเปรียบเทียบถึง  $2^n - 1$  ตัวก็ตามสิ่งสำคัญที่จะต้องจดจำก็คือในการเพิ่มจำนวนบิตของตัวแปลงขึ้น 1 บิตนั้นจำนวนของตัวเปรียบเทียบที่จะต้องห้ำจะเพิ่มขึ้นอีก 2 เท่า ดังตัวอย่างเช่น

ตัวแปลงขนาด 6 บิต ต้องการตัวเปรียบเทียบ  $2^6 - 1 = 63$

ตัวแปลงขนาด 7 บิต ต้องการตัวเปรียบเทียบ  $2^7 - 1 = 127$

ตัวแปลงขนาด 8 บิต ต้องการตัวเปรียบเทียบ  $2^8 - 1 = 256$

ซึ่งในขณะนี้จะมึขนาดตั้งแต่ 4 บิต ที่สัญญาณนาฬิกา 50 MHz - 100MHz จนถึง 6 บิต ที่สัญญาณนาฬิกา 100MHz ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลชนิดนี้จะสร้างขึ้นมาจากอุปกรณ์ไบโพลาร์ (Bipolar)

#### 2.5.2.5 ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลแบบการนับ (Counting A/D Converter)

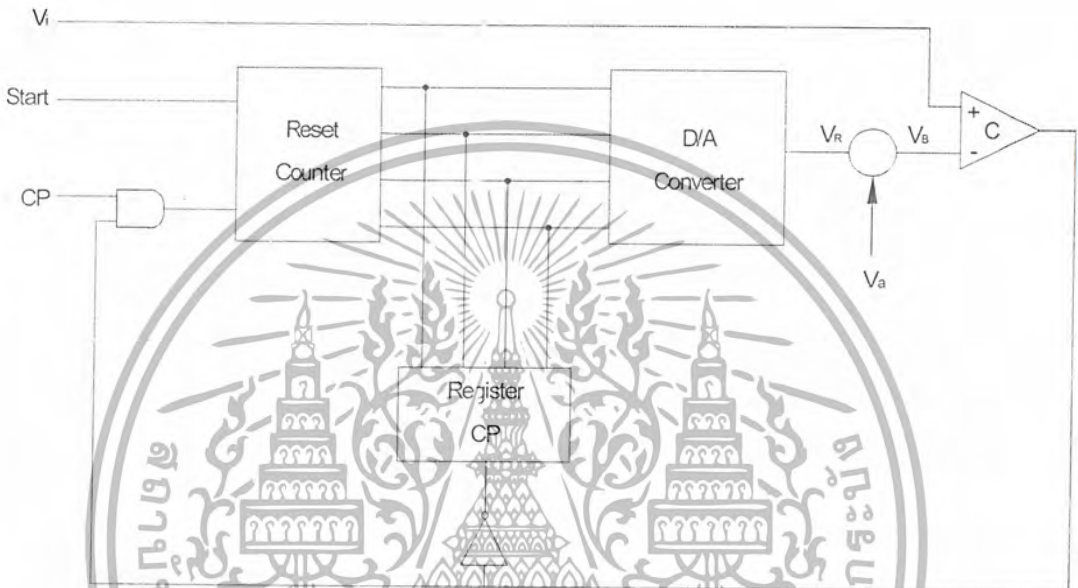
เป็นตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลอีกแบบหนึ่งดังที่แสดงในรูปที่ 2.29 หลักการทำงานเบื้องต้นเป็นดังนี้คือ ขณะเริ่มแรกนั้นเราไม่ต้องสนใจค่า  $V_u$  ซึ่งสัญญาณนาฬิกาจะถูกป้อนเข้าสู่แอนด์เกต (AND Gate) เอาต์พุตของตัวนับ (Counter's output) จะถูกต่อไปยังตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาล็อก (D/A Converter) ซึ่งจะมีค่าแรงดันเอาต์พุตเป็นสัดส่วน โดยตรงกับค่า นับของตัวนับจำนวนสัญญาณอินพุต  $V_i$  และเอาต์พุตของตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาล็อกจะถูกต่อไปยังวงจรเปรียบเทียบดังแสดงในรูป เมื่อสัญญาณเอาต์พุตจากตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาล็อก (D/A Converter) มีค่ามากกว่าค่าสัญญาณอินพุต  $V_i$  ค่าแรงดันเอาต์พุตของตัวเปรียบเทียบ (Comparator) ก็จะเปลี่ยนจากสภาวะลอจิก “1” เป็นลอจิก “0” นั่นคือลอจิก “0” จากตัว

เปรียบเทียบจะถูกป้อนเป็นอินพุตให้กับแอนด์เกต (AND gate) ทำให้ค่าเอาต์พุตของแอนด์เกตเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั่นคือสัญญาณนาฬิกาจะถูกรับไปให้กับตัวนับตัวนับก็จะรีเซ็ต(reset) ค่าเดิมหรือทำให้ค่า เอาท์พุทของตัวนับมีค่าเป็น “0” นั่นเองแล้วก็จะเริ่มกระบวนการแปลงค่าที่อธิบายมาข้างต้นอีก

ค่าแรงดัน  $V_o$  ที่เพิ่มเข้ามาดังแสดงในรูปนั้นก็เพื่อลดค่าความผิดพลาดของระดับสัญญาณ (Quantization error) ของวงจร  $V_o$  จะเป็นแรงดันคงที่ที่มีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของแรงดันเอาท์พุทที่เปลี่ยนแปลงของ ตัวแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อกเนื่องจากการเปลี่ยนไปของบิตที่มีนัยสำคัญน้อยที่สุด (Least significant bit) ของตัวนับ



รูปที่ 2.29 A Counting A/D Converter

ค่าแรงดัน  $V_R$  คือ

$$V_R = \frac{\beta \cdot V_R}{16} \quad (9)$$

เมื่อ  $\beta$  แสดงถึงค่าที่ตั้งอยู่บนหลักสิบของเอาท์พุทฐานสองของตัวนับ หลังจากนั้นเราก็จะสามารถหาค่าของ  $V_R = 0, 1, 2, \dots, 16$

สมมติให้  $V_a = 0$  และ  $V_i$  มีค่ามากกว่า  $V_R/16$  เพียงเล็กน้อย ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลจะแสดงค่าเอาท์พุทของ  $2V_R/16$  เนื่องจากตัวเปรียบเทียบ (Comparator) จะไม่เปลี่ยนค่าจนกว่า  $V_i < V_R$  ดังนั้นจะให้ค่าความผิดพลาดสูงสุดคือ

$$\frac{2V_R}{16} - \frac{V_R}{16} = \frac{V_R}{16} \quad (10)$$

ตอนนี้ถ้าเราสมมติให้  $V_a = V_R / 32$  (ครึ่งหนึ่งของ  $V_R / 16$ ) เพิ่มเข้าไปในวงจรค่าแรงดัน  $V_B$

จะมีค่าเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{V_R}{32}, \frac{3V_R}{32}, \dots, \frac{31V_R}{32} \quad (11)$$

อย่างไรก็ตามเอาต์พุตของรีจิสเตอร์ (Register) จะไม่แสดงค่าของ  $V_n$  นี้ ตอนนี้ถ้าสมมติให้มีค่ามากกว่า  $V_R/16$  เพียงเล็กน้อยอีก ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (A/D Converter) จะแสดงค่าแรงดันของ  $V_R/16$  ซึ่งเป็นค่าความผิดพลาด โดยทั่วไป  $V_n$  จะเป็นครึ่งหนึ่งของค่าความผิดพลาดสูงสุด

จากรูปที่ 2.29 จะถูกทำให้เป็นศูนย์สำหรับการวัดในแต่ละครั้งดังนั้นถ้าค่าของ  $V_i$  มีค่ามาก นั่นคือจะต้องใช้จำนวนสัญญาณนาฬิกามากกว่าจะได้ผลการแปลง โดยปกติแล้ว  $V_i$  จะเป็นสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาดังนั้นความเร็วในการสุ่มค่าสัญญาณอินพุต  $V_i$  จะถูกจัดโดยความเร็วในการแปลงของตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (A/D Converter) สัญญาณโดยส่วนมากแล้วจะมีการเปลี่ยนแปลงช้า ดังนั้นเมื่อการสุ่มหนึ่งครั้งสิ้นสุดลงก็จะรอการสุ่มค่าครั้งต่อไป ด้วยเหตุนี้มันจึงสูญเสียเวลาไปโดยเปล่าประโยชน์จากการลดค่า  $V_R$  ไปยังค่า 0 และนับกลับไปยังค่าระดับค่าระดับสัญญาณที่สุ่มค่ามา เพื่อเพิ่มความเร็วในการทำงาน จะทำได้โดยการปรับปรุงวงจรตัวนับให้สามารถนับได้ทั้งแบบนับขึ้นและนับลง โดยที่ทั้งหมดการนับจะถูกควบคุมโดยค่าเอาต์พุตของตัวเปรียบเทียบเมื่อ  $V_i < V_R$  ตัวนับจะนับลง ในทำนองเดียวกันเมื่อค่า  $V_i > V_R$  ตัวนับจะนับขึ้น ซึ่งจะไม่มีการรีเซ็ต ในกรณีนี้ ค่าเอาต์พุตของตัวนับจะได้จากการสุ่มค่าตัวอย่างเป็นประจำเพื่อนำค่าที่ได้ไปแสดงผลเป็นค่าดิจิทัล

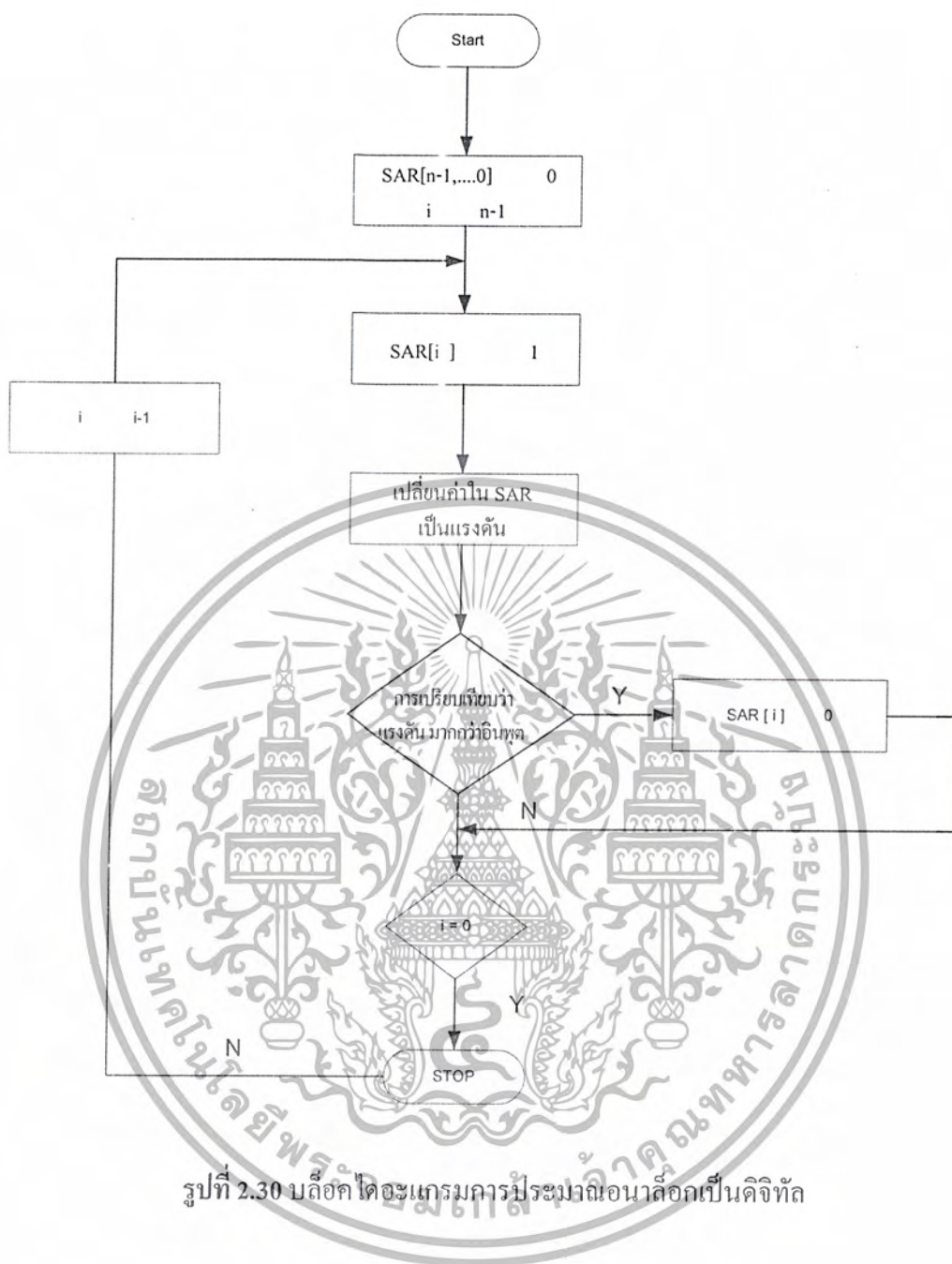
สมมติให้  $V_i$  มีค่าคงที่ หลังจากนั้น  $V_R$  ก็จะเพิ่มขึ้น  $V_R > V_i$  หลังจากนั้นทิศทางการนับก็จะกลับกันและค่า  $V_R$  ก็จะลดลงขึ้นหนึ่งตอนนี้  $V_i > V_R$  และทิศทางการนับก็จะกลับกันอีกครั้งหนึ่งซึ่งจะทำให้ค่าเอาต์พุตที่ได้แกว่งอยู่รอบๆค่าสุดท้าย หรือค่า  $V_i$  นั้นเอง การแกว่งนี้จะมีค่าเท่ากับค่าบิตที่มีนัยสำคัญน้อยที่สุด (Least significant bit) ซึ่งสามารถตัดทิ้งหรือไม่สนใจก็ได้

ตอนนี้ถ้าสมมติให้  $V_i$  เปลี่ยนเพียงเล็กน้อย ค่าเริ่มต้นของ  $V_R$  ก็จะใกล้เคียง  $V_i$  มาก ถ้าค่า  $V_R$  มีค่าเป็นศูนย์ดังนั้นจึงเป็นการเพิ่มความเร็วในการทำงาน ซึ่งตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (A/D Converter) ชนิดนี้มีชื่อเรียกว่าแทรคกิ้ง คอนเวอร์เตอร์ (Tracking Converter) หรือ เซอร์โวคอนเวอร์เตอร์ (Servo Converter)

### 2.5.3 การเปรียบเทียบความเร็วในการแปลงของตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล(Comparison of A/D Converter Speed)

จากตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลทุกชนิดที่อธิบายมา ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบเปรียบเทียบ หรือแฟลช (Comparator or Flash A/D Converter) จะมีความเร็วในการแปลงสูงที่สุดแต่มันต้องการอุปกรณ์รบกวนข้างมากและมีตัวเปรียบเทียบมาก ส่วนตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบสุ่มค่า (Successive – approximation A/D Converter) จะมีความเร็วในการแปลงค่าน้อยกว่าแต่อย่างไรก็ตามมันต้องการอุปกรณ์รบกวนข้างน้อยกว่า ส่วนตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบการนับ (Counting A/D Converter) จะมีความเร็วในการแปลงค่าต่ำที่สุด แต่อย่างไรก็ตามเรามักจะใช้ตัวแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบความลาดเอียงคู่ (Dual – Slope A/D Converter) แทนตัวแปลงแบบการนับ เนื่องจากว่ามีคุณสมบัติที่ดีกว่าและใช้งานอย่างกว้างขวางในดิจิทัล โวลท์มิเตอร์ (Digital Voltmeters) ซึ่งในการประยุกต์ใช้งานแบบนี้ จะไม่ต้องการความเร็วในการแปลงค่าสูงมากนัก

จะเห็นว่าโครงสร้างภายในประกอบด้วยรีจิสเตอร์เก็บข้อมูล SAR วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณอนาล็อกและออปแอมป์สำหรับเปรียบเทียบสัญญาณ วิธีนี้การแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด  $n$  บิต จะใช้เวลาในการทำงาน  $n$  ขั้นตอน เมื่อสัญญาณอนาล็อกที่เข้ามาทางอินพุตเริ่มแรกจะให้ค่าในรีจิสเตอร์ SAR เป็นลอจิก “0” ทุกบิต ต่อมาให้บิตสูงสุดเป็นลอจิก “1” (1000 0000) ซึ่งเป็นการเริ่มประมาณค่าและส่งค่านี้แปลงเป็นสัญญาณอนาล็อกแล้วนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณที่เข้ามาถ้าค่าที่ประมาณนี้มากกว่าสัญญาณอนาล็อกที่เข้ามาก็จะให้บิตสูงสุดเป็นลอจิก “0” แต่ถ้าค่าที่ประมาณนี้มีค่าน้อยกว่าสัญญาณที่เข้ามาก็จะให้บิตสูงสุดนี้เป็นลอจิก “1” ต่อไป ต่อมาเมื่อมีสัญญาณนาฬิกาเข้าไปอีกและทำเช่นนี้ซ้ำ ๆ จนประมาณค่าได้ทุกบิตคงโคจรแอมป์ในรูป สำหรับความเร็วในการแปลงสัญญาณแบบนี้จะขึ้นอยู่กับความเร็วของสัญญาณนาฬิกาที่ป้อนให้กับวงจรด้วย



รูปที่ 2.30 บล็อกไดอะแกรมการประมวลผลอนาล็อกเป็นดิจิทัล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทที่ 3

## หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการออกแบบ

### 3.1 กล่าวนำ

การควบคุมก้านสูบ โดยใช้หลักการเหนี่ยวนำ มีส่วนประกอบหลักๆหลายส่วนทั้งส่วนของฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ส่วนฮาร์ดแวร์จะ เป็นบล็อกรการทำงานและออกแบบเป็นวงจรการทำงาน สำหรับส่วนของซอฟต์แวร์จะแบ่งเป็นบล็อกรการทำงานของแต่ละส่วน ซึ่งนำมาใช้ควบคุมการทำงาน ของฮาร์ดแวร์ มีส่วนประกอบดังนี้

### 3.2 การออกแบบวงจร



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงการทำงานของวงจร

#### 3.2.1 หลักการทำงานของวงจร

จากบล็อกไดอะแกรมจะเห็นได้ว่า เมื่อเราทำการกด Key Ped และกด Enter เป็นการป้อนค่ากำหนดระยะทางที่ต้องการให้ก้านสูบเคลื่อนที่ ซึ่ง MCS 51 จะทำการรับค่าไปเรื่อยอย่างต่อเนื่อง และในขณะเดียวกัน เซนเซอร์แบบอินดักทีฟนี้ก็ทำการตรวจจับค่าไปเรื่อยอย่างต่อเนื่อง และจะส่งค่าเข้าไปยัง A/D เพื่อแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็น สัญญาณดิจิตอลส่งเข้า MCS 51 ก็จะมีการเปรียบเทียบค่าที่รับเข้ามาจากเซนเซอร์ กับค่าที่ป้อนมาจาก Key Ped ถ้าไม่ตรงกันก้านสูบก็จะเคลื่อนที่ต่อไป แต่ถ้าทั้งสองค่านี้ตรงกันหรือเท่ากันเมื่อไหร่ MCS 51 จะทำการสั่งให้ Relay ทำการตัด Solinoil Valve ให้ (Opencircuit) ทำให้ก้านสูบหยุดการเคลื่อนที่ และส่งไปแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 โปรแกรมการทำงานทั้งหมด

ในส่วนของการออกแบบซอฟต์แวร์นั้น ก่อนอื่นต้องศึกษาหลักการการทำงานของฮาร์ดแวร์ เพื่อที่จะเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของฮาร์ดแวร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และศึกษาการใช้คำสั่งที่จะใช้ในการควบคุมอุปกรณ์ ศึกษาการทำงาน ของอุปกรณ์ในระบบนิวแมติก โปรแกรมจะถูกแบ่งเป็นสามส่วนในแต่ละส่วน จะมีโปรแกรมประกอบไปด้วยฟังก์ชันการทำงานต่างๆดังแสดงตามวงจรรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การทำงานของโปรแกรม

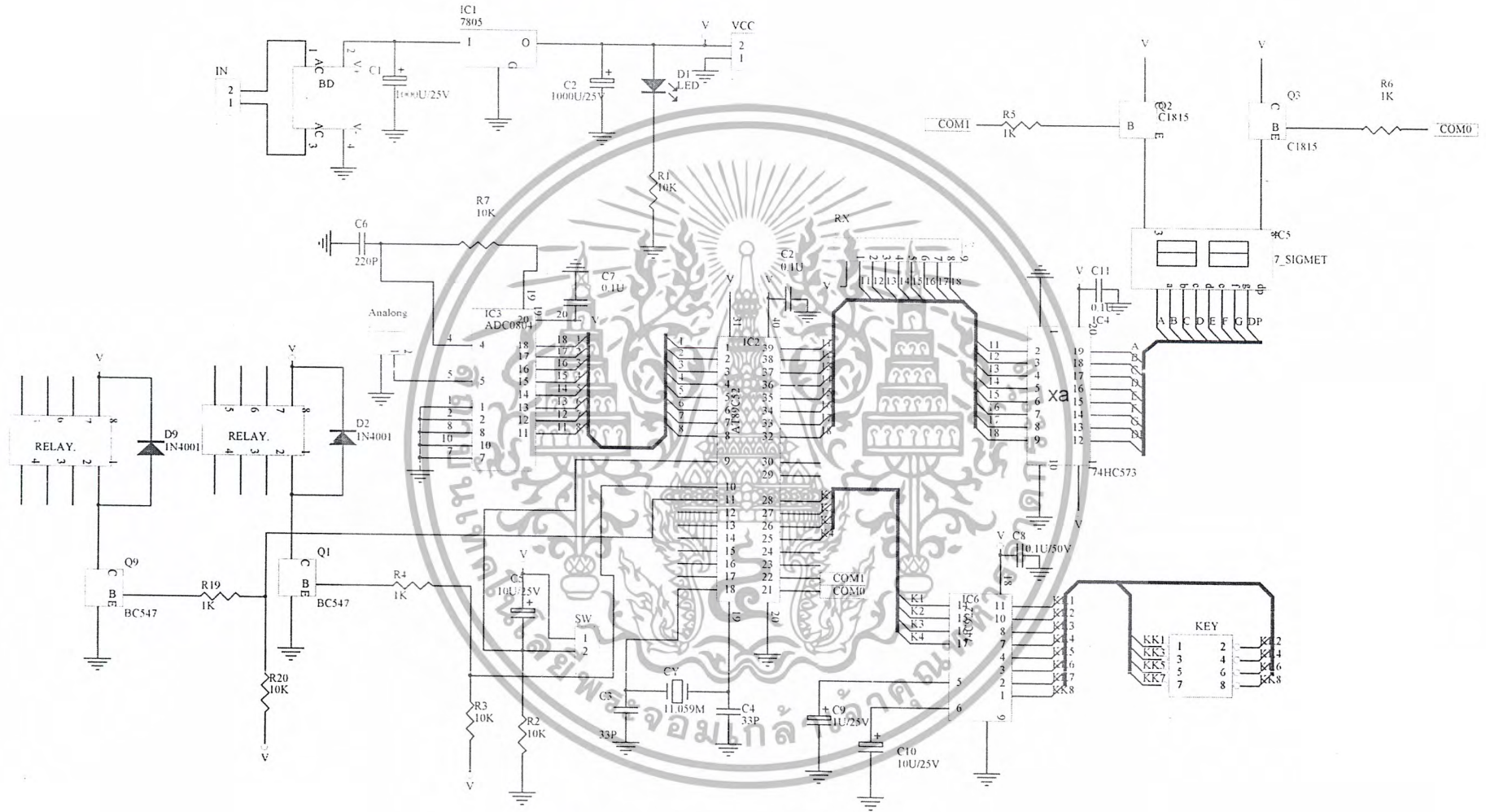
มีด้วยกัน 3 ส่วนหลักคือ ส่วนรับค่าซึ่งรับมาจาก Sensor อีกส่วนคือส่วนกำหนดค่าซึ่งรับมาจาก Switch Key-Matrix

ส่วนแรกจะทำงาน โดยรับค่าสัญญาณอนาล็อกจาก Sensor มาเข้า IC A DC 0804 เพื่อแปลงสัญญาณดิจิทัลเข้าสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ โปรแกรมจะแปลงค่าสัญญาณดิจิทัลเป็นแรงดัน 0-5 โวลต์ เก็บไว้เพื่อเปรียบเทียบกับส่วนกำหนดค่า โดยค่าที่รับมาจะเปลี่ยนแปลงตามระยะทางที่ Sensor อ่านค่าเข้ามาได้ โดยค่าที่รับมาเท่ากับ 0-5 โวลต์

ส่วนที่สองจะทำการวนลูปรับค่าที่มาจาก Switch Key-Matrix ไปเรื่อยๆ โดยค่าที่รับมา จะรับค่าตัวเลข 0-9 เท่านั้น เมื่อรับค่าเข้ามาแล้วจะรอจนกว่าจะกดปุ่ม Enter เพื่อนำค่าจากตัวเลขที่กดนำมาเปรียบเทียบกับส่วนที่รับค่ามาจาก Sensor เมื่อค่าที่รับมาจาก Sensor ไม่เท่ากับค่าที่รับมาจาก Key ก็จะทำให้ Output เป็น 1 เพื่อให้ Solinoivalve ทำงาน เพื่อให้กระบอกสูบเคลื่อนที่ต่อไป แต่เมื่อค่าที่รับมาจาก Sensor มีค่าเท่ากับ Key Switch แล้วก็จะให้ Output เป็น 0 เพื่อสั่งให้ Solinoivalve หยุดทำงาน และกระบอกสูบก็หยุดเคลื่อนที่ ก็จะไ้ระยะตามต้องการ

ส่วนที่สามหลังจากที่ได้ระยะของก้านสูบที่ต้องการ เมื่อต้องการ Key ค่าใหม่เข้าไปคือ ต้องการให้ก้านสูบเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งใหม่ จะต้องทำการกดปุ่ม ESC เพื่อให้ก้านสูบเคลื่อนที่ กลับเข้ามายังตำแหน่ง 0 ก่อน ก่อนที่จะให้ก้านสูบเคลื่อนที่ ไปยังตำแหน่งใหม่ โดยเมื่อกดปุ่ม ESC ก็จะทำให้ Relay อีกตัว (ตัวที่ทำให้ก้านสูบเคลื่อนที่กลับ) ทำงานหรือ ON สั่งให้ โซลินอยด์ตัวนี้ ทำงานเปิดลม ขณะนี้ Sensor ก็จะทำการเช็คอยู่ตลอดเวลาว่าเท่ากับ 0 หรือตำแหน่ง 0 หรือไม่ ถ้าเท่าก็จะกลับไปยัง Main เพื่อที่รับค่าสั่งใหม่ต่อไป

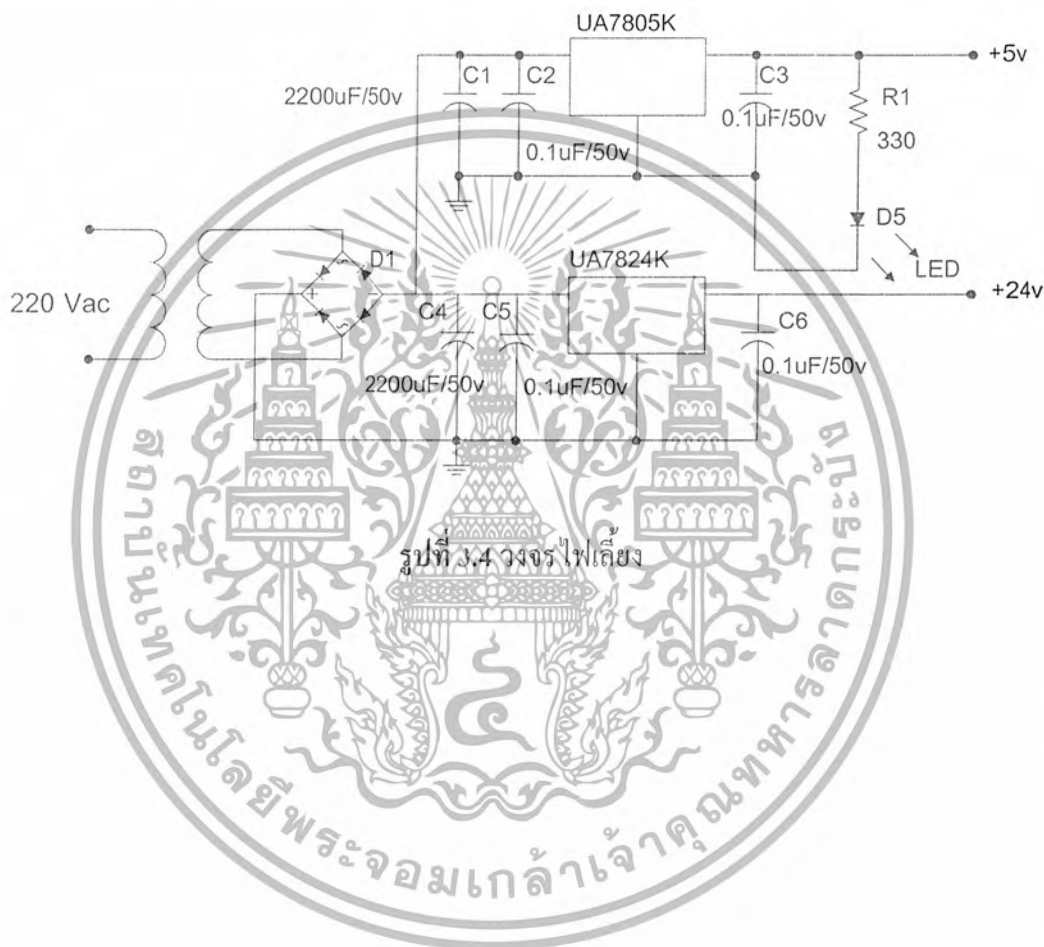




รูปที่ 3.3 แสดงวงจรรวมทั้งหมดของโครงการ

### 3.2.3 วงจรไฟเลี้ยง

แบ่งได้ 2 วงจร คือวงจรไฟเลี้ยงที่จ่ายให้กับวงจรไฟเลี้ยง เพื่อจ่ายให้กับรีเลย์ เพื่อขับให้โซลินอยด์ของวาล์วทำงาน วงจรทำหน้าที่แปลงแรงดันให้เป็น 5 โวลต์ และ 24 โวลต์ โดยใช้ ไอซีเบอร์ 7805 และ 7824 โดยมีไดโอดแปลงจาก AC มาเป็น DC แบบฟูลเวฟ ตัวเก็บประจุ ทำหน้าที่กรองกระแสให้คงที่ และทำการต่อสวิตช์ เพื่อทำหน้าที่ตัดและต่อวงจรทั้งหมด โดยแสดงผลด้วย LED สีเขียว ซึ่งต่ออนุกรมกับตัวต้านทาน เพื่อทำหน้าที่จำกัดกระแสให้กับ LED ดังรูปที่ 3.3



## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 กล่าวนำ

จากการที่ได้ทำการออกแบบในส่วนของฮาร์ดแวร์ และได้เขียน โปรแกรมขึ้นมารองรับการทำงานทั้งหมดตามที่ต้องการ จึงได้นำส่วนต่างๆ มารวมกันและทำการทดลอง และ วิเคราะห์ตามหลักการความเป็นจริงว่าผลที่ได้น่าจะเป็นไปในแนวทางที่คิดเอาไว้หรือไม่

#### ลำดับขั้นการทดลอง

1. ทำการต่อชุดระบบนิวแมติกคังรูปวงจรการทดลอง
2. ทำการต่อชุดฮาร์ดแวร์(ไมโครคอนโทรลเลอร์)ร่วมกับระบบนิวแมติก
3. ทำการจ่ายลมให้กับชุดระบบอกสูบลมและจ่ายไฟให้กับชุดฮาร์ดแวร์
4. ทำการทดลองโดยการป้อนค่ากำหนดระยะ (กดที่ Key Pad)
5. ทำการบันทึกผลการทดลองที่ความดัน 1 บาร์ และ 5 บาร์
6. ทำการทดลองใหม่โดยเลือกที่ความดัน 2 บาร์ และ 3 บาร์ ทำการบันทึกผลการทดลองใหม่ โดยการปรับไฟลคอนโทรลใหม่ให้เหมาะสมกับการเคลื่อนที่ของก้านสูบโดยให้เคลื่อนที่อย่างช้าๆ

#### 7. บันทึกผลการทดลอง

หมายเหตุ ในการที่จะทำให้อากาศเคลื่อนที่ออกไปในตำแหน่งใหม่ต่อไปต้องกดปุ่ม Esc ก่อนทุกครั้งเพื่อให้อากาศเคลื่อนที่กลับแล้วจึงทำการป้อนหรือกำหนดค่าใหม่

#### อุปกรณ์ของชุดทดลอง

#### ประกอบด้วย

1. Inductive Sensor รุ่น EX-210 (KEYENCE)
2. โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid Valve) แบบ 3/2 Normally Close Reset by Spring 2 ตัว
3. ระบายอกสูบลมทำงานสองทาง Stroke 5 mm
4. วาล์วควบคุมอัตราการไหลทางเดียว (One-Way Flow Control Valve) 2 ชุด
5. เครื่องอัดลม (Compressor)
6. ตัวปรับความดัน (Pressure regulator) ใช้ระหว่าง 2-4 บาร์
7. ข้อต่อ 3 ทาง 1 ตัว
8. ข้อต่อ 2 ทาง 2 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ท่อไบนลอน
10. เวย์เนอร์เนียวัคระยะ
11. ชุดโต๊ะทดลองนิวมเมติก
12. ชุดวงจรการทดลองของโครงการงาน (ฮาร์ดแวร์)
13. ต่อดวงจรการทดลองคังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 แสดงแผนผังการต่อวงจร

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดลองการวัดระยะของการเคลื่อนที่เข้าและออกของก้านสูบ

ความดัน	ระยะป้อน (mm)		ระยะวัด (mm)		ค่าความผิดพลาด	
	ยึด	หด	ยึด	หด	ยึด	หด
1 บาร์	1	ESC	1.5	1.3	0.5	0.2
	2		1.6	1.4	0.6	0.2
	3		2.8	2.5	0.8	0.3
	4		4.4	4.2	0.4	0.2
	5		5.5	5.0	0.5	0.5
2 บาร์	1	ESC	1.8	1.4	0.8	0.4
	2		2.8	2.0	0.8	0.8
	3		3.2	3.0	0.2	0.2
	4		4.8	4.0	0.8	0.8
	5		5.8	5.4	0.8	0.4
3 บาร์	1	ESC	1.8	1.0	0.8	0.2
	2		3.0	2.4	1.0	0.6
	3		3.8	3.4	0.8	0.4
	4		4.8	4.0	0.8	0.8
	5		5.8	5.4	0.8	0.4
4 บาร์	1	ESC	1.6	1.3	0.6	1.3
	2		2.8	2.0	0.8	0.8
	3		3.8	3.0	0.8	0.8
	4		5.0	4.5	1.0	0.5
	5		5.8	5.0	0.8	0.8
5 บาร์	1	ESC	2	1.8	1	0.2
	2		4	3.5	2	0.5
	3		4.8	4.0	1.8	0.8
	4		5.0	4.8	1.0	0.2
	5		5.8	5.4	0.8	0.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลือกที่ความดัน 2 และ 3 bar และทำการปรับโฟลคอนโทรลใหม่ให้เหมาะสม  
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองที่ 2 บาร์ โดยทำการปรับโฟลคอนโทรลใหม่

ความดัน	ระยะป้อน (mm)		ระยะวัด (mm)		ค่าความผิดพลาด	
	ยึด	หค	ยึด	หค	ยึด	หค
2 บาร์	1	ESC	1.2	1.2	0.2	0
	2		2.2	2.2	0.2	0
	3		3.3	3.3	0.3	0
	4		4.2	4.2	0.2	0
	5		5.2	5.2	0.2	0

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองที่ 3 บาร์ โดยทำการปรับโฟลคอนโทรลใหม่

ความดัน	ระยะป้อน (mm)		ระยะวัด (mm)		ค่าความผิดพลาด	
	ยึด	หค	ยึด	หค	ยึด	หค
3 บาร์	1	ESC	1.1	1.1	0.1	0
	2		2.2	2.2	0.2	0
	3		3.2	3.2	0.2	0
	4		4.2	4.2	0.2	0
	5		5.2	5.2	0.2	0

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองที่ 0.5 บาร์ โดยทำการปรับโฟลคอนโทรลใหม่ครั้งที่ 1

ความดัน	ระยะป้อน		แรงดันจาก				ค่าความผิดพลาด			
	(mm)		Sensor		วัด(mm)		Sensor		พลาด	
	ยึด	หค	VOLT	HEX	ยึด	หค	VOLT	HEX	ยึด	หค
0.5 บาร์	1	ESC	0.894	2F	0.95	0	0.817	2F	0.05	0
	2		1.393	49	1.9	0	1.346	47	0.05	0
	3		2.186	73	2.90	0	2.159	7F	0.01	0
	4		2.940	99	4	0	2.920	9F	0	0
	5		3.539	BF	4.95	0	3.579	BB	0.05	0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองที่ 0.5 บาร์ โดยทำการปรับโฟลคอนโทรลใหม่ครั้งที่ 2

ความดัน	ระยะป้อน (mm)		แรงดันจาก Sensor		ระยะ วัด(mm)		แรงดันจาก Sensor		ค่าความผิดพลาด	
	ยึด	หัด	VOLT	HEX	ยึด	หัด	VOLT	HEX	ยึด	หัด
0.5 บาร์	1	ESC	0.89	2F	0.95	0	0.84	2F	0.05	0
	2		1.39	49	1.90	0	1.30	47	0.10	0
	3		2.18	73	3.00	0	2.19	7F	0.00	0
	4		2.94	99	3.80	0	2.83	97	0.20	0
	5		3.53	BF	4.90	0	3.63	BD	0.10	0



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทสรุป ปัญหาและแนวทางการแก้ไข

### 5.1 บทสรุป

จะเห็นว่าจากการทดลองที่ตั้งความดัน 1 bar, 2 bar, 3 bar, 4bar และ 5 bar จะมีค่าคลาดเคลื่อนไปจากค่าที่เรากำหนดระยะไว้มาก เนื่องจากในแต่ละค่าความดันต่างๆ เราไม่ได้ปรับให้ โฟลตอลโทรลวาล์วเหมาะสมคั่นที่จ่ายให้กับลูกสูบ จึงทำให้เกิดความคลาดเคลื่อน แต่เมื่อเราเลือกความดันที่ 2 bar หรือ 3 bar และมาทำการปรับ โฟลตอลโทรลที่ 2 bar ก็จะเป็นค่าหนึ่ง และที่ 3 bar ก็จะต้องปรับอีกค่าหนึ่งจึงทำให้ค่าที่ได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้นและในส่วนของ โปรแกรมก็มีผล เพราะว่าเมื่อเราสั่งให้ก้านสูบหยุดที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง นั้นจะมีการเฉื่อยของลมที่อยู่ในระบบ มิลลิเมตร จึงแก้ไขในส่วนของโปรแกรม คือจะทำการแก้โปรแกรมตั้งให้คอนโทรลเลอร์ตัดโซลินอยด์วาล์วก่อนเล็กน้อย เมื่อบวกกับตัวแรงเฉื่อยก็จะได้ระยะที่ต้องการพอดี

### 5.2 ปัญหาในการทดลองและแนวทางการแก้ไข

1. เนื่องจากตัว Inductive Sensor นี้มีระยะในการตรวจจับสั้นมากๆ เป็นมิลลิเมตร ซึ่งเป็นผลให้ค่าผิดพลาดได้มาก

แนวทางแก้ไข ทำการต่อโฟลตอลโทรลวาล์วทั้งด้านเข้าและด้านออก เพื่อลดความเร็วของความดันให้น้อยลงทำให้ก้านสูบเคลื่อนที่ได้ช้า ซึ่งจะช่วยลดค่าผิดพลาดได้โซลินอยด์วาล์วได้

2. เนื่องจากการกำหนดค่าในโปรแกรมที่จะสั่งให้ก้านสูบหยุด ณ ระยะที่ต้องการกับส่วนของฮาร์ดแวร์ ชูคควบคุมก้านสูบโดยมีโซลินอยด์วาล์ว เมื่อ โปรแกรมทำการสั่งให้รีเลย์ตัดโซลินอยด์วาล์วให้หยุดทำงาน โซลินอยด์วาล์วหยุดทำงานแล้ว แต่ยังมีแรงเฉื่อยจากลมที่อยู่ในระบบทำให้ก้านสูบสามารถเคลื่อนที่ไปได้อีก ซึ่งทำให้เกิดค่าผิดพลาด

แนวทางแก้ไข ทำการแก้ไขในส่วนของโปรแกรม ให้โปรแกรมทำการเปรียบเทียบค่าที่ป้อนจาก Key Pad กับค่าที่รับมาจากเซนเซอร์ ให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการสั่งตัด โซลินอยด์ก่อนค่าจริงเล็กน้อย ซึ่งเมื่อรวมแรงเฉื่อยที่เหลือในระบบก็จะทำให้ก้านสูบหยุดตามระยะที่ต้องการ มีความผิดพลาดน้อยลงไปอีก

3. ในส่วนของ โปรแกรมคือ เมื่อเรากดค่าเพื่อกำหนดระยะที่ Key Pad แล้วแต่ยังไม่ได้กด Enter ค่าจะยังไม่แสดงที่ Display แต่เมื่อกด Enter ค่าจะแสดง และก้านสูบก็จะทำงานทันที ซึ่งทำให้ผู้กดไม่แน่ใจว่ากดค่าอะไรไป

แนวทางแก้ไข ในส่วนนี้ก็ทำการแก้ไขโปรแกรมใหม่ ให้ค่าที่กดโชว์ที่ Display ก่อนกด Enter แต่ถึงแม้ว่าเราไม่แก้โปรแกรม จะมีปุ่มเพื่อทำการรีเซทอยู่ ดังนั้นถ้าไม่แน่ใจ ก็ทำการรีเซท และทำการกดค่าใหม่ได้

4. โปรแกรมจะสั่งตัดระยะของก้านสูบ ณ ค่าที่ศูนย์พอดีไม่ได้ เพราะจะเกิดการผิดพลาดของโปรแกรม ถ้าทำการสั่งให้โปรแกรมตัดต่อที่ศูนย์พอดี หมายถึงก้านสูบเคลื่อนที่เข้ามายังตำแหน่งที่ศูนย์ โปรแกรมจะไม่ทำงาน

แนวทางแก้ไข ในส่วนนี้ก็ไม่มีผลกับการเคลื่อนที่เข้าของสูบมาหยุดตำแหน่งศูนย์มากนัก เพราะโปรแกรมจะสั่งตัดที่ค่าศูนย์กว่าๆ นิดหน่อย เมื่อรวมกับแรงเฉื่อยของก้านสูบที่มีลมอยู่ในระบบก็จะให้ก้านสูบเคลื่อนมาหยุดที่ตำแหน่งศูนย์พอดี

5. ห้องนิวแมติกมีการฟุ้งกระจายของน้ำมันนิวแมติก เมื่อสูดลมเข้าไป จะทำให้เสบบวมก และเจ็บคอ ทำให้เป็นหวัด

แนวทางแก้ไข ในการทดลองควรปิดเครื่องปรับอากาศ และเปิดประตูหน้าต่างให้หมดเพื่อให้อากาศถ่ายเท



## บรรณานุกรม

1. พรจิต ประทุมสุวรรณ .เครื่องมือวัดอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร: เรือนแก้วการพิมพ์, 2537.บทที่ 1.
2. ขวัญชัย สันทิพสมบุรณ์, ปานเพชร ชินินทร. กรุงเทพมหานคร: บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2545
3. ผศ. ชีรวัฒน์ ประกอบผล. การพัฒนาไมโครคอนโทรลเลอร์ด้วยภาษาซี. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท., 2545
4. Sedra, A.S. and Smith, K.C. Microelectronic Circuit . Philadelphia : Saunders College Publishing, 1991,Chapter 2.



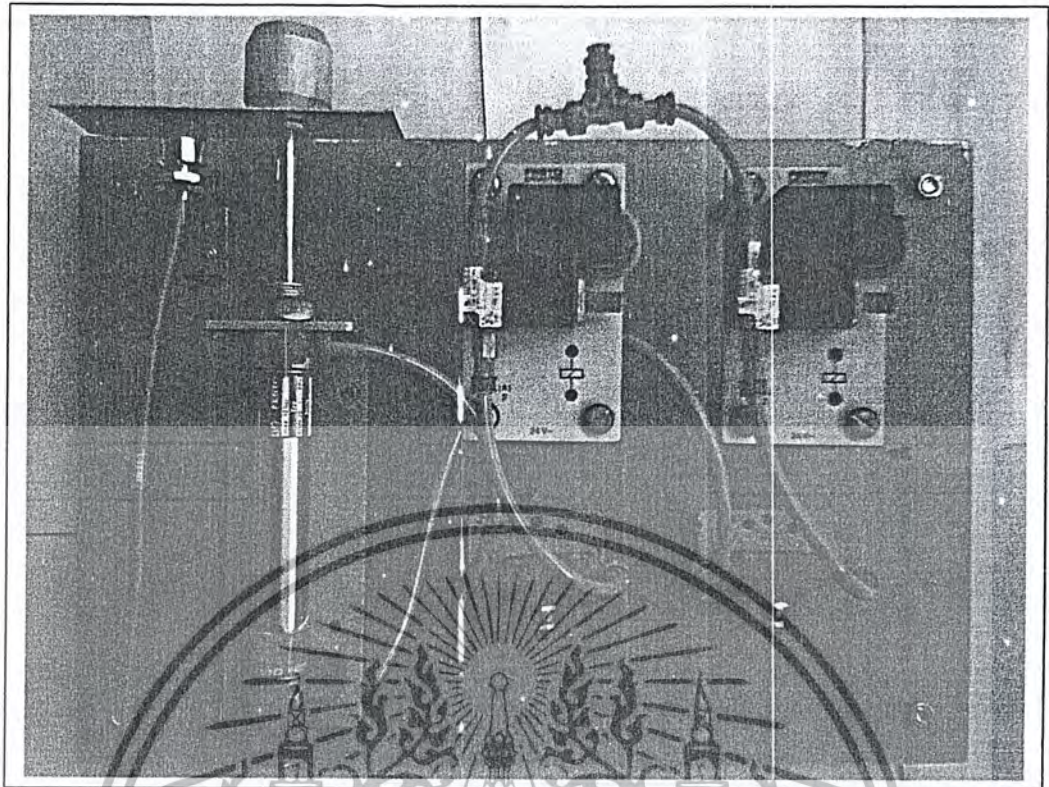
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



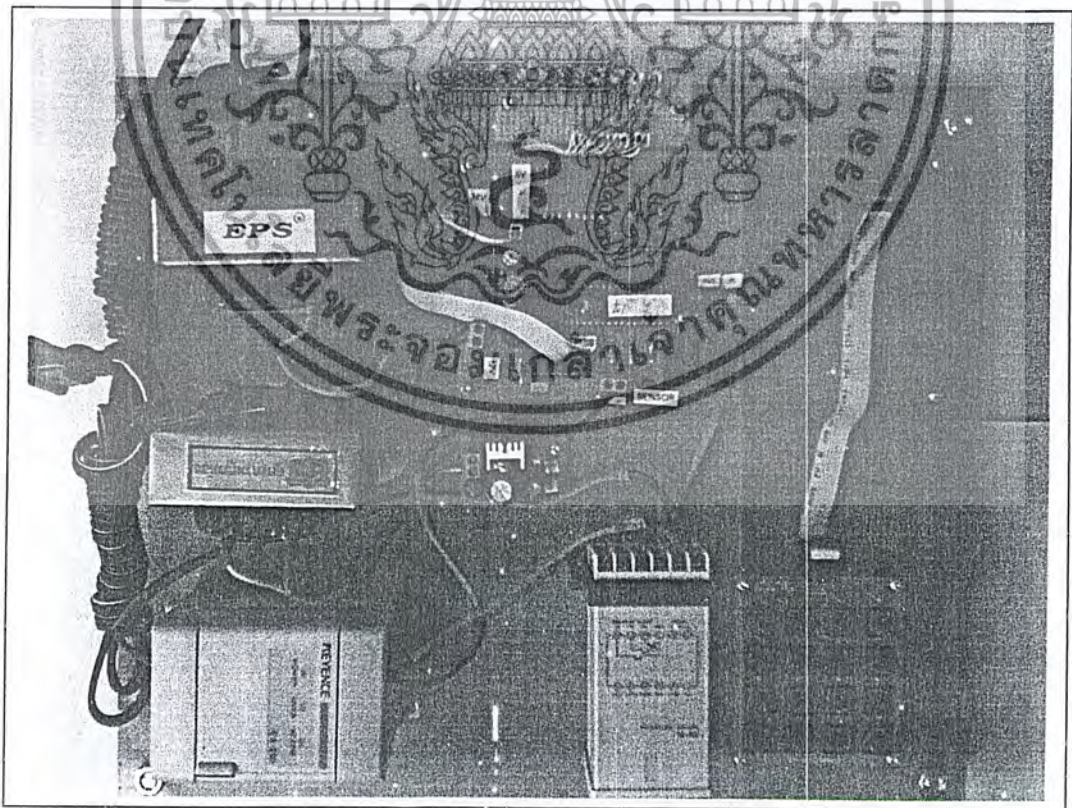
ภาคผนวก

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดงวงจรของระบบนิวเมติก



รูปแสดงชุดควบคุมการเคลื่อนที่ของลูกสูบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include <reg51.h>
#include <absacc.h>

#define ON      1
#define OFF    0
#define PRESS  0

sbit relay_out = P3^0;
sbit relay_in  = P3^7;
bit keypress;

unsigned char i,j;

/*Common Cathod*/
unsigned char seg[] = {0xC0,0xF9,0xA4,0xB0,0x99, /*0 1
2 3 4*/
0x92,0x82,0xF8,0x80,0x90,
/*5 6 7 8 9*/
0x88,0x83,0xC6,0xA1,0x86,
/*A B C D E*/
0x8E,0xC0,0x89,0xBF};
/*F 0 + - */

unsigned char col[] = {0x01,0x02,0x04,0x08};

/*
KEYBOARD */
unsigned char keycode[16] = {0x0F,0x1E,0x2F,0x3F, /* 0
1 2 3 */
0x4F,0x5F,0x6F,0x7F, /* 4 5 6 7
*/
0x8F,0x9F,0xAF,0xBF, /* 8 9 A B
*/
0xCF,0xDF,0xEF,0xFF}; /* C D E F
*/
/***** DELAY *****/

void delay(int count)
{
int x,y;
for(x=0;x<count;x++)
for(y=0;y<100;y++);
}
/***** DELAY for KEY *****/
void dmsec_k(char x)
{
char i;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

while(x)
{
    for (i=0;i<226;i++);
    x--;
}
}
/***** DISPLAY *****/
void Show_key(char num)
{
    P0 = seg[num];
    P2 = col[2];
    delay(1000);
}
/***** SCAN KEY *****/
unsigned char getkey()
{
    unsigned char j,x;

    x = P2;
    dmsec_k(1);
    if(x!=0xFF)
    {
        if(~keypress)
        {
            keypress = 1;
            for(j=0;j<=15;j++)
            if(x==keycode[j]) return(j);
            return(0xff);
        }
        /**if key**/
        return(0xff);
    }
    /**if**/
    keypress = 0;
    return(0xff);
}
/****get**/
/***** RECEIVE VALUE FROM SENSOR *****/
unsigned char read()
{
    int y,z;
    y=P1;
    if(y>0x32) /*1 voltage*/
    {
        if(y>0x65) /*2 voltage*/
        {
            if(y>0x98) /*3 voltage*/
            {
                if(y>0xCB) /*4 voltage*/
                {
                    if(y>0xFE) /*5

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        }/*fe*/
        else{
            z=4;}
            }/*cb*/
            else{
                z=3;}
            }/*98*/
            else{
                z=2;}
        }/*65*/
        else{
            z=1;}
    }/*32*/
    else{
        z=0;}
    return(z);
}/*read*/
/***** PROCESS KEY NUMBER *****/
unsigned int INPUT_NUM()
{
    //unsigned char x;
    unsigned char num;
    num = getkey();
    while(num>=10)
    {
        num = getkey();
    }
    return(num);
}
/****/
/***** PROCESS KEY ENTER&CLEAR *****/
unsigned int KEY_PRESS()
{
    unsigned char x;
    x = getkey();
    while((x<13)||x>14)
    {
        x = getkey();
    }
    return(x);
}

/***** MAIN PROGRAM *****/
void main(void)
{
    int e,ent,esc,num,value;
    relay_out = OFF;
    while(1)
    {
        num = INPUT_NUM();
        /*if(num<10)

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        Show_key(num);
        break;
    }
    Show_key(num);*/
    ent = KEY_PRESS();
    if(ent==13)
    {
        relay_out = ON;
        delay(1000);
        break;
    }
    if(ent==14)
    {
        Show_key(num);
        relay_out = ON;
        while(value != num)
        {
            value = read();
        }
        Show_key(num);
    }
}
}/*main*/

```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## MM54C922/MM74C922 16-Key Encoder MM54C923/MM74C923 20-Key Encoder

### General Description

These CMOS key encoders provide all the necessary logic to fully encode an array of SPST switches. The keyboard scan can be implemented by either an external clock or external capacitor. These encoders also have on-chip pull-up devices which permit switches with up to 50 k $\Omega$  on resistance to be used. No diodes in the switch array are needed to eliminate ghost switches. The internal debounce circuit needs only a single external capacitor and can be defeated by omitting the capacitor. A Data Available output goes to a high level when a valid keyboard entry has been made. The Data Available output returns to a low level when the entered key is released, even if another key is depressed. The Data Available will return high to indicate acceptance of the new key after a normal debounce period; this two-key roll-over is provided between any two switches.

An internal register remembers the last key pressed even after the key is released. The TRI-STATE<sup>®</sup> outputs provide for easy expansion and bus operation and are LPTTL compatible.

### Features

- 50 k $\Omega$  maximum switch on resistance
- On or off chip clock
- On-chip row pull-up devices
- 2 key roll-over
- Keyboard elimination with single capacitor
- Last key register at outputs
- TRI-STATE output LPTTL compatible
- Wide supply range
- Low power consumption

3V to 15V

### Connection Diagrams



TRI-STATE<sup>®</sup> is a registered trademark of National Semiconductor Corporation.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### Absolute Maximum Ratings (Note 1)

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

Voltage at Any Pin  $V_{CC} - 0.3V$  to  $V_{CC} + 0.3V$   
 Operating Temperature Range  
 MM54C922, MM54C923  $-55^{\circ}C$  to  $+125^{\circ}C$   
 MM74C922, MM74C923  $-40^{\circ}C$  to  $+65^{\circ}C$

Storage Temperature Range  $-65^{\circ}C$  to  $+150^{\circ}C$   
 Power Dissipation ( $P_D$ )  
 Dual In-Line 700 mW  
 Small Outline 500 mW  
 Operating  $V_{CC}$  Range 3V to 15V  
 $V_{CC}$  18V  
 Lead Temperature (Soldering, 10 seconds)  $260^{\circ}C$

### DC Electrical Characteristics Min/Max limits apply across temperature range unless otherwise specified

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
<b>CMOS TO CMOS</b>						
$V_{T+}$	Positive-Going Threshold Voltage at Osc and KBM Inputs	$V_{CC} = 5V, I_{IN} \geq 0.7 mA$ $V_{CC} = 10V, I_{IN} \geq 1.4 mA$ $V_{CC} = 15V, I_{IN} \geq 2.1 mA$	3.0 6.0 9.0	3.6 6.6 10	4.3 8.6 12.9	V V V
$V_{T-}$	Negative-Going Threshold Voltage at Osc and KBM Inputs	$V_{CC} = 5V, I_{IN} \geq 0.7 mA$ $V_{CC} = 10V, I_{IN} \geq 1.4 mA$ $V_{CC} = 15V, I_{IN} \geq 2.1 mA$	0.7 1.4 2.1	1.4 3.2 5	2.0 4.0 6.0	V V V
$V_{IN(1)}$	Logical "1" Input Voltage, Except Osc and KBM Inputs	$V_{CC} = 5V$ $V_{CC} = 10V$ $V_{CC} = 15V$	3.5 6.0 12.5	4.5 9 13.5		V V V
$V_{IN(0)}$	Logical "0" Input Voltage, Except Osc and KBM Inputs	$V_{CC} = 5V$ $V_{CC} = 10V$ $V_{CC} = 15V$		0.5 1 1.5	1.5 2 2.5	V V V
$I_{PD}$	Row Pull-Up Current at Y1, Y2, Y3, Y4 and Y5 Inputs	$V_{CC} = 5V, V_{IN} = 0.1 V_{CC}$ $V_{CC} = 10V$ $V_{CC} = 15V$		-2 -10 -22	-5 -20 -45	$\mu A$ $\mu A$ $\mu A$
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage	$V_{CC} = 5V, I_O = -10 \mu A$ $V_{CC} = 10V, I_O = -10 \mu A$ $V_{CC} = 15V, I_O = -10 \mu A$		4.5 9 13.5		V V V
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage	$V_{CC} = 5V, I_O = 10 \mu A$ $V_{CC} = 10V, I_O = 10 \mu A$ $V_{CC} = 15V, I_O = 10 \mu A$			0.5 1 1.5	V V V
$R_{ON}$	Column "ON" Resistance at X1, X2, X3 and X4 Outputs	$V_{CC} = 5V, V_O = 0.5V$ $V_{CC} = 10V, V_O = 1V$ $V_{CC} = 15V, V_O = 1.5V$		500 300 200	1400 700 500	$\Omega$ $\Omega$ $\Omega$
$I_{CC}$	Supply Current Osc at 0V, (one Y low)	$V_{CC} = 5V$ $V_{CC} = 10V$ $V_{CC} = 15V$		0.55 1.1 1.7	1.1 1.9 2.6	mA mA mA
$I_{IN(1)}$	Logical "1" Input Current at Output Enable	$V_{CC} = 15V, V_{IN} = 15V$		0.005	1.0	$\mu A$
$I_{IN(0)}$	Logical "0" Input Current at Output Enable	$V_{CC} = 15V, V_{IN} = 0V$	-1.0	-0.005		$\mu A$
<b>CMOS/LPTTL INTERFACE</b>						
$V_{IN(1)}$	Logical "1" Input Voltage, Except Osc and KBM Inputs	54C, $V_{CC} = 4.5V$ 74C, $V_{CC} = 4.75V$		$V_{CC} - 1.5$ $V_{CC} - 1.5$		V V
$V_{IN(0)}$	Logical "0" Input Voltage, Except Osc and KBM Inputs	54C, $V_{CC} = 4.5V$ 74C, $V_{CC} = 4.75V$			0.8 0.8	V V
$V_{OUT(1)}$	Logical "1" Output Voltage	54C, $V_{CC} = 4.5V$ $I_O = -360 \mu A$ 74C, $V_{CC} = 4.75V$ $I_O = -360 \mu A$	2.4 2.4			V V
$V_{OUT(0)}$	Logical "0" Output Voltage	54C, $V_{CC} = 4.5V$ $I_O = -360 \mu A$ 74C, $V_{CC} = 4.75V$ $I_O = -360 \mu A$			0.4 0.4	V V

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DC Electrical Characteristics

Min/Max limits apply across temperature range unless otherwise specified (Continued)

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
<b>OUTPUT DRIVE (See 54C/74C Family Characteristics Data Sheet) (Short Circuit Current)</b>						
$I_{SOURCE}$	Output Source Current (P-Channel)	$V_{CC} = 5V, V_{OUT} = 0V, T_A = 25^\circ C$	-1.75	-3.3		mA
$I_{SOURCE}$	Output Source Current (P-Channel)	$V_{CC} = 10V, V_{OUT} = 0V, T_A = 25^\circ C$	-8	-15		mA
$I_{SINK}$	Output Sink Current (N-Channel)	$V_{CC} = 5V, V_{OUT} = V_{CC}, T_A = 25^\circ C$	1.75	3.6		mA
$I_{SINK}$	Output Sink Current (N-Channel)	$V_{CC} = 10V, V_{OUT} = V_{CC}, T_A = 25^\circ C$	8	16		mA

## AC Electrical Characteristics\* $T_A = 25^\circ C, C_L = 50 pF$ , unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
$t_{pd0}, t_{pd1}$	Propagation Delay Time to Logical "0" or Logical "1" from D.A.	$C_L = 50 pF$ (Figure 1) $V_{CC} = 5V$ $V_{CC} = 10V$ $V_{CC} = 15V$		60 35 25	150 80 60	ns ns ns
$t_{0H}, t_{1H}$	Propagation Delay Time from Logical "0" or Logical "1" into High Impedance State	$R_L = 10k, C_L = 10 pF$ (Figure 2) $V_{CC} = 5V, R_L = 10k$ $V_{CC} = 10V, C_L = 10 pF$ $V_{CC} = 15V$		80 65 50	200 150 110	ns ns ns
$t_{00}, t_{H1}$	Propagation Delay Time from High Impedance State to a Logical "0" or Logical "1"	$R_L = 10k, C_L = 50 pF$ (Figure 2) $V_{CC} = 5V, R_L = 10k$ $V_{CC} = 10V, C_L = 50 pF$ $V_{CC} = 15V$		100 55 40	250 125 90	ns ns ns
$C_{IN}$	Input Capacitance	Any Input (Note 2)		5	7.5	pF
$C_{OUT}$	TRI-STATE Output Capacitance	Any Output (Note 2)		10		pF

\*AC Parameters are guaranteed by DC correlated testing.

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

Note 2: Capacitance is guaranteed by periodic testing.

## Switching Time Waveforms

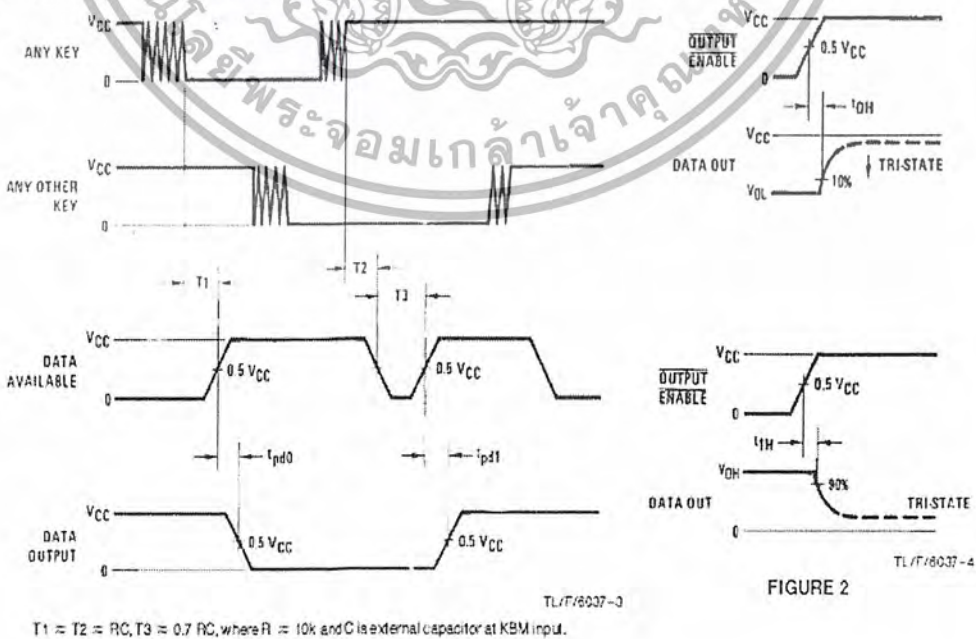


FIGURE 1

FIGURE 2

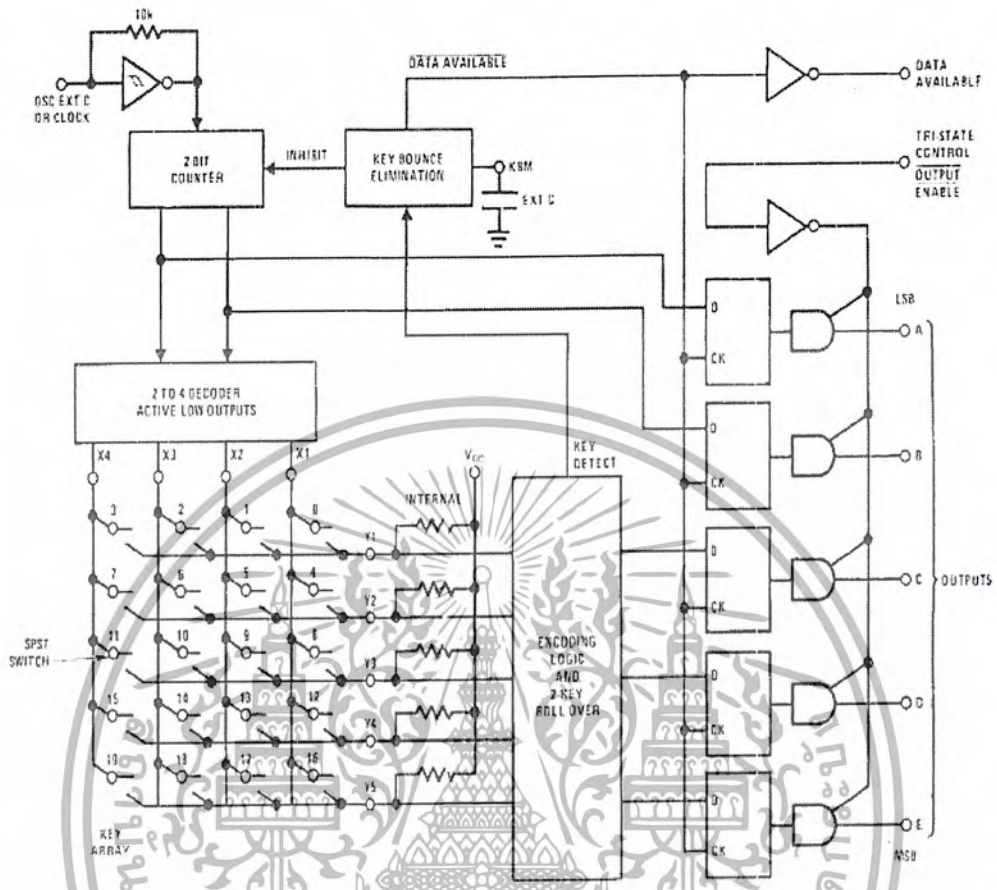
$T_1 = T_2 = RC, T_3 = 0.7 RC$ , where  $R = 10k$  and  $C$  is external capacitor at KBM input.

TL/F/8037-4

TL/F/8037-4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Block Diagram



TL/T/6037-5

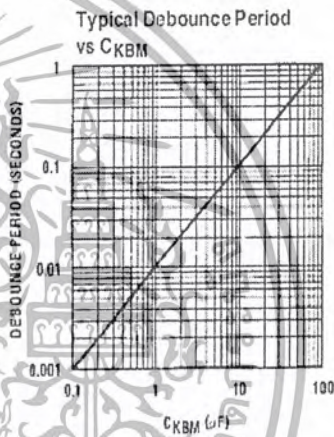
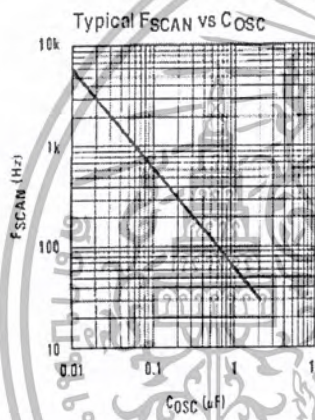
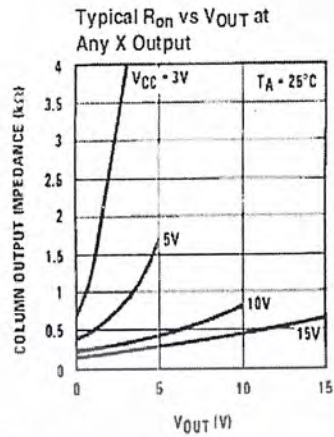
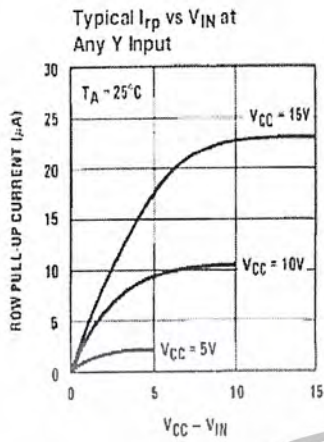
## Truth Table

Switch Position	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	Y1,X1	Y1,X2	Y1,X3	Y1,X4	Y2,X1	Y2,X2	Y2,X3	Y2,X4	Y3,X1	Y3,X2	Y3,X3	Y3,X4	Y4,X1	Y4,X2	Y4,X3	Y4,X4	Y5*,X1	Y5*,X2	Y5*,X3	Y5*,X4
D	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
A	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1
T	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
O	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
U	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
E*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

\*Omit for MM54C922/MM74C922

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

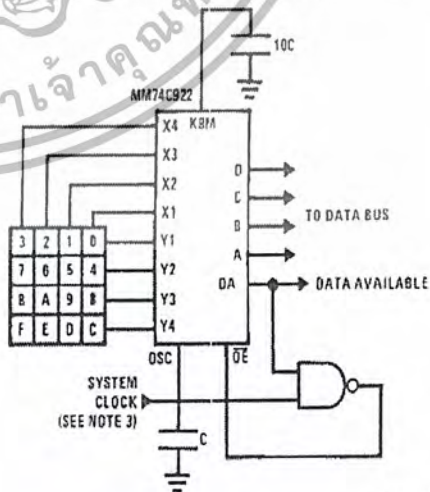
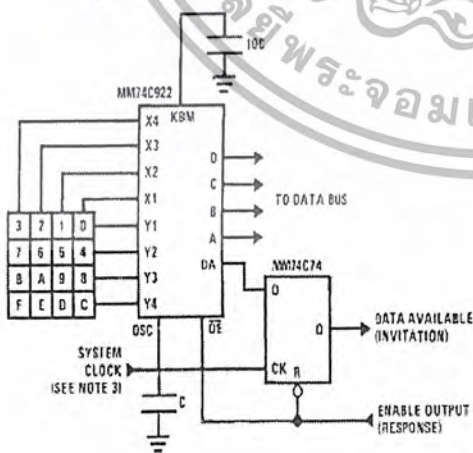
## Typical Performance Characteristics



## Typical Applications

Synchronous Handshake (MM74C922)

Synchronous Data Entry Onto Bus (MM74C922)



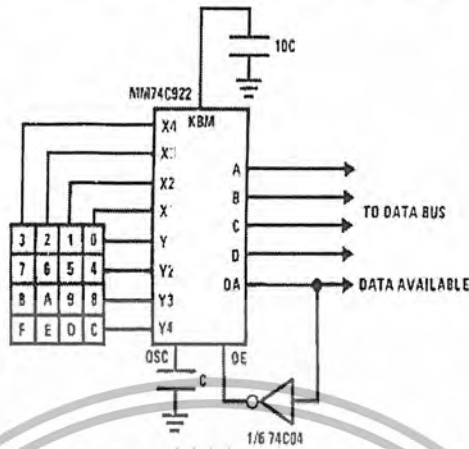
Note 3: The keyboard may be synchronously scanned by omitting the capacitor at osc. and driving osc. directly at the system clock rate a lower than 10 kHz.

Outputs are enabled when valid entry is made and go into TRI-STATE when key is released.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Typical Applications (Continued)

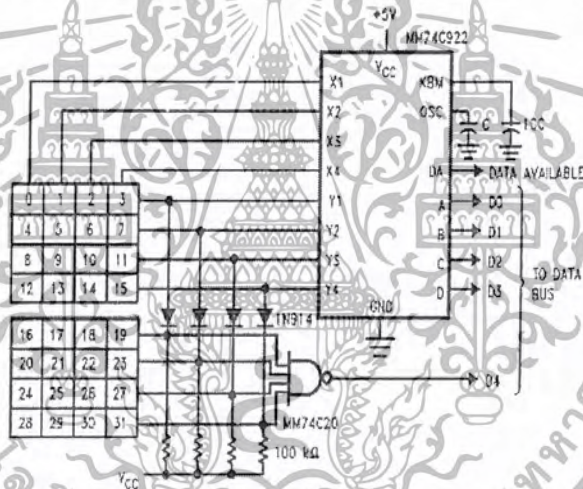
### Asynchronous Data Entry Onto Bus (MM74C922)



TL/F/6037-12

Outputs are INTRI-STATE until key is pressed, then data is placed on bus. When key is released, outputs return to TRI-STATE.

### Expansion to 32 Key Encoder (MM74C922)



TL/F/6037-13

## Theory of Operation

The MM74C922/MM74C923 Keyboard Encoders implement all the logic necessary to interface a 16 or 20 SPST key switch matrix to a digital system. The encoder will convert a key switch closer to a 4 (MM74C922) or 5 (MM74C923) bit nibble. The designer can control both the keyboard scan rate and the key debounce period by altering the oscillator capacitor,  $C_{OSC}$ , and the key bounce mask capacitor,  $C_{MSK}$ . Thus, the MM74C922/MM74C923's performance can be optimized for many keyboards.

The keyboard encoders connect to a switch matrix that is 4 rows by 4 columns (MM74C922) or 5 rows by 4 columns (MM74C923). When no keys are depressed, the row inputs are pulled high by internal pull-ups and the column outputs sequentially output a logic "0". These outputs are open drain and are therefore low for 25% of the time and otherwise off. The column scan rate is controlled by the oscillator input, which consists of a Schmitt trigger oscillator, a 2-bit counter, and a 2-4-bit decoder.

When a key is depressed, key 0, for example, nothing will happen when the X1 input is off, since Y1 will remain high. When the X1 column is scanned, X1 goes low and Y1 will go low. This disables the counter and keeps X1 low. Y1 going

low also initiates the key bounce circuit timing and locks out the other Y inputs. The key code to be output is a combination of the frozen counter value and the decoded Y inputs. Once the key bounce circuit times out, the data is latched, and the Data Available (DAV) output goes high.

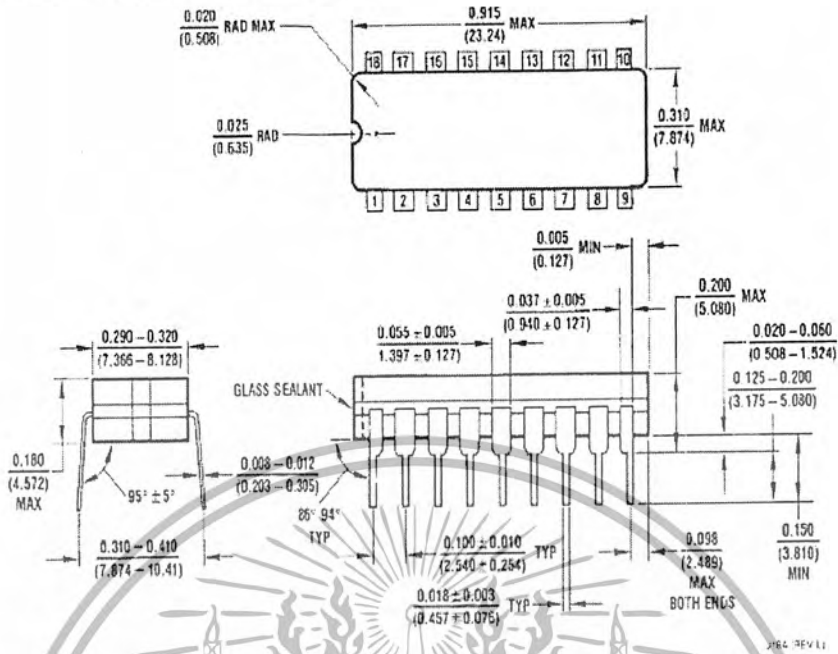
If, during the key closure the switch bounces, Y1 input will go high again, restarting the scan and resetting the key bounce circuitry. The key may bounce several times, but as soon as the switch stays low for a debounce period, the closure is assumed valid and the data is latched.

A key may also bounce when it is released. To ensure that the encoder does not recognize this bounce as another key closure, the debounce circuit must time out before another closure is recognized.

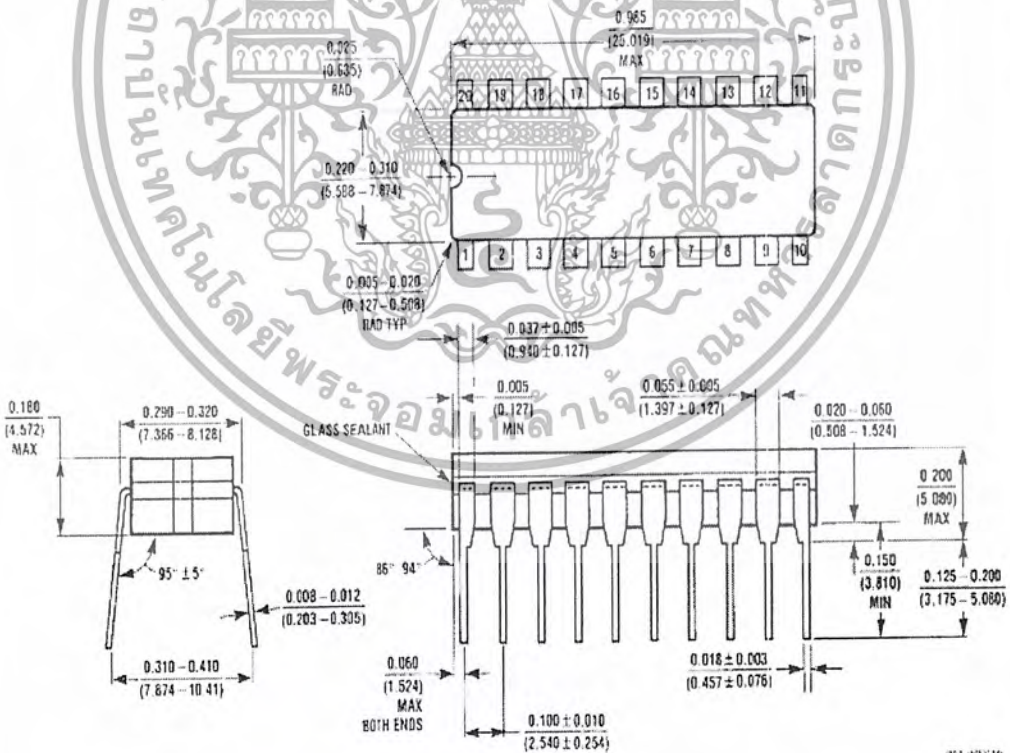
The two-key roll-over feature can be illustrated by assuming a key is depressed, and then a second key is depressed. Since all scanning has stopped, and all other Y inputs are disabled, the second key is not recognized until the first key is lifted and the key bounce circuitry has reset.

The output latches feed TRI-STATE, which is enabled when the Output Enable (OE) input is taken low.

Physical Dimensions inches (millimeters)



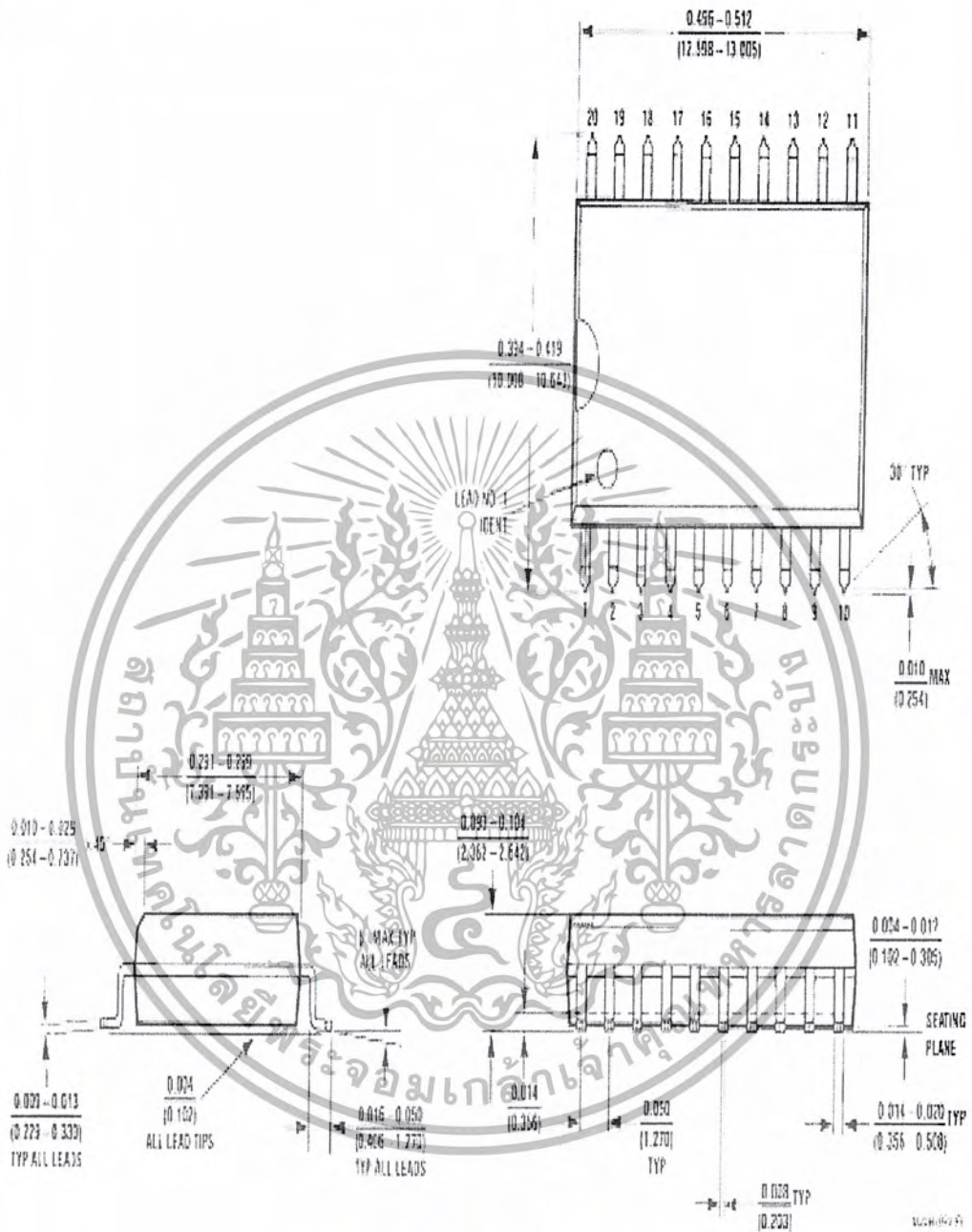
Ceramic Dual-In-Line Package (J)  
Order Number MM54C922J or MM74C922J  
NS Package Number J18A



Ceramic Dual-In-Line Package (J)  
Order Number MM54C923J or MM74C923J  
NS Package Number J20A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

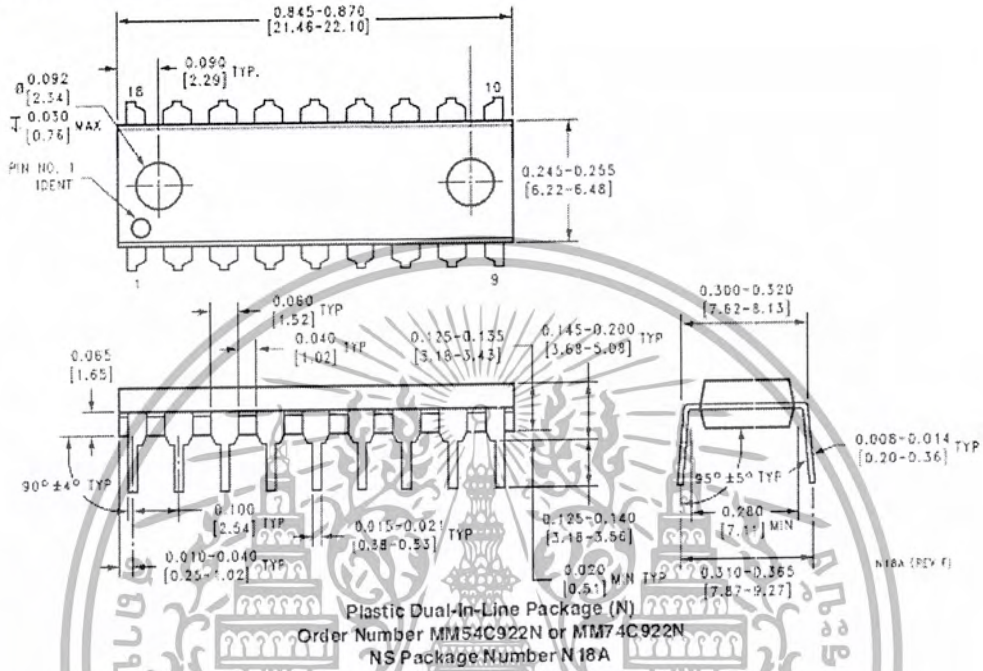
Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)



Plastic Small Outline I.C. Package (M)  
 Order Number MM74C922M or MM74C923M  
 NS Package Number M20B

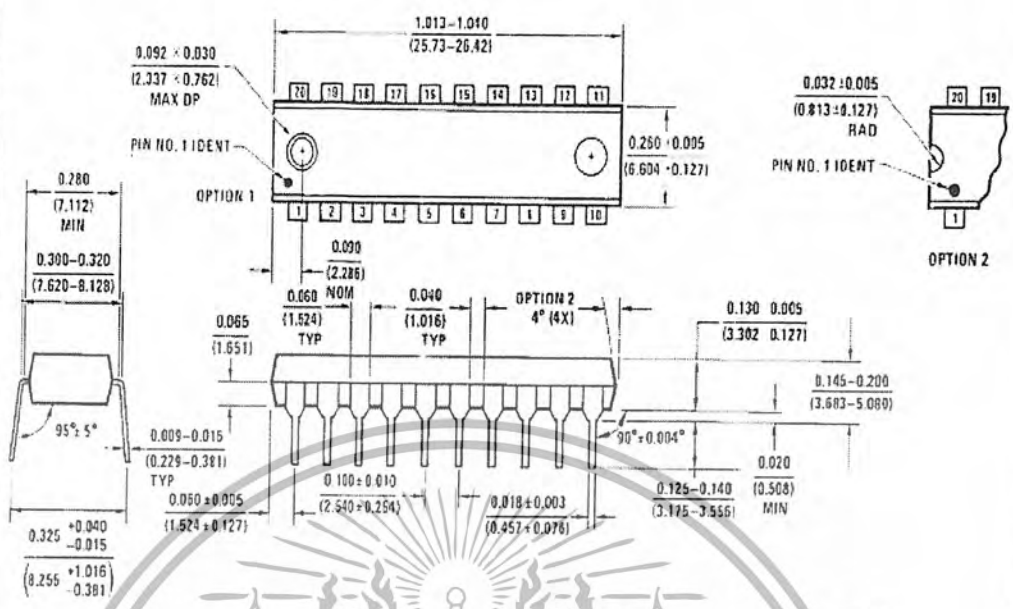
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใด ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Physical Dimensions** inches (millimeters) (Continued)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Physical Dimensions inches (millimeters) (Continued)



Plastic Dual-In-Line Package (N)  
 Order Number MM54C923N or MM74C923N  
 NS Package Number N20A

LIFE SUPPORT POLICY

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

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

	<b>National Semiconductor Corporation</b> 1111 West Bardin Road Arlington, TX 76017 Tel: (1800) 272-9959 Fax: (1800) 737-7018	<b>National Semiconductor Europe</b> Fax: (+49) 0-180-530 85 86 Email: onywe@wm2.nsc.com Deutsch Tel: (+49) 0-180-530 85 85 English Tel: (+49) 0-180-532 78 32 Français Tel: (+49) 0- 80-532 80 58 Italiano Tel: (+49) 0- 80-534 16 80	<b>National Semiconductor Hong Kong Ltd.</b> 13th Floor, Straight Block, Ocean Centre, 5 Canton Rd, Tsimshatsui, Kowloon Hong Kong Tel: (852) 2737-1500 Fax: (852) 2738-9980	<b>National Semiconductor Japan Ltd.</b> Tel: 81-043-299-2009 Fax: 81-043-299-2408
--	---	--	--	--

## 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"

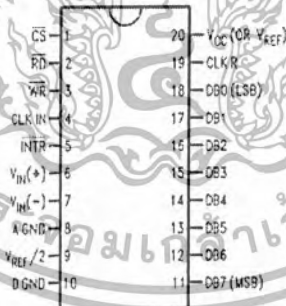
- Differential analog voltage inputs
- Logic inputs and outputs meet both MOS and TTL voltage level specifications
- Works with 2.5V (LM336) voltage reference
- On-chip clock generator
- 0V to 5V analog input voltage range with single 5V supply
- No zero adjust required
- 0.3" standard width 20-pin DIP 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  $\pm 1/2$  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



D0226611-30

See Ordering Information

### Ordering Information

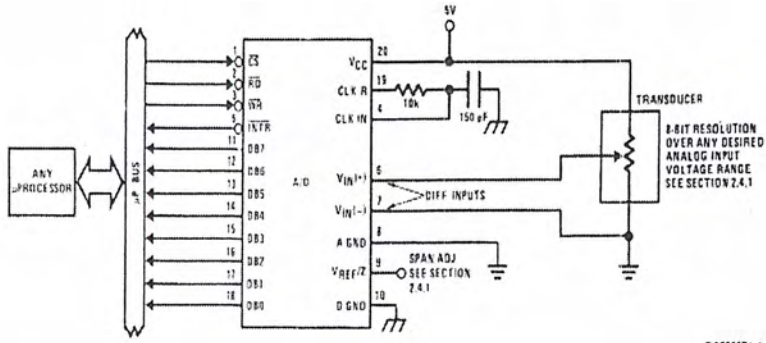
TEMP RANGE		0°C TO 70°C	0°C TO 70°C	-40°C TO +85°C
ERROR	$\pm 1/2$ Bit Adjusted			ADC0801LCN
	$\pm 1/2$ Bit Unadjusted	ADC0802LCWM		ADC0802LCN
	$\pm 1/2$ Bit Adjusted			ADC0803LCN
	$\pm 1$ Bit Unadjusted	ADC0804LCWM	ADC0804LCN	ADC0805LCN/ADC0804LCJ
PACKAGE OUTLINE		M20B—Small Outline	N20A—Molded DIP	

2-301 is a registered trademark of Zilog Corp.

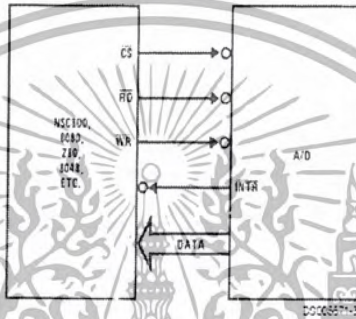
ADC0801/ADC0802/ADC0803/ADC0804/ADC0805 8-Bit  $\mu$ P Compatible A/D Converters

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications



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)	$V_{REF}/2 = \text{No Connection}$ (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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 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)	6.5V
Voltage	
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 $V_{DC}$	4.5 $V_{DC}$ to 6.3 $V_{DC}$

## Electrical Characteristics

The following specifications apply for  $V_{CC}=5V_{DC}$ ,  $T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$  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)			$\pm 1/2$	LSB
ADC0802: Total Unadjusted Error (Note 8)	$V_{REF}/2=2.500V_{DC}$			$\pm 1/2$	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)	$V_{REF}/2=2.500V_{DC}$			$\pm 1$	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 k $\Omega$	8.0		k $\Omega$
	ADC0804 (Note 9)	0.75 k $\Omega$	1.1		k $\Omega$
Analog Input Voltage Range	(Note 4) $V_{IN}(+)$ or $V_{IN}(-)$	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	$V_{DC}=5V_{DC} \pm 10\%$ 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  $V_{CC}=5V_{DC}$  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 5)	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 WR with $\overline{CS}=0V_{DC}$ , $f_{CLK}=640$ kHz	8770		9708	conv/s
$t_{W(\overline{WR}, L)}$	Width of $\overline{WR}$ Input (Start Pulse Width)	$\overline{CS}=0V_{DC}$ (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
$t_{1\mu}, t_{2\mu}$	TRI-STATE Control (Delay from Rising Edge of $\overline{RD}$ to Hi-Z State)	$C_L=10$ pF, $R_L=10$ k $\Omega$ (See TRI-STATE Test Circuits)		125	200	ns
$t_{WH}, t_{OH}$	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

## AC Electrical Characteristics (Continued)

The following specifications apply for  $V_{CC}=5V_{DC}$  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)	$V_{CC}=5.25V_{DC}$	2.0		15	$V_{DC}$
$V_{IN}(0)$	Logical "0" Input Voltage (Except Pin 4 CLK IN)	$V_{CC}=4.75V_{DC}$			0.8	$V_{DC}$
$I_{IN}(1)$	Logical "1" Input Current (All Inputs)	$V_{IN}=5V_{DC}$		0.005	1	$\mu A_{DC}$
$I_{IN}(0)$	Logical "0" Input Current (All Inputs)	$V_{IN}=0V_{DC}$	-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	$I_{OUT} = 1.6 mA, V_{CC} = 4.75 V_{DC}$			0.4	$V_{DC}$
	INTR Output	$I_{OUT} = 1.0 mA, V_{CC} = 4.75 V_{DC}$			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			$V_{DC}$
$I_{OLT}$	TRI-STATE Disabled Output Leakage (All Data Buffers)	$V_{OUT} = 0V_{DC}$	-3			$\mu A_{DC}$
		$V_{OUT} = 5V_{DC}$			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)	$f_{CLK} = 640 kHz$ $V_{REF} = 2 = NC, T_A = 25^\circ C$ and $CS = 5V$				
			ADC0801/02/03/04/LCJ05	1.1	1.8	mA
			ADC0804/LCN/LCWM	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  $7V_{DC}$ .

Note 4: For  $V_{IN} = 2V_{IN}(+)$  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  $5V_{DC}$  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 276 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).

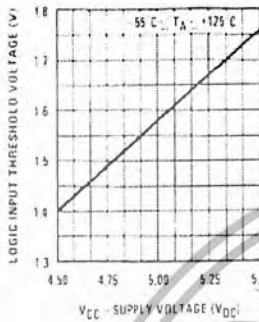
Note 8: None of these A/Ds requires a zero adjust (see section 2.5.1). To obtain zero code at other analog input voltages see section 2.5 and Figure 7.

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 10 k $\Omega$ . In all versions of the ADC0804 except the ADC0804LCJ, each resistor is typically 2.2 k $\Omega$ .

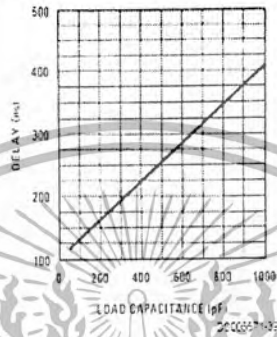
Note 10: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k $\Omega$  resistor.

## Typical Performance Characteristics

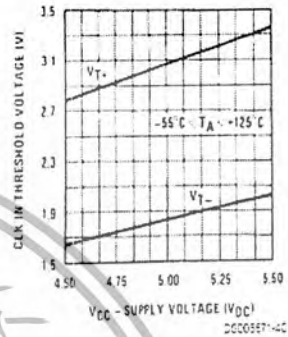
Logic Input Threshold Voltage vs. Supply Voltage



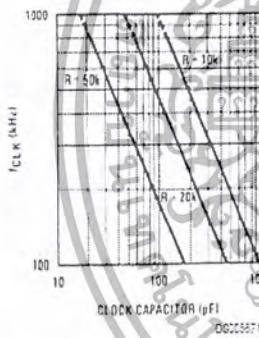
Delay From Falling Edge of RD to Output Data Valid vs. Load Capacitance



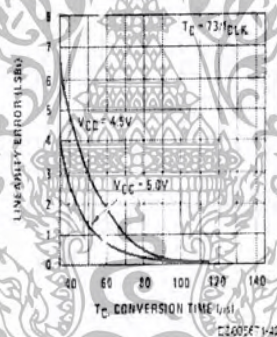
CLK IN Schmitt Trip Levels vs. Supply Voltage



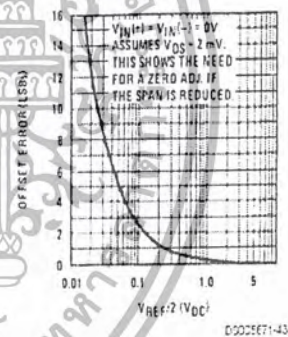
$f_{CLK}$  vs. Clock Capacitor



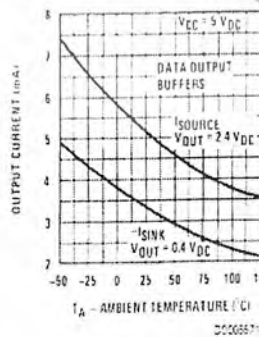
Full-Scale Error vs. Conversion Time



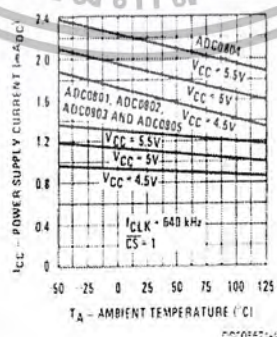
Effect of Unadjusted Offset Error vs.  $V_{REF}/2$  Voltage



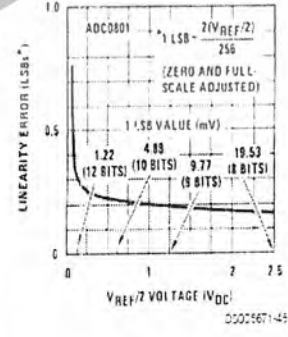
Output Current vs. Temperature



Power Supply Current vs. Temperature (Note 9)

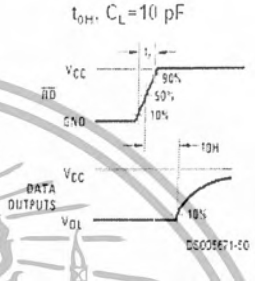
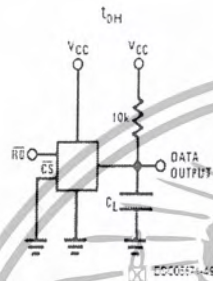
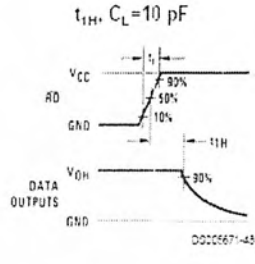
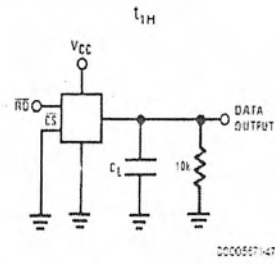


Linearity Error at Low  $V_{REF}/2$  Voltages



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### TRI-STATE Test Circuits and Waveforms

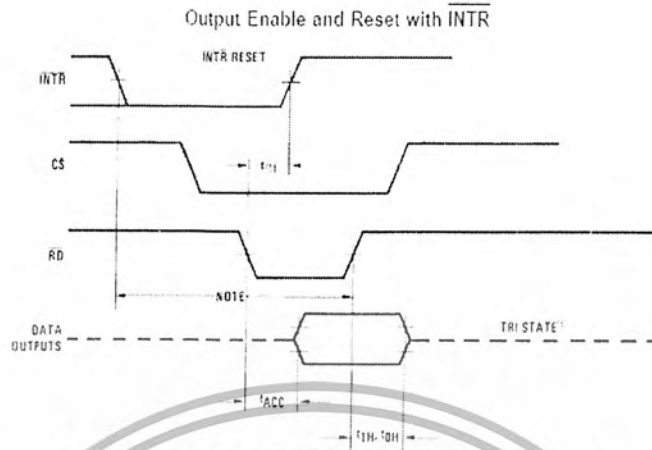


### Timing Diagrams (All timing is measured from the 50% voltage points)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

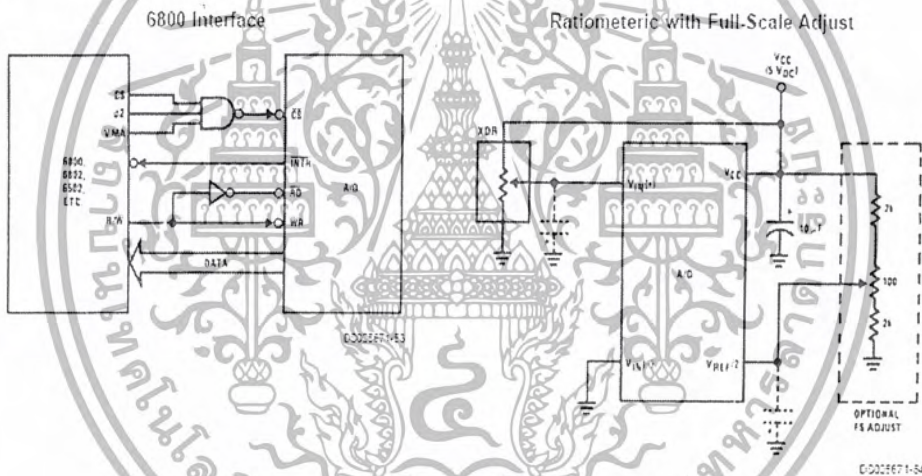
## Timing Diagrams (All timing is measured from the 50% voltage points) (Continued)



D0005671-52

Note: Read strobe must occur 6 clock periods ( $6t_{CLK}$ ) after assertion of  $\overline{\text{INTR}}$  to guarantee reset of  $\overline{\text{INTR}}$ .

## Typical Applications



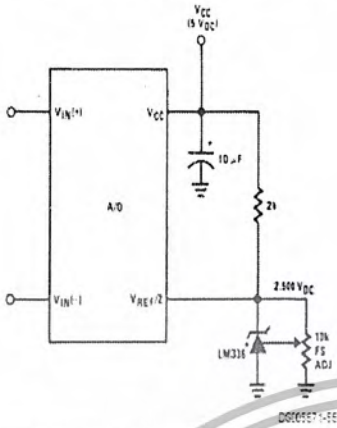
D0005671-54



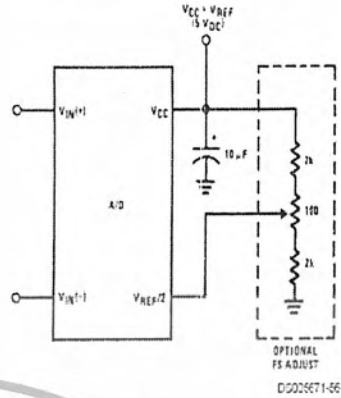
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

Absolute with a 2.500V Reference

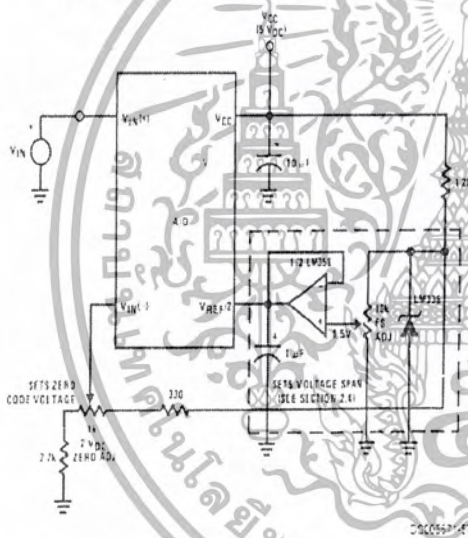


Absolute with a 5V Reference

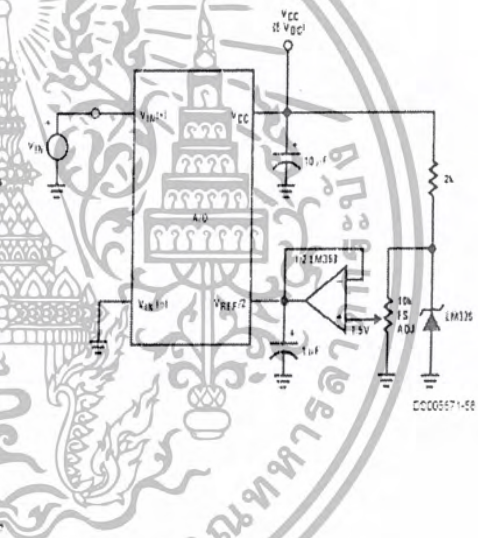


\*For low power, see also LM335-2.5

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

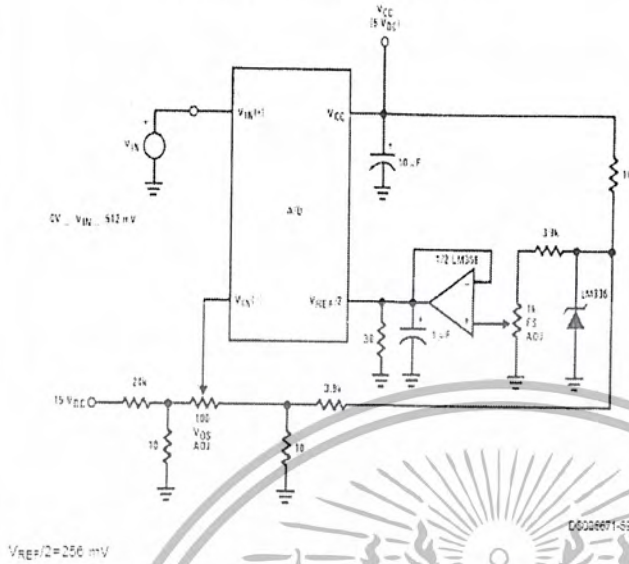


Span Adjust:  $0V \leq V_{IN} \leq 3V$

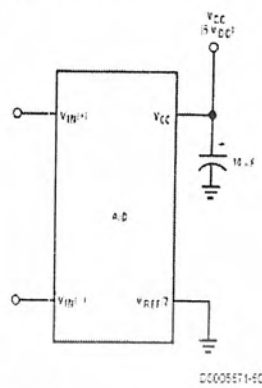


## Typical Applications (Continued)

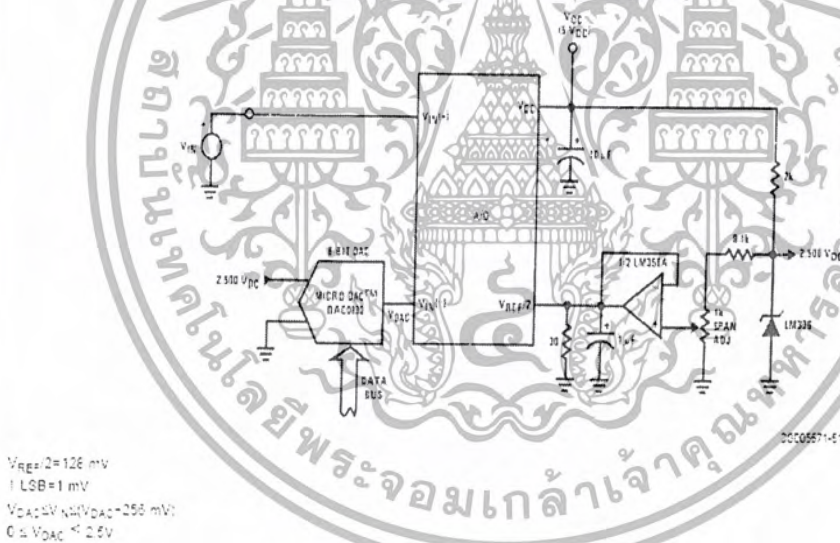
### Directly Converting a Low-Level Signal



### A $\mu\text{P}$ Interfaced Comparator



### 1 mV Resolution with $\mu\text{P}$ Controlled Range

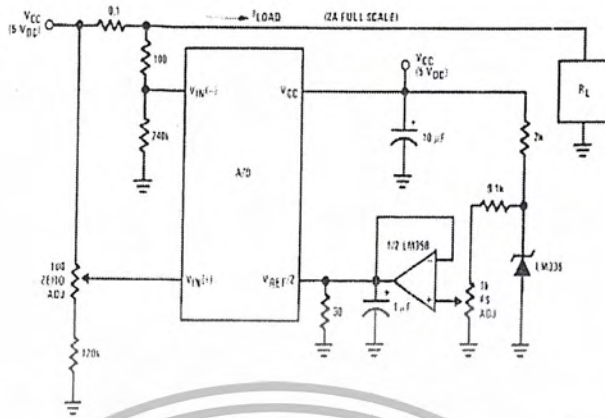


ADC0801/ADC0802/ADC0803/ADC0804/ADC0805

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

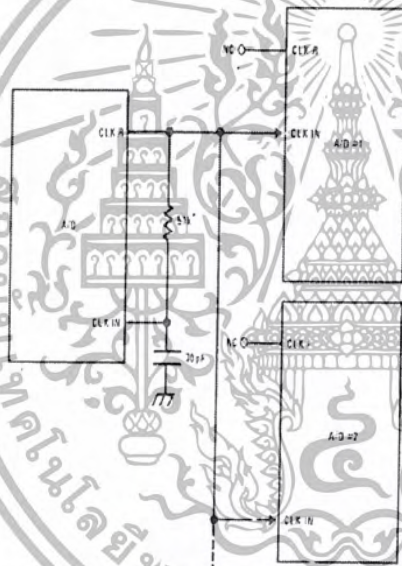
Typical Applications (Continued)

Digitizing a Current Flow



DC006671-62

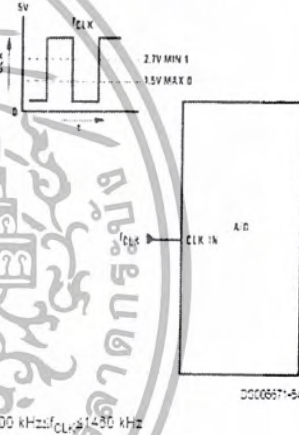
Self-Clocking Multiple A/Ds



IF MORE THAN 5 ADDITIONAL A/Ds, USE A CMOS BUFFER (NOT 74C12)

DC006671-63

External Clocking

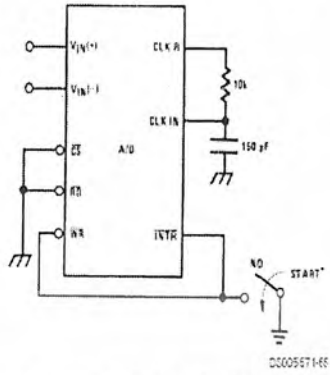


DC006671-64

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

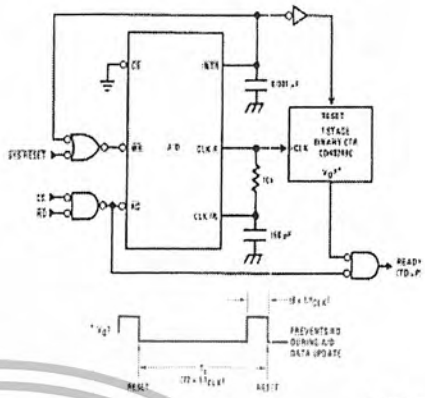
Typical Applications (Continued)

Self-Clocking in Free-Running Mode



\*After power-up, a momentary grounding of the WR input is needed to guarantee operation

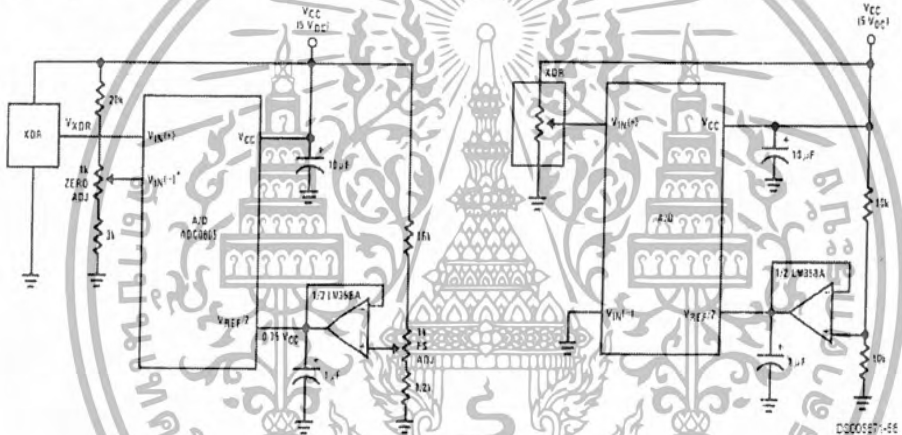
µP Interface for Free-Running A/D



DD005671-66

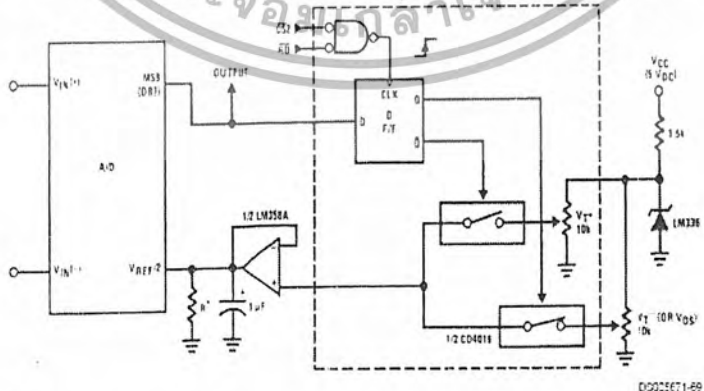
Operating with "Automotive" Ratiometric Transducers

Ratiometric with  $V_{REF}/2$  Forced



\* $V_{IN(1)} = 0.16 V_{CC}$   
16% of  $V_{CC}$  /  $V_{REF}$  is 35% of  $V_{CC}$

µP Compatible Differential Input Comparator with Pre-Set  $V_{OS}$  (with or without Hysteresis)

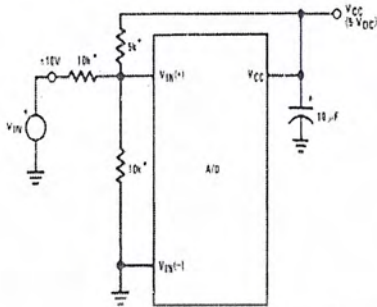


\*See Figure 5 to select R value  
DB7 = 1 for  $V_{IN(1)} > V_{IN(2)}$  /  $V_{REF}/2$   
Omit circuitry within the dotted area if hysteresis is not needed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

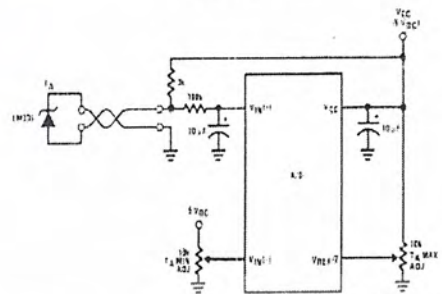
Handling  $\pm 10\text{V}$  Analog Inputs



DD006671-72

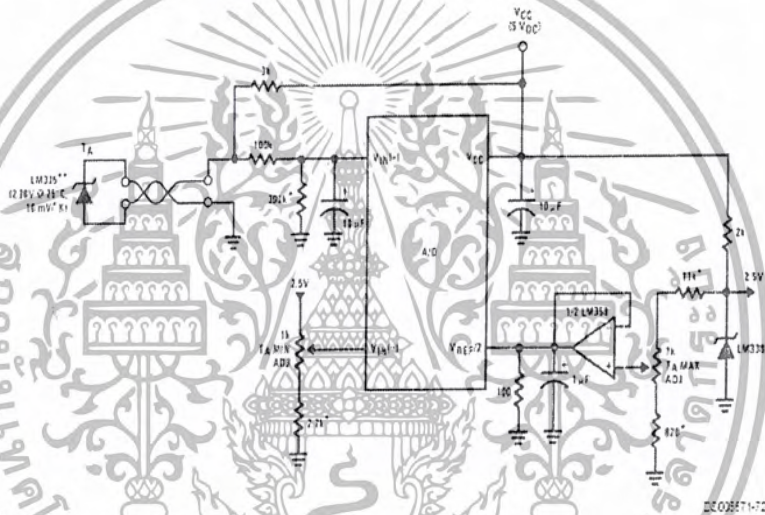
\*Beckman Instruments #064-2-R10k resistor array

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



DD026671-71

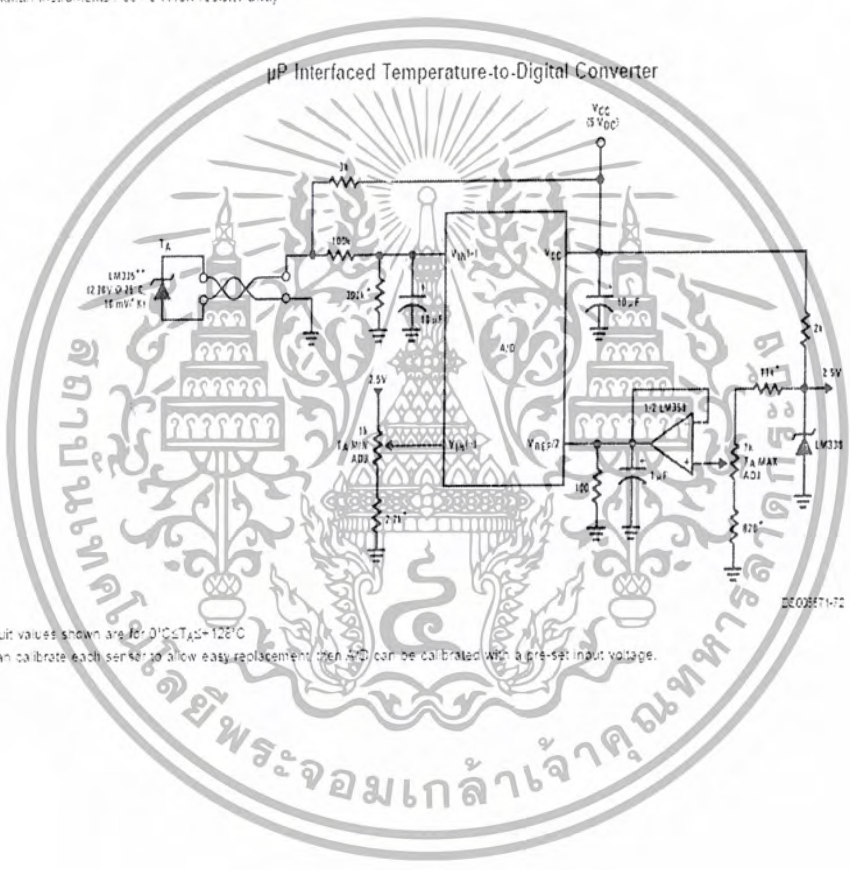
$\mu\text{P}$  Interfaced Temperature-to-Digital Converter



DD026671-72

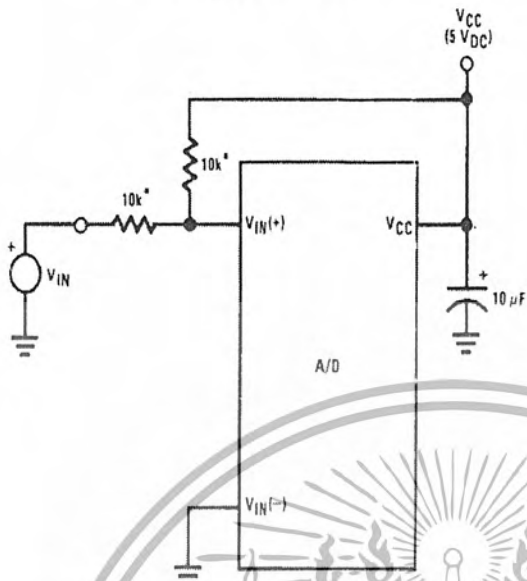
\*Circuit values shown are for 0°C to  $\mu\text{P}$ -128°C

\*\*\*Can calibrate each sensor to allow easy replacement when ADC can be calibrated with a pre-set input voltage.

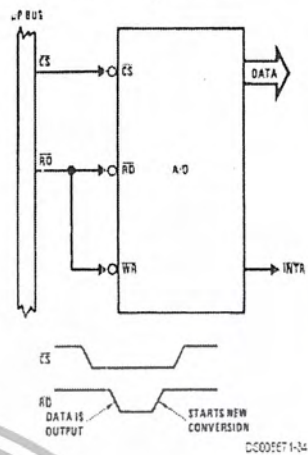


Typical Applications (Continued)

Handling  $\pm 5V$  Analog Inputs

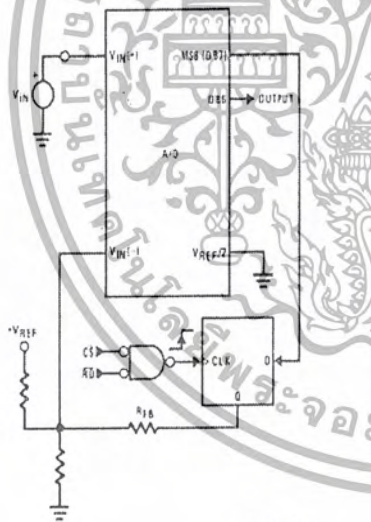


Read-Only Interface



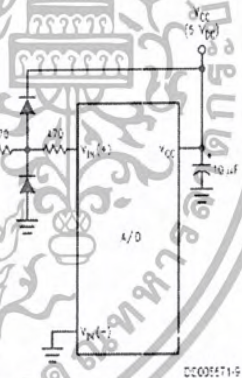
<sup>1</sup>Beckman Instruments #264-3-R10k resistor array

$\mu P$  Interfaced Comparator with Hysteresis



Diodes are 1N914

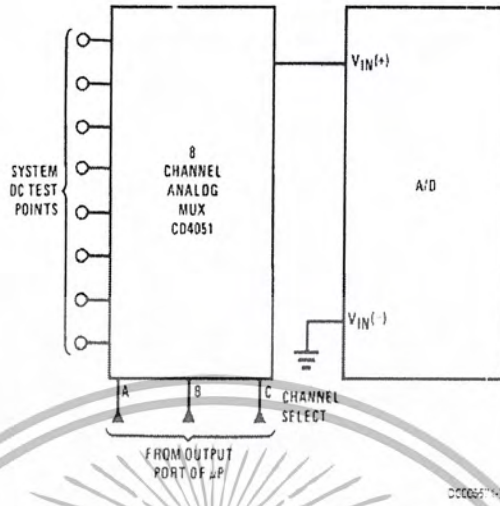
Protecting the Input



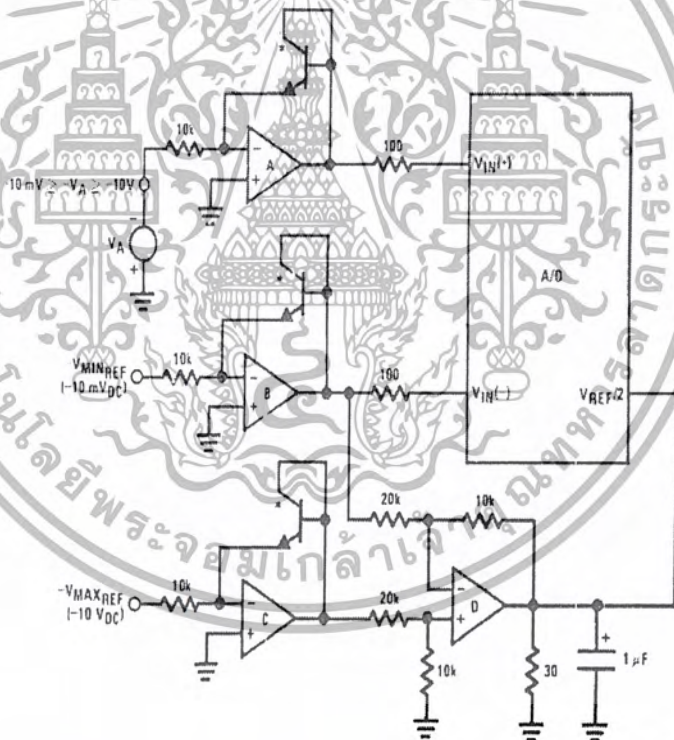
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Typical Applications (Continued)

Analog Self-Test for a System



A Low-Cost, 3-Decade Logarithmic Converter

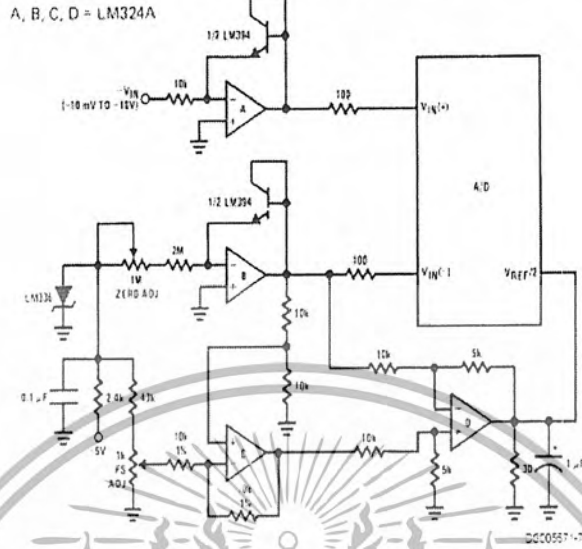


\*LM329 transistors  
A, E, C, D = LM324A quad op amp

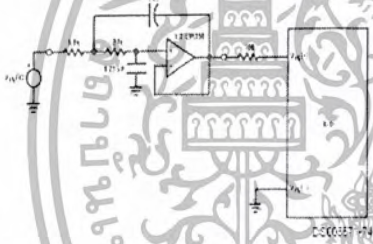
DG002671-37

Typical Applications (Continued)

3-Decade Logarithmic A/D Converter

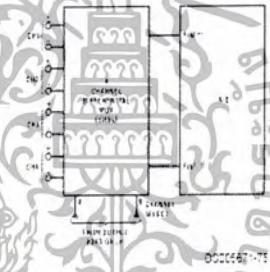


Noise Filtering the Analog Input

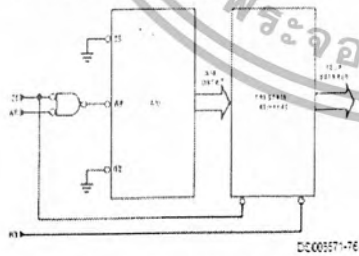


$f_c = 20$  Hz  
 Uses Chebyshev implementation for steeper roll-off, unity-gain, 2nd-order low-pass filter  
 Adding a separate filter for each channel increases system response time if an analog multiplexer is used.

Multiplexing Differential Inputs

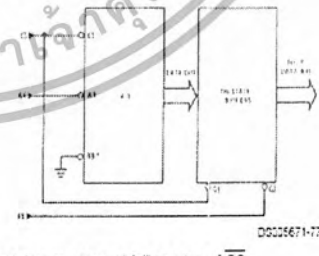


Output Buffers with A/D Data Enabled



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

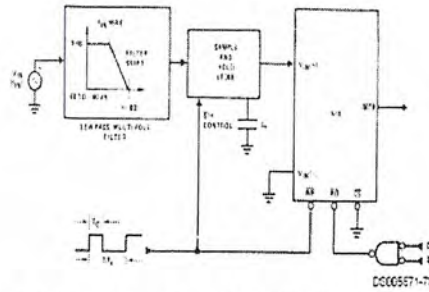
Increasing Bus Drive and/or Reducing Time on Bus



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

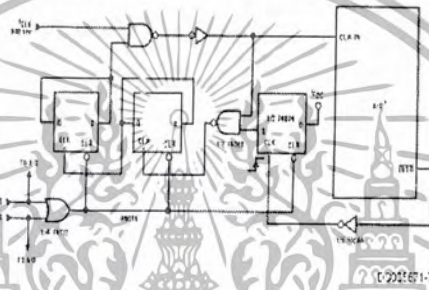
Typical Applications (Continued)

Sampling an AC Input Signal



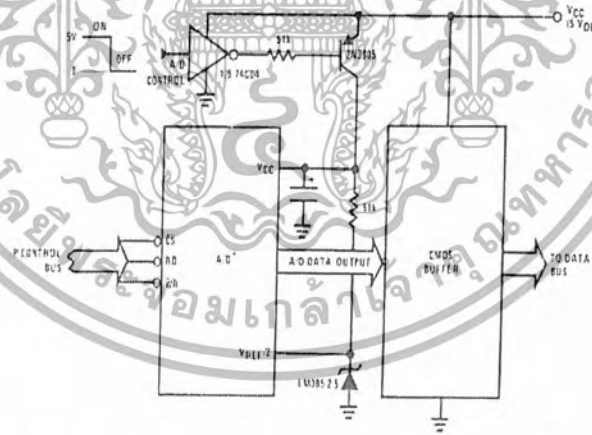
Note 11: Oversample whenever possible [keep  $f_s \gg 2f(\sim 20)$ ] to eliminate input frequency folding (aliasing) and to allow for the skirt response of the filter.  
 Note 12: Consider the amplitude errors which are introduced within the passband of the filter.

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<sub>CC</sub> with A/D supply at zero volts.  
 Buffer prevents data bus from overriding 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<sub>REF</sub>/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

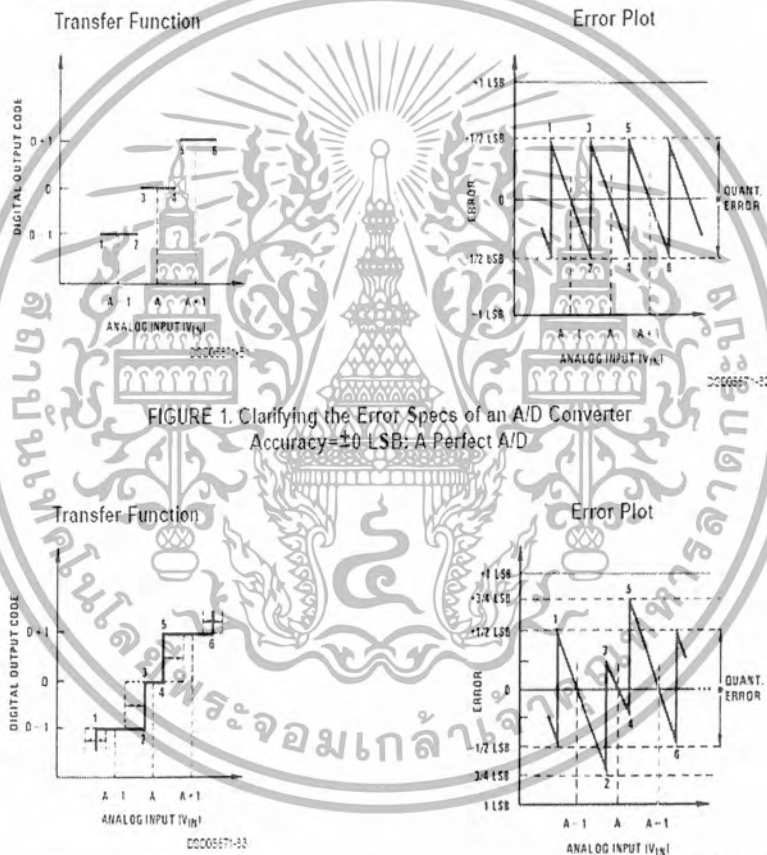
**Functional Description (Continued)**

$\pm 1/2$  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 lie 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 up-steps are always 1 LSB in magnitude.



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

Functional Description (Continued)

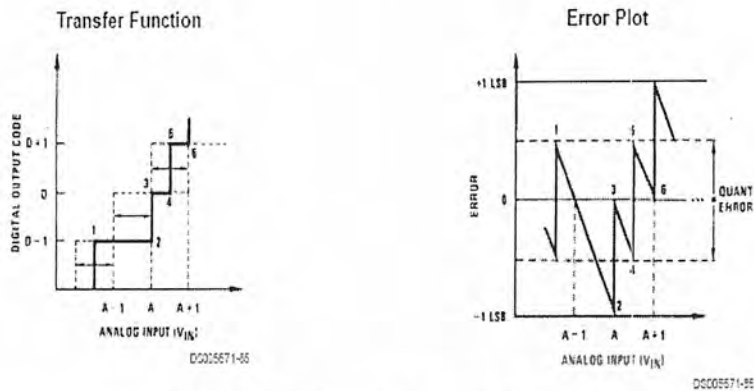


FIGURE 3. Clarifying the Error Specs of an A/D Converter  
Accuracy =  $\pm 1/2$  LSB

2.0 FUNCTIONAL DESCRIPTION

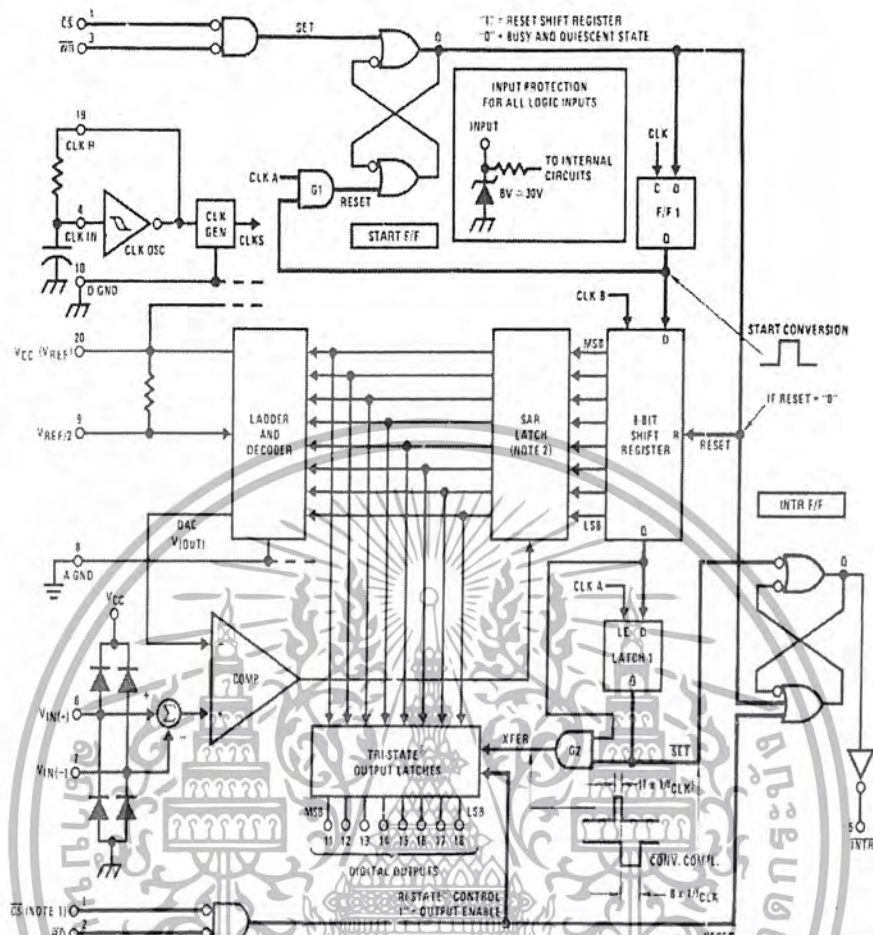
The ADC0801 series contains a circuit equivalent of the 256R network. Analog switches are sequenced by successive approximation logic to match the analog difference input voltage  $[V_{IN}(+) - V_{IN}(-)]$  to a corresponding tap on the R network. The most significant bit is tested first and after 8 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 ( $\overline{INTR}$  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  $\overline{INTR}$  to the  $\overline{WR}$  input with  $\overline{CS} = 0$ . To ensure start-up under all possible conditions, an external  $\overline{WR}$  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 ( $\overline{INTR}$ ) 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 inverting 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  $\frac{1}{2}$  of the frequency of the external clock). If the data output is continuously enabled ( $\overline{CS}$  and  $\overline{RD}$  both held low), the 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 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 Q output will go high, which then allows the INTR F/F to be RESET. This reduces the width of the resulting 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).

D02C5671-12

## 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:

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

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,  $f_{\text{CLK}}$ , would allow a peak value of the common-mode voltage,  $V_P$ , which is given by:

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

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.

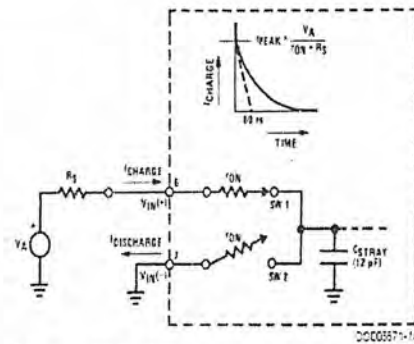
An analog input voltage with a reduced span and a relatively large zero offset can be handled easily by making use of the differential input (see section 2.4 Reference Voltage).

### 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.



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

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

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 ( $> 1 \text{ k}\Omega$ )*. 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 ( $\leq 1 \text{ k}\Omega$ ) for a passive RC section or add an op amp RC active low pass filter. For low source resistance applications, ( $\leq 1 \text{ k}\Omega$ ), a 0.1  $\mu$ F bypass capacitor at the inputs will prevent noise pickup due to series lead inductance of a long

## Functional Description (Continued)

wire. A 100Ω series resistor can be used to isolate this capacitor—both the R and C are placed outside the feedback loop—from the output of an op amp, if used.

### 2.3.4 Noise

The leads to the analog inputs (pins 6 and 7) should be kept as short as possible to minimize input noise coupling. Both noise and undesired digital clock coupling to these inputs can cause system errors. The source resistance for these inputs should, in general, be kept below 5 kΩ. Larger values of source resistance can cause undesired system noise pickup. Input bypass capacitors, placed from the analog inputs to ground, will eliminate system noise pickup but can create analog scale errors as these capacitors will average the transient input switching currents of the A/D (see section 2.3.1.). This scale error depends on both a large source resistance and the use of an input bypass capacitor. This error can be eliminated by doing a full-scale adjustment of the A/D (adjust  $V_{REF/2}$  for a proper full-scale reading—see section 2.5.2 on Full-Scale Adjustment) with the source resistance and input bypass capacitor in place.

## 2.4 Reference Voltage

### 2.4.1 Span Adjust

For maximum applications flexibility, these A/Ds have been designed to accommodate a  $5V_{DC}$ ,  $2.5V_{DC}$ , or an adjusted voltage reference. This has been achieved in the design of the IC as shown in Figure 6.

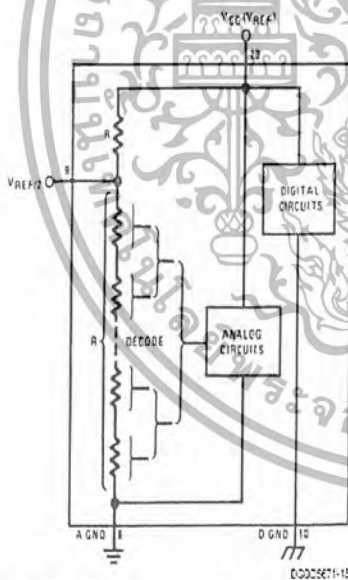


FIGURE 6. The  $V_{REFERENCE}$  Design on the IC

Notice that the reference voltage for the IC is either  $\frac{1}{2}$  of the voltage applied to the  $V_{CC}$  supply pin, or is equal to the voltage that is externally forced at the  $V_{REF/2}$  pin. This allows for a ratiometric voltage reference using the  $V_{CC}$  supply, a  $5V_{DC}$  reference voltage can be used for the  $V_{CC}$  supply or a voltage less than  $2.5V_{DC}$  can be applied to the  $V_{REF/2}$  input for increased application flexibility. The internal gain to the  $V_{REF/2}$  input is 2, making the full-scale differential input voltage twice the voltage at pin 9.

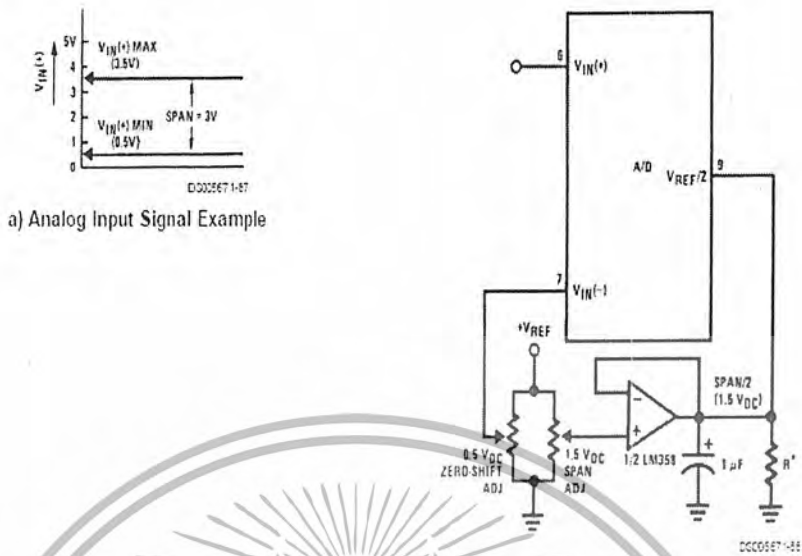
An example of the use of an adjusted reference voltage is to accommodate a reduced span—or dynamic voltage range of the analog input voltage. If the analog input voltage were to range from  $0.5V_{DC}$  to  $3.5V_{DC}$ , instead of  $0V$  to  $5V_{DC}$ , the span would be  $3V$  as shown in Figure 7. With  $0.5V_{DC}$  applied to the  $V_{IN(-)}$  pin to absorb the offset, the reference voltage can be made equal to  $\frac{1}{2}$  of the  $3V$  span or  $1.5V_{DC}$ . The A/D now will encode the  $V_{IN(+)}$  signal from  $0.5V$  to  $3.5V$  with the  $0.5V$  input corresponding to zero and the  $3.5V_{DC}$  input corresponding to full-scale. The full 8 bits of resolution are therefore applied over this reduced analog input voltage range.

### 2.4.2 Reference Accuracy Requirements

The converter can be operated in a ratiometric mode or an absolute mode. In ratiometric converter applications, the magnitude of the reference voltage is a factor in both the output of the source transducer and the output of the A/D converter and therefore cancels out in the final digital output code. The ADC0805 is specified particularly for use in ratiometric applications with no adjustments required. In absolute conversion applications, both the initial value and the temperature stability of the reference voltage are important factors in the accuracy of the A/D converter. For  $V_{REF/2}$  voltages of  $2.4V_{DC}$  nominal value, initial errors of  $\pm 10mV_{DC}$  will cause conversion errors of  $\pm 1$  LSB due to the gain of 2 of the  $V_{REF/2}$  input. In reduced span applications, the initial value and the stability of the  $V_{REF/2}$  input voltage become even more important. For example, if the span is reduced to  $2.5V$ , the analog input LSB voltage value is correspondingly reduced from  $20mV$  ( $5V$  span) to  $10mV$  and 1 LSB at the  $V_{REF/2}$  input becomes  $5mV$ . As can be seen, this reduces the allowed initial tolerance of the reference voltage and requires correspondingly less absolute change with temperature variations. Note that spans smaller than  $2.5V$  place even tighter requirements on the initial accuracy and stability of the reference source.

In general, the magnitude of the reference voltage will require an initial adjustment. Errors due to an improper value of reference voltage appear as full-scale errors in the A/D transfer function. IC voltage regulators may be used for references if the ambient temperature changes are not excessive. The LM336B  $2.5V$  IC reference diode (from National Semiconductor) has a temperature stability of  $1.8mV$  typ ( $6mV$  max) over  $0^{\circ}C \leq T_{AS} \leq +70^{\circ}C$ . Other temperature range parts are also available.

Functional Description (Continued)



\*Add 1 V<sub>REF/2</sub> & 1 V<sub>DC</sub> with LM358 to draw 3 mA to ground.

b) Accommodating an Analog Input from 0.5V (Digital Out = 00<sub>HEX</sub>) to 3.5V (Digital Out = FF<sub>HEX</sub>)

FIGURE 7. Adapting the A/D Analog Input Voltages to Match an Arbitrary Input Signal Range

2.5 Errors and Reference Voltage Adjustments

2.5.1 Zero Error

The zero of the A/D does not require adjustment. If the minimum analog input voltage value, V<sub>IN(MIN)</sub>, is not ground, a zero offset can be done. The converter can be made to output 0000 0000 digital code for this minimum input voltage by biasing the A/D V<sub>IN(-)</sub> input at this V<sub>IN(MIN)</sub> value (see Applications section). This utilizes the differential mode operation of the A/D.

The zero error of the A/D converter relates to the location of the first riser of the transfer function and can be measured by grounding the V<sub>IN(-)</sub> input and applying a small magnitude positive voltage to the V<sub>IN(+)</sub> input. Zero error is the difference between the actual DC input voltage that is necessary to just cause an output digital code transition from 0000 0000 to 0000 0001 and the ideal 1/2 LSB value (1/2 LSB = 9.8 mV for V<sub>REF/2</sub>=2.500 V<sub>DC</sub>).

2.5.2 Full-Scale

The full-scale adjustment can be made by applying a differential input voltage that is 1 1/2 LSB less than the desired analog full-scale voltage range and then adjusting the magnitude of the V<sub>REF/2</sub> input (pin 9 or the V<sub>CC</sub> supply if pin 9 is not used) for a digital output code that is just changing from 1111 1110 to 1111 1111.

2.5.3 Adjusting for an Arbitrary Analog Input Voltage Range

If the analog zero voltage of the A/D is shifted away from ground (for example, to accommodate an analog input signal that does not go to ground) this new zero reference should be properly adjusted first. A V<sub>IN(+)</sub> voltage that equals this desired zero reference plus 1/2 LSB (where the LSB is calculated for the desired analog span, 1 LSB=analog span/

256) is applied to pin 6 and the zero reference voltage at pin 7 should then be adjusted to just obtain the 00<sub>HEX</sub> to 01<sub>HEX</sub> code transition.

The full-scale adjustment should then be made (with the proper V<sub>IN(-)</sub> voltage applied) by forcing a voltage to the V<sub>IN(+)</sub> input which is given by:

$$V_{IN(+)} + 1/2 \text{ls adj} = V_{MAX} - 1.5 \left[ \frac{(V_{MAX} - V_{MIN})}{256} \right]$$

where:

V<sub>MAX</sub>=The high end of the analog input range and

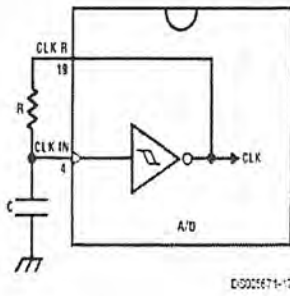
V<sub>MIN</sub>=the low end (the offset zero) of the analog range. (Both are ground referenced.)

The V<sub>REF/2</sub> (or V<sub>CC</sub>) voltage is then adjusted to provide a code change from FE<sub>HEX</sub> to FF<sub>HEX</sub>. This completes the adjustment procedure.

2.6 Clocking Option

The clock for the A/D can be derived from the CPU clock or an external RC can be added to provide self-clocking. The CLK IN (pin 4) makes use of a Schmitt trigger as shown in Figure 8.

## Functional Description (Continued)



$$f_{CLK} \approx \frac{1}{1.1 RC}$$

$R = 10 \text{ k}\Omega$

FIGURE 8. Self-Clocking the A/D

Heavy capacitive or DC loading of the clock R pin should be avoided as this will disturb normal converter operation. Loads less than 50 pF, such as driving up to 7 A/D converter clock inputs from a single clock R pin of 1 converter, are allowed. For larger clock line loading, a CMOS or low power TTL buffer or PNP input logic should be used to minimize the loading on the clock R pin (do not use a standard TTL buffer).

### 2.7 Restart During a Conversion

If the A/D is restarted ( $\overline{CS}$  and  $\overline{WR}$  go low and return high) during a conversion, the converter is reset and a new conversion is started. The output data latch is not updated if the conversion in process is not allowed to be completed, therefore the data of the previous conversion remains in this latch. The INTR output simply remains at the "1" level.

### 2.8 Continuous Conversions

For operation in the free-running mode an initializing pulse should be used, following power-up, to ensure circuit operation. In this application, the  $\overline{CS}$  input is grounded and the  $\overline{WR}$  input is tied to the INTR output. This  $\overline{WR}$  and INTR node should be momentarily forced to logic low following a power-up cycle to guarantee operation.

### 2.9 Driving the Data Bus

This MCS A/D, like MCS microprocessors and memories, will require a bus driver when the total capacitance of the data bus gets large. Other circuitry, which is tied to the data bus, will add to the total capacitive loading, even in TRI-STATE (high impedance mode). Backplane bussing also greatly adds to the stray capacitance of the data bus.

There are some alternatives available to the designer to handle this problem. Basically, the capacitive loading of the data bus slows down the response time, even though DC specifications are still met. For systems operating with a relatively slow CPU clock frequency, more time is available in which to establish proper logic levels on the bus and therefore higher capacitive loads can be driven (see typical characteristics curves).

At higher CPU clock frequencies time can be extended for I/O reads (and/or writes) by inserting wait states (8080) or using clock extending circuits (6800).

Finally, if time is short and capacitive loading is high, external bus drivers must be used. These can be TRI-STATE buffers

(low power Schottky such as the DM74LS240 series is recommended) or special higher drive current products which are designed as bus drivers. High current bipolar bus drivers with PNP inputs are recommended.

### 2.10 Power Supplies

Noise spikes on the  $V_{CC}$  supply line can cause conversion errors as the comparator will respond to this noise. A low inductance tantalum filter capacitor should be used close to the converter  $V_{CC}$  pin and values of 1  $\mu\text{F}$  or greater are recommended. If an unregulated voltage is available in the system, a separate LM340LAZ-5.0, TO-92, 5V voltage regulator for the converter (and other analog circuitry) will greatly reduce digital noise on the  $V_{CC}$  supply.

### 2.11 Wiring and Hook-Up Precautions

Standard digital wire wrap sockets are not satisfactory for breadboarding this A/D converter. Sockets on PC boards can be used and all logic signal wires and leads should be grouped and kept as far away as possible from the analog signal leads. Exposed leads to the analog inputs can cause undesired digital noise and hum pickup, therefore shielded leads may be necessary in many applications.

A single point analog ground that is separate from the logic ground points should be used. The power supply bypass capacitor and the self-clocking capacitor (if used) should both be returned to digital ground. Any  $V_{REF/2}$  bypass capacitors, analog input filter capacitors, or input signal shielding should be returned to the analog ground point. A test for proper grounding is to measure the zero error of the A/D converter. Zero errors in excess of  $1/2$  LSB can usually be traced to improper board layout and wiring (see section 2.5.1 for measuring the zero error).

## 3.0 TESTING THE A/D CONVERTER

There are many degrees of complexity associated with testing an A/D converter. One of the simplest tests is to apply a known analog input voltage to the converter and use LEDs to display the resulting digital output code as shown in Figure 9.

For ease of testing, the  $V_{REF/2}$  (pin 9) should be supplied with  $2.560 V_{DC}$  and a  $V_{CC}$  supply voltage of  $5.12 V_{DC}$  should be used. This provides an LSB value of 20 mV.

If a full-scale adjustment is to be made, an analog input voltage of  $5.090 V_{DC}$  ( $5.120 - 1/2$  LSB) should be applied to the  $V_{IN(+)}$  pin with the  $V_{IN(-)}$  pin grounded. The value of the  $V_{REF/2}$  input voltage should then be adjusted until the digital output code is just changing from 1111 1110 to 1111 1111. This value of  $V_{REF/2}$  should then be used for all the tests.

The digital output LED display can be decoded by dividing the 8 bits into 2 hex characters, the 4 most significant (MS) and the 4 least significant (LS). Table 1 shows the fractional binary equivalent of these two 4-bit groups. By adding the voltages obtained from the "VMS" and "VLS" columns in Table 1, the nominal value of the digital display (when  $V_{REF/2} = 2.560V$ ) can be determined. For example, for an output LED display of 1011 0110 or B6 (in hex), the voltage values from the table are  $3.520 + 0.120$  or  $3.640 V_{DC}$ . These voltage values represent the center-values of a perfect A/D converter. The effects of quantization error have to be accounted for in the interpretation of the test results.

## Functional Description (Continued)

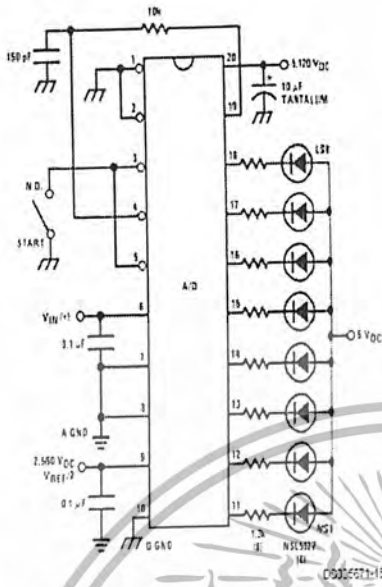


FIGURE 9. Basic A/D Tester

For a higher speed test system, or to obtain plotted data, a digital-to-analog converter is needed for the test set-up. An accurate 10-bit DAC can serve as the precision voltage source for the A/D. Errors of the A/D under test can be expressed as either analog voltages or differences in 2 digital words.

A basic A/D tester that uses a DAC and provides the error as an analog output voltage is shown in Figure 8. The 2 op amps can be eliminated if a lab DVM with a numerical subtraction feature is available to read the difference voltage, "A-C", directly. The analog input voltage can be supplied by a low frequency ramp generator and an X-Y plotter can be used to provide analog error (Y axis) versus analog input (X axis).

For operation with a microprocessor or a computer-based test system, it is more convenient to present the errors digitally. This can be done with the circuit of Figure 11, where the output code transitions can be detected as the 10-bit DAC is incremented. This provides  $\frac{1}{4}$  LSB steps for the 8-bit A/D under test. If the results of this test are automatically plotted with the analog input on the X axis and the error (in LSB's) as the Y axis, a useful transfer function of the A/D under test results. For acceptance testing, the plot is not necessary and the testing speed can be increased by establishing internal limits on the allowed error for each code.

#### 4.0 MICROPROCESSOR INTERFACING

To discuss the interface with 8080A and 6800 microprocessors, a common sample subroutine structure is used. The microprocessor starts the A/D, reads and stores the results of 16 successive conversions, then returns to the user's program. The 16 data bytes are stored in 16 successive memory locations. All Data and Addresses will be given in hexadecimal form. Software and hardware details are provided separately for each type of microprocessor.

##### 4.1 Interfacing 8080 Microprocessor Derivatives (8048, 8085)

This converter has been designed to directly interface with derivatives of the 8080 microprocessor. The A/D can be mapped into memory space (using standard memory address decoding for  $\overline{CS}$  and the  $\overline{MEMR}$  and  $\overline{MEMW}$  strobes) or it can be controlled as an I/O device by using the  $\overline{I/O R}$  and  $\overline{I/O W}$  strobes and decoding the address bits A0 → A7 (or address bits A8 → A15 as they will contain the same 8-bit address information) to obtain the  $\overline{CS}$  input. Using the I/O space provides 256 additional addresses and may allow a simpler 8-bit address decoder but the data can only be input to the accumulator. To make use of the additional memory reference instructions, the A/D should be mapped into memory space. An example of an A/D in I/O space is shown in Figure 12.

Functional Description (Continued)

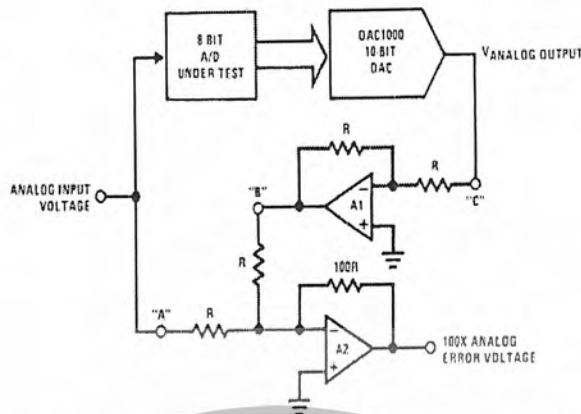


FIGURE 10. A/D Tester with Analog Error Output



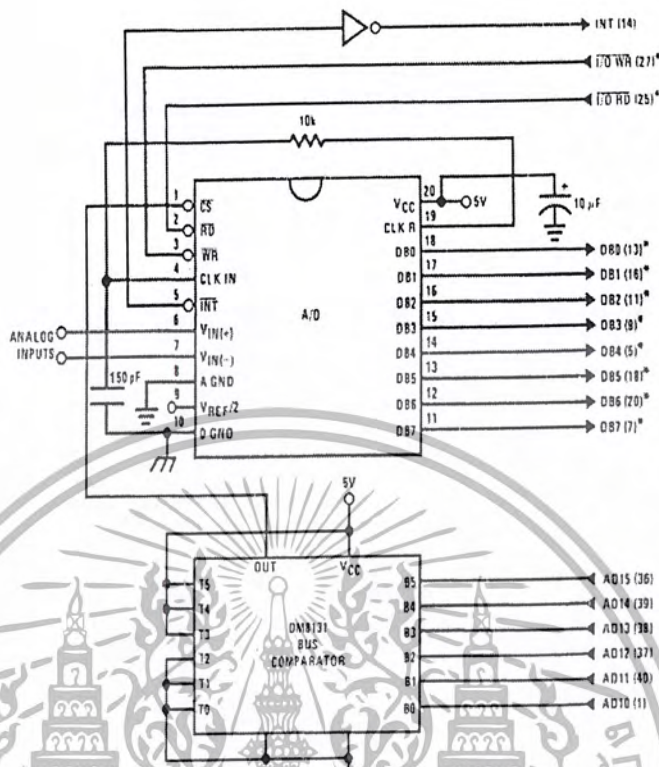
FIGURE 11. Basic "Digital" A/D Tester

TABLE 1. DECODING THE DIGITAL OUTPUT LEDs

HEX	BINARY	FRACTIONAL BINARY VALUE FOR				OUTPUT VOLTAGE CENTER VALUES WITH $V_{REF}/2 = 2.560 V_{DC}$	
		MS GROUP		LS GROUP		VMS GROUP (Note 15)	VLS GROUP (Note 15)
		F	1 1 1 1	15/16	15/256	4.800	0.300
E	1 1 1 0	7/8	7/128	4.480	0.280		
D	1 1 0 1	13/16	13/256	4.160	0.260		
C	1 1 0 0	3/4	3/64	3.840	0.240		
B	1 0 1 1	11/16	11/256	3.520	0.220		
A	1 0 1 0	5/8	5/128	3.200	0.200		
9	1 0 0 1	9/16	9/256	2.880	0.180		
8	1 0 0 0	1/2	1/32	2.560	0.160		
7	0 1 1 1	7/16	7/256	2.240	0.140		
6	0 1 1 0	3/8	3/128	1.920	0.120		
5	0 1 0 1	5/16	2/256	1.600	0.100		
4	0 1 0 0	1/4	1/64	1.280	0.080		
3	0 0 1 1	3/16	3/256	0.960	0.060		
2	0 0 1 0	1/8	1/128	0.640	0.040		
1	0 0 0 1	1/16	1/256	0.320	0.020		
0	0 0 0 0			0	0		

Note 15: Display Output = VMS Group + VLS Group

Functional Description (Continued)



Note 16: \*Pin numbers for the CP8228 system controller; others are INS8080A.

Note 17: Pin 23 of the INS8228 must be tied to +12V through a 1 k $\Omega$  resistor to generate the RST 7 instruction when an interrupt is acknowledged as required by the accompanying sample program.

FIGURE 12. ADC0801, INS8080A CPU Interface

DOC0801-1-20

**Functional Description (Continued)**

**SAMPLE PROGRAM FOR Figure 12 ADC0801-INS8080A CPU INTERFACE**

```

0038 C3 00 03 RST 7: JMP LD DATA
. . .
0100 21 00 02 START: LXI H 0200H ; HL pair will point to
; data storage locations
0103 31 00 04 RETURN: LXI SP 0400H ; Initialize stack pointer (Note 1)
0106 7D MOV A, L ; Test # of bytes entered
0107 FE 0F CPI 0FH ; If # = 16. JMP to
; user program
0109 CA 13 01 JZ CONT ; Start A/D
010C D3 E0 OUT E0H ; Enable interrupt
010E FB EI ; Loop until end of
; conversion
010F 00 LOOP: NOP
0110 C3 0F 01 JMP LOOP
0113 . CONT:
. . .
. . . (User program to
. . . process data)
. . .
0300 DB E0 LD DATA: IN E0H ; Load data into accumulator
0302 77 MOV M, A ; Store data
0303 23 INX H ; Increment storage pointer
0304 C3 03 01 JMP RETURN
    
```

Note 18: The stack pointer must be dimensioned because a RST 7 instruction pushes the PC onto the stack.  
 Note 19: All address used were arbitrarily chosen.

The standard control bus signals of the 8080 ( $\overline{CS}$ ,  $\overline{RD}$  and  $\overline{WR}$ ) can be directly wired to the digital control inputs of the A/D and the bus timing requirements are met to allow both starting the converter and outputting the data onto the data bus. A bus driver should be used for larger microprocessor systems where the data bus leaves the PC board, and/or must drive capacitive loads larger than 100 pF.

**4.1.1 Sample 8080A CPU Interfacing Circuitry and Program**

The following sample program and associated hardware shown in Figure 12 may be used to input data from the converter to the INS8080A CPU chip set (comprised of the INS8080A microprocessor, the INS8228 system controller and the INS8224 clock generator). For simplicity, the A/D is controlled as an I/O device, specifically an 8-bit bi-directional port located at an arbitrarily chosen port address, E0. The TRI-STATE output capability of the A/D eliminates the need for a peripheral interface device, however address decoding is still required to generate the appropriate  $\overline{CS}$  for the converter.

It is important to note that in systems where the A/D converter is 1-of-8 or less I/O mapped devices, no address decoding circuitry is necessary. Each of the 8 address bits (A0 to A7) can be directly used as  $\overline{CS}$  inputs—one for each I/O device.

**4.1.2 INS8048 Interface**

The INS8048 interface technique with the ADC0801 series (see Figure 13) is simpler than the 8080A CPU interface. There are 24 I/O lines and three test input lines in the 8048. With these extra I/O lines available, one of the I/O lines (bit 0 of port 1) is used as the chip select signal to the A/D, thus eliminating the use of an external address decoder. Bus control signals  $\overline{RD}$ ,  $\overline{WR}$  and  $\overline{INT}$  of the 8048 are tied directly to the A/D. The 16 converted data words are stored at on-chip RAM locations from 20 to 2F (Hex). The  $\overline{RD}$  and  $\overline{WR}$  signals are generated by reading from and writing into a dummy address, respectively. A sample interface program is shown below.

D0025671-99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Functional Description (Continued)

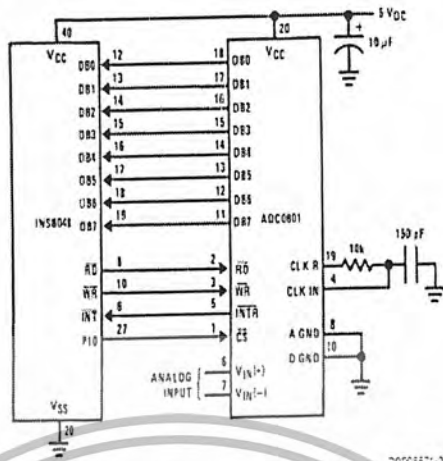


FIGURE 13. INS8048 Interface

SAMPLE PROGRAM FOR Figure 13 INS8048 INTERFACE

```

04 10      JMP      10H      ; Program starts at addr 10
04 50      ORG      3H      ; Interrupt jump vector
04 50      JMP      50H     ; Main program
04 50      ORG      10H     ; Chip select
99 FE      ANL      P1, #0FEH
81 01      MOVX     A, @R1  ; Read in the 1st data
81 01      ; to reset the intr
89 01      ORL      P1, #1  ; Set port pin high
B8 20      MOV      R0, #20H ; Data address
B9 FF      MOV      R1, #0FFH ; Dummy address
BA 10      MOV      R2, #10H  ; Counter for 16 bytes
23 FF      AGAIN:  MOV      A, #0FFH ; Set ACC for intr loop
99 FE      ANL      P1, #0FEH ; Send CS (bit 0 of P1)
91 01      MOVX     @R1, A   ; Send WR out
05 05      ENI      ; Enable interrupt
96 21      LOOP:   JNZ      LOOP ; Wait for interrupt
EA 1B      DJNZ     R2, AGAIN ; If 16 bytes are read
00 00      NOP      ; go to user's program
00 00      NOP
00 00      ORG      50H
81 01      INDATA: MOVX     A, @R1 ; Input data, CS still low
A0 01      MOV      @R0, A   ; Store in memory
18 01      INC      R0      ; Increment storage counter
89 01      ORL      P1, #1   ; Reset CS signal
27 01      CLR      A       ; Clear ACC to get out of
93 01      RETR      ; the interrupt loop
    
```

4.2 Interfacing the Z-80

The Z-80 control bus is slightly different from that of the 8080. General  $\overline{RD}$  and  $\overline{WR}$  strobes are provided and separate memory request,  $\overline{MREQ}$ , and I/O request,  $\overline{IORQ}$ , signals are used which have to be combined with the generalized strobes to provide the equivalent 8080 signals. An advantage of operating the A/D in I/O space with the Z-80 is that the CPU will automatically insert one wait state (the  $\overline{RD}$  and  $\overline{WR}$  strobes are extended one clock period) to allow more time for the I/O devices to respond. Logic to map the A/D in I/O space is shown in Figure 14.

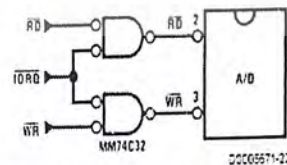


FIGURE 14. Mapping the A/D as an I/O Device for Use with the Z-80 CPU

Additional I/O advantages exist as software DMA routines are available and use can be made of the output data transfer which exists on the upper 8 address lines (A8 to

### Functional Description (Continued)

A15) during I/O input instructions. For example, MUX channel selection for the A/D can be accomplished with this operating mode.

#### 4.3 Interfacing 6800 Microprocessor Derivatives (6502, etc.)

The control bus for the 6800 microprocessor derivatives does not use the  $\overline{RD}$  and  $\overline{WR}$  strobe signals. Instead it employs a single  $R/\overline{W}$  line and additional timing, if needed, can be derived from the  $\phi 2$  clock. All I/O devices are memory mapped in the 6800 system, and a special signal, VMA, indicates that the current address is valid. Figure 15 shows an interface schematic where the A/D is memory mapped in the 6800 system. For simplicity, the  $\overline{CS}$  decoding is shown using  $\frac{1}{2}$  DM8092. Note that in many 6800 systems, an already decoded  $\overline{A75}$  line is brought out to the common bus at pin 21. This can be tied directly to the  $\overline{CS}$  pin of the A/D, provided that no other devices are addressed at HEX ADDR: 4XXX or 5XXX.

The following subroutine performs essentially the same function as in the case of the 8080A interface and it can be called from anywhere in the user's program.

In Figure 16 the ADC0801 series is interfaced to the M6800 microprocessor through (the arbitrarily chosen) Port B of the MC6820 or MC6821 Peripheral Interface Adapter (PIA). Here the  $\overline{CS}$  pin of the A/D is grounded since the PIA is

already memory mapped in the M6800 system and no  $\overline{CS}$  decoding is necessary. Also notice that the A/D output data lines are connected to the microprocessor bus under program control through the PIA and therefore the A/D  $\overline{RD}$  pin can be grounded.

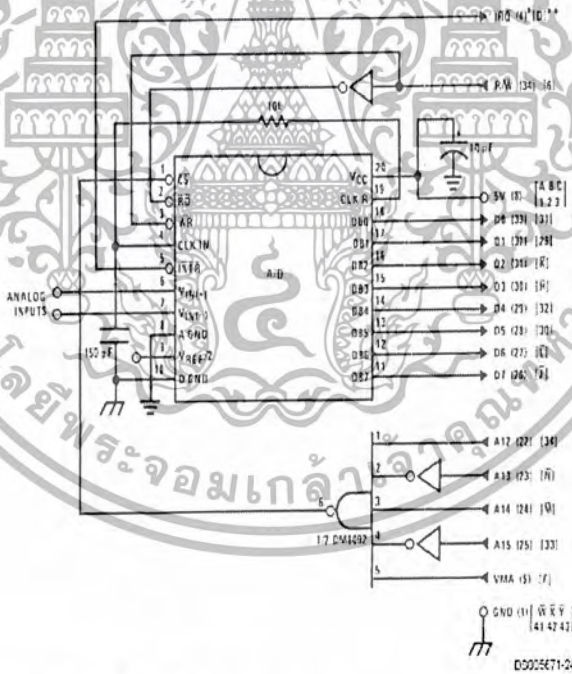
A sample interface program equivalent to the previous one is shown below Figure 16. The PIA Data and Control Registers of Port B are located at HEX addresses 8006 and 8007, respectively.

### 5.0 GENERAL APPLICATIONS

The following applications show some interesting uses for the A/D. The fact that one particular microprocessor is used is not meant to be restrictive. Each of these application circuits would have its counterpart using any microprocessor that is desired.

#### 5.1 Multiple ADC0801 Series to MC6800 CPU Interface

To transfer analog data from several channels to a single microprocessor system, a multiple converter scheme presents several advantages over the conventional multiplexer single-converter approach. With the ADC0801 series, the differential inputs allow individual span adjustment for each channel. Furthermore, all analog input channels are sensed simultaneously, which essentially divides the microprocessor's total system servicing time by the number of channels, since all conversions occur simultaneously. This scheme is shown in Figure 17.



Note 20: Numbers in parentheses refer to MC6800 CPU pin out.

Note 21: Number or letters in brackets refer to standard M6800 system common bus code.

FIGURE 15. ADC0801-MC6800 CPU Interface

Functional Description (Continued)

SAMPLE PROGRAM FOR Figure 15 ADC0801-MC6800 CPU INTERFACE

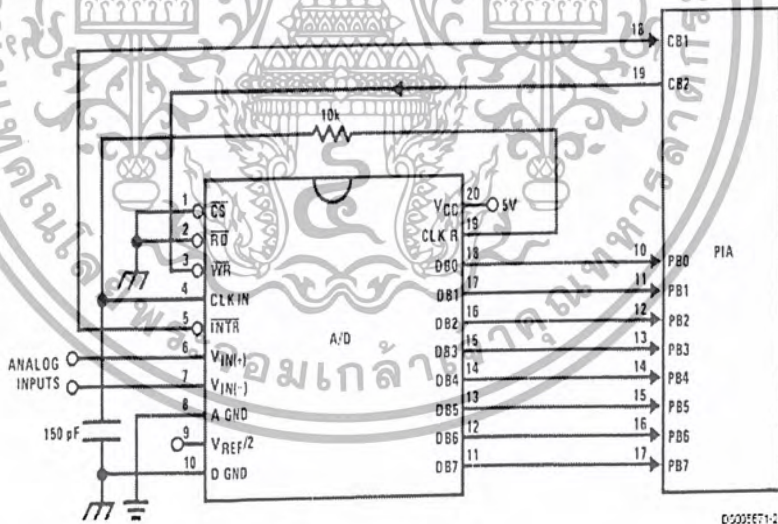
```

0010 DF 36 DATAIN STX TEMP2 ; Save contents of X
0012 CE 00 2C LDX #002C ; Upon  $\overline{IRQ}$  low CPU
0015 FF FF F8 STX $FFF8 ; jumps to 002C
0018 B7 50 00 STAA $5000 ; Start ADC0801
001B 0E CLI
001C 3E CONVRT WAI ; Wait for interrupt
001D DE 34 LDX TEMP1
001F 8C 02 0F CPX #020F ; Is final data stored?
0022 27 14 BEQ ENDP
0024 B7 50 00 STAA $5000 ; Restarts ADC0801
0027 08 INX
0028 DF 34 STX TEMP1
002A 20 F0 BRA CONVRT
002C DE 34 INTRPT LDX TEMP1
002E B6 50 00 LDAA $5000 ; Read data
0031 A7 00 STAA X ; Store it at X
0033 3B RTI
0034 02 00 TEMP1 FDB $0200 ; Starting address for
; data storage

0036 00 00 TEMP2 FDB $0000
0038 CE 02 00 ENDP LDX #0200 ; Reinitialize TEMP1
003B DF 34 STX TEMP1
003D DE 36 LDX TEMP2
003F 39 RTS ; Return from subroutine
; To user's program
    
```

DC006671-A1

Note 22: In order for the microprocessor to service subroutines and interrupts the stack pointer must be cleared in the user's program



DC006671-25

FIGURE 16. ADC0801-MC6820 PIA Interface

Functional Description (Continued)

SAMPLE PROGRAM FOR Figure 16 ADC0801-MC6820 PIA INTERFACE

```

0010 CE 00 38   DATAIN   LDX    #0038   ; Upon IRQ low CPU
0013 FFFF FB   STX     $FFFF   ; jumps to 0038
0016 B6 80 06   LDAA   PIAORB   ; Clear possible IRQ flags
0019 4F        CLRA
001A B7 80 07   STAA   PIACRB
001D B7 80 06   STAA   PIAORB   ; Set Port B as input
0020 0E        CLI
0021 C6 34     LDAB   #34
0023 86 3D     LDAA   #3D
0025 F7 80 07   CONVRT STAB   PIACRB   ; Starts ADC0801
0028 B7 80 07   STAA   PIACRB
002B 3E        WAI           ; Wait for interrupt
002C DE 40     LDX    TEMP1
002E 8C 02 0F   CPX    #020F   ; Is final data stored?
0031 27 0F     BEQ    ENDP
0033 08        INX
0034 DF 40     STX    TEMP1
0036 20 ED     BRA    CONVRT
0038 DE 40     INTRPT LDX    TEMP1
003A B6 80 06   LDAA   PIAORB   ; Read data in
003D A7 00     STAA   X        ; Store it at X
003F 3B        RTI
0040 02 00     TEMP1 FDB   $0200 ; Starting address for
                                ; data storage
0042 CE 02 00   ENDP   LDX    #0200 ; Reinitialize TEMP1
0045 DF 40     STX    TEMP1
0047 39        RTS           ; Return from subroutine
                                ; To user's program
                                PIAORB EQU $8006
                                PIACRB EQU $8007
    
```

03025671-42

The following schematic and sample subroutine (DATA IN) may be used to interface (up to) 8 ADC0801's directly to the MC6800 CPU. This scheme can easily be extended to allow the interface of more converters. In this configuration the converters are (arbitrarily) located at HEX address 5000 in the MC6800 memory space. To save components, the clock signal is derived from just one RC pair on the first converter. This output drives the other A/Ds.

All the converters are started simultaneously with a STORE instruction at HEX address 5000. Note that any other HEX address of the form 5XXX will be decoded by the circuit, pulling all the CS inputs low. This can easily be avoided by using a more definitive address decoding scheme. All the interrupts are ORed together to insure that all A/Ds have completed their conversion before the microprocessor is interrupted.

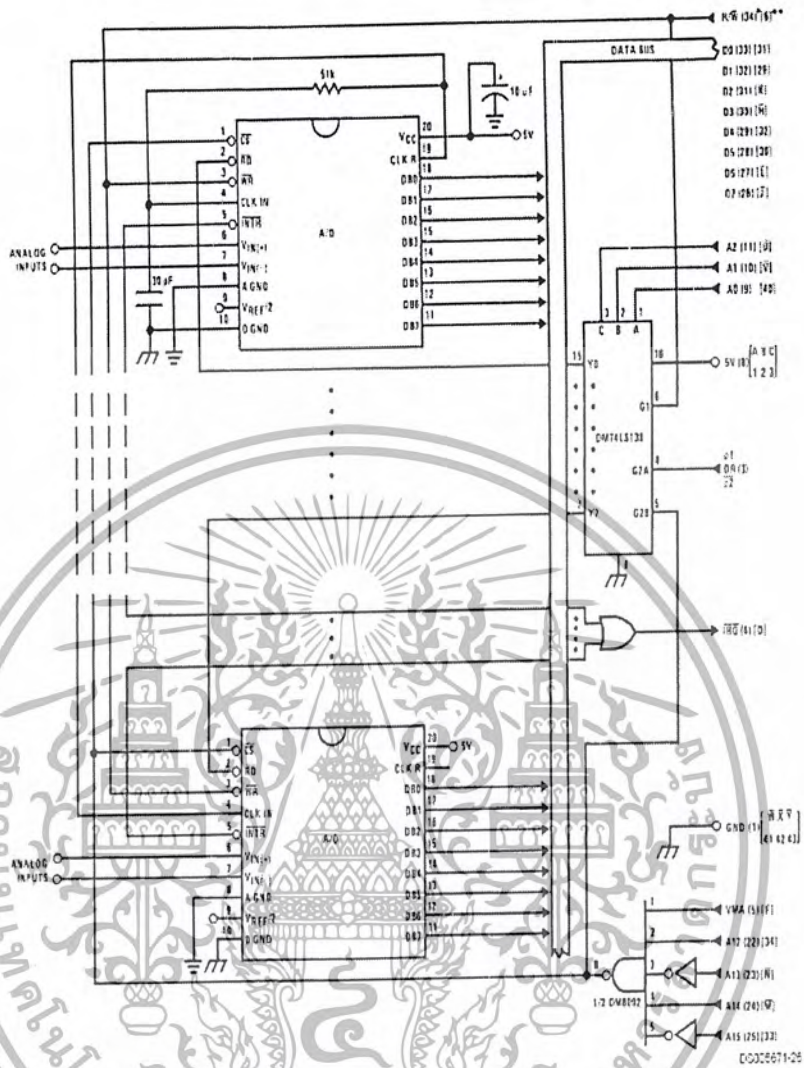
The subroutine, DATA IN, may be called from anywhere in the user's program. Once called, this routine initializes the

CPU, starts all the converters simultaneously and waits for the interrupt signal. Upon receiving the interrupt, it reads the converters (from HEX addresses 5000 through 5007) and stores the data successively at (arbitrarily chosen) HEX addresses 0200 to 0207, before returning to the user's program. All CPU registers then recover the original data they had before servicing DATA IN.

5.2 Auto-Zeroed Differential Transducer Amplifier and A/D Converter

The differential inputs of the ADC0801 series eliminate the need to perform a differential to single ended conversion for a differential transducer. Thus, one op amp can be eliminated since the differential to single ended conversion is provided by the differential input of the ADC0801 series. In general, a transducer preamp is required to take advantage of the full A/D converter input dynamic range.

Functional Description (Continued)



Note 23: Numbers in parentheses refer to MC6800 CPU pin out.

Note 24: Numbers of letters in brackets refer to standard M6800 system common bus code.

FIGURE 17. Interfacing Multiple A/Ds in an MC6800 System

## Functional Description (Continued)

SAMPLE PROGRAM FOR Figure 17 INTERFACING MULTIPLE A/D's IN AN MC6800 SYSTEM

ADDRESS	HEX CODE	MNEMONICS	COMMENTS
0010	DF 44	DATAIN STX TEMP	; Save Contents of X
0012	CE 00 2A	LDX #002A	; Upon IRQ LOW CPU
0015	FF FF FB	STX \$FFF8	; Jumps to 002A
0018	B7 50 00	STAA \$5000	; Starts all A/D's
001B	0E	CLI	
001C	3E	WAI	; Wait for interrupt
001D	CE 50 00	LDX #5000	
0020	DF 40	SIX INDEX1	; Reset both INDEX
0022	CE 02 00	LDX #0200	; 1 and 2 to starting
0025	DF 42	SIX INDEX2	; addresses
0027	DB 44	LDX TEMP	
0029	39	RIS	; Return from subroutine
002A	DE 40	INIRPT LDX INDEX1	; INDEX1 → X
002C	A6 00	LDAA X	; Read data in from A/D at X
002E	08	INX	; Increment X by one
002F	DF 40	SIX INDEX1	; X → INDEX1
0031	DE 42	LDX INDEX2	; INDEX2 → X

0000567-43

SAMPLE PROGRAM FOR Figure 17 INTERFACING MULTIPLE A/D's IN AN MC6800 SYSTEM

ADDRESS	HEX CODE	MNEMONICS	COMMENTS
0033	A7 00	STAA X	; Store data at X
0035	8C 02 07	CPX #0207	; Have all A/D's been read?
0038	27 05	BEQ RETURN	; Yes: branch to RETURN
003A	08	INX	; No: increment X by one
003B	DF 42	SIX INDEX2	; X → INDEX2
003D	20 EB	BRA INIRPT	; Branch to 002A
003F	3E	RETURN RTI	
0040	50 00	INDEX1 FDB \$5000	; Starting address for A/D
0042	02 00	INDEX2 FDB \$0200	; Starting address for data storage
0044	00 00	TEMP FDB \$0000	

0000567-44

Note 25: In order for the microprocessor to service subroutines and interrupts, the stack pointer must be dimensioned in the user's program.

For amplification of DC input signals, a major system error is the input offset voltage of the amplifiers used for the preamp. Figure 18 is a gain of 100 differential preamp whose offset voltage errors will be cancelled by a zeroing subroutine which is performed by the INS8080A microprocessor system. The total allowable input offset voltage error for this preamp is only 50 μV for 1/4 LSB error. This would obviously require very precise amplifiers. The expression for the differential output voltage of the preamp is:

$$V_O = \underbrace{[V_{IN(+)} - V_{IN(-)}]}_{\text{SIGNAL}} \underbrace{\left[1 + \frac{2R_2}{R_1}\right]}_{\text{GAIN}} + \underbrace{(V_{OS2} - V_{OS1} - V_{OS3} \pm I_X R_X)}_{\text{DC ERROR TERM}} \underbrace{\left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right)}_{\text{GAIN}}$$

where  $I_X$  is the current through resistor  $R_X$ . All of the offset error terms can be cancelled by making  $\pm I_X R_X = V_{OS1} + V_{OS3} - V_{OS2}$ . This is the principle of this auto-zeroing scheme.

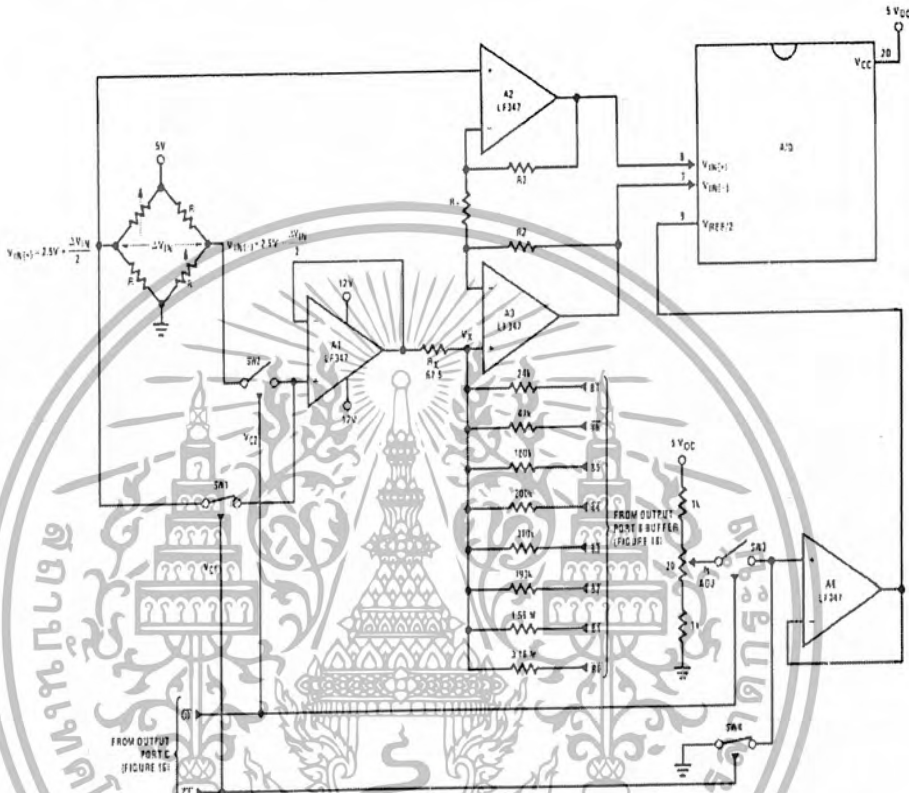
The INS8080A uses the 3 I/O ports of an INS8255 Programmable Peripheral Interface (PPI) to control the auto zeroing and input data from the ADC0801 as shown in Figure 19. The PPI is programmed for basic I/O operation (mode 0) with Port A being an input port and Ports B and C being output ports. Two bits of Port C are used to alternately open or close the 2 switches at the input of the preamp. Switch SW1 is closed to force the preamp's differential input to be zero during the zeroing subroutine and then opened and SW2 is then closed for conversion of the actual differential input signal. Using 2 switches in this manner eliminates concern for the ON resistance of the switches as they must conduct only the input bias current of the input amplifiers.

Output Port B is used as a successive approximation register by the 8080 and the binary scaled resistors in series with each output bit create a D/A converter. During the zeroing subroutine, the voltage at  $V_X$  increases or decreases as required to make the differential output voltage equal to zero. This is accomplished by ensuring that the voltage at the output of A1 is approximately 2.5V so that a logic "1" (5V) on

### Functional Description (Continued)

any output of Port B will source current into node  $V_x$ , thus raising the voltage at  $V_x$  and making the output differential more negative. Conversely, a logic "0" (0V) will pull current out of node  $V_x$  and decrease the voltage, causing the differential output to become more positive. For the resistor values shown,  $V_x$  can move  $\pm 12$  mV with a resolution of  $50 \mu\text{V}$ , which will null the offset error term to  $1/4$  LSB of full-scale for

the ADC0801. It is important that the voltage levels that drive the auto-zero resistors be constant. Also, for symmetry, a logic swing of 0V to 5V is convenient. To achieve this, a CMOS buffer is used for the logic output signals of Port B and this CMOS package is powered with a stable 5V source. Buffer amplifier A1 is necessary so that it can source or sink the D/A output current.



Note 26:  $R2 = 49.5 R1$

Note 27: Switches are LMC13304 CMOS analog switches.

Note 28: The  $D$  resistors used in the auto-zero section can be  $\pm 2\%$  tolerance

FIGURE 18. Gain of 100 Differential Transducer Preamp

DS005E11-91

Functional Description (Continued)

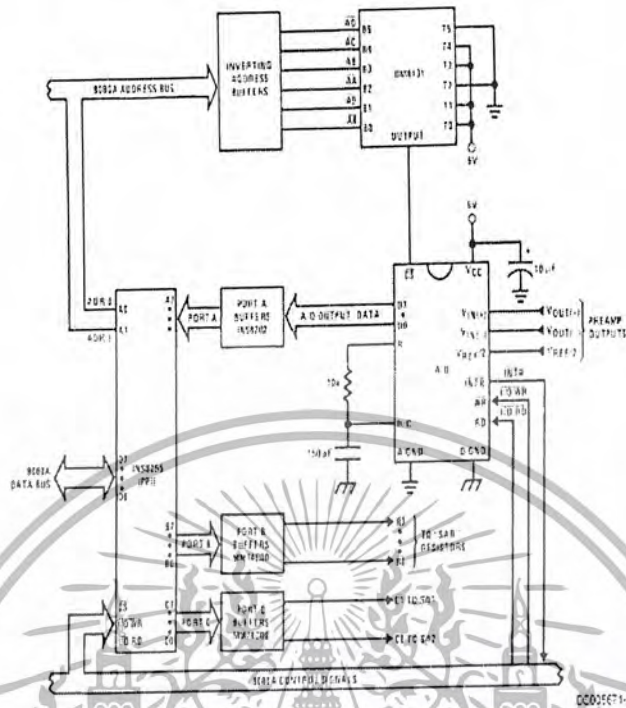


FIGURE 19. Microprocessor Interface Circuitry for Differential Preamp

A flow chart for the zeroing subroutine is shown in Figure 20. It must be noted that the ADC0801 series will output an all zero code when it converts a negative input  $[V_{IN}(-) \geq V_{REF}(+)]$ . Also, a logic inversion exists as all of the I/O ports are buffered with inverting gates.

Basically, if the data read is zero, the differential output voltage is negative, so a bit in Port B is cleared to pull  $V_x$  more negative which will make the output more positive for the next conversion. If the data read is not zero, the output voltage is positive so a bit in Port B is set to make  $V_x$  more positive and the output more negative. This continues for 8 approximations and the differential output eventually converges to within 5 mV of zero.

The actual program is given in Figure 21. All addresses used are compatible with the BLC 8010 microcomputer system. In particular:

- Port A and the ADC0801 are at port address E4
- Port B is at port address E5
- Port C is at port address E6
- PPI control word port is at port address E7
- Program Counter automatically goes to ADDR:3C3D upon acknowledgement of an interrupt from the ADC0801

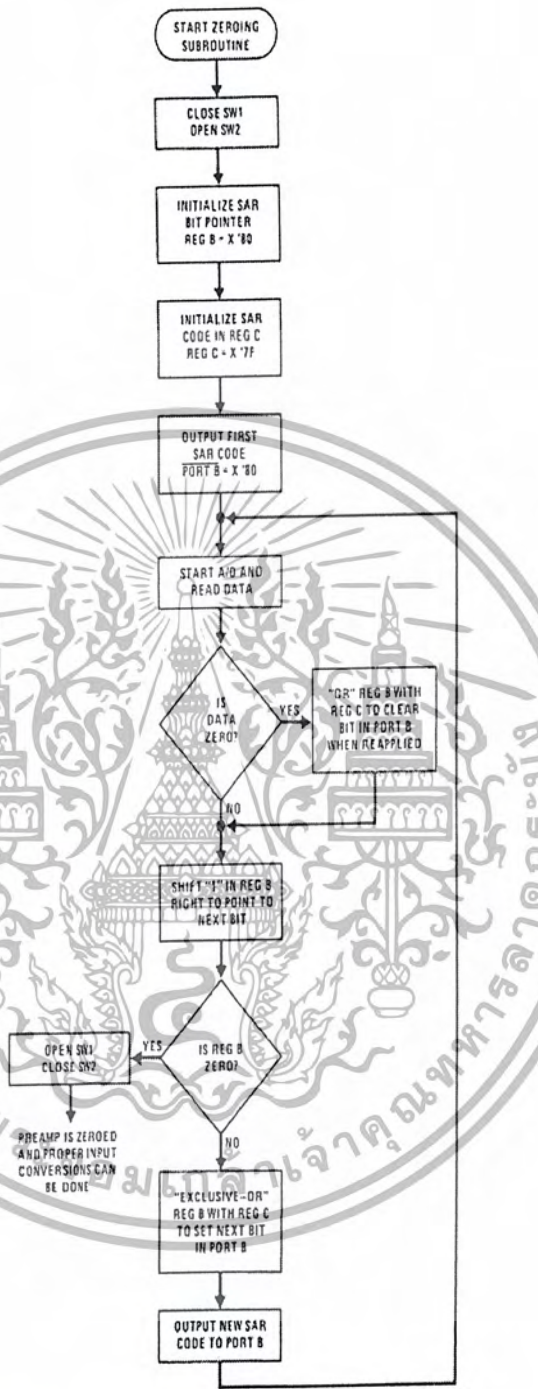
5.3 Multiple A/D Converters in a Z-80 Interrupt Driven Mode

In data acquisition systems where more than one A/D converter (or other peripheral device) will be interrupting program execution of a microprocessor, there is obviously a

need for the CPU to determine which device requires servicing. Figure 22 and the accompanying software is a method of determining which of 7 ADC0801 converters has completed a conversion (INT $\bar{R}$  asserted) and is requesting an interrupt. This circuit allows starting the A/D converters in any sequence, but will input and store valid data from the converters with a priority sequence of A/D 1 being read first, A/D 2 second, etc., through A/D 7 which would have the lowest priority for data being read. Only the converters whose INT is asserted will be read.

The key to decoding circuitry is the DM74LS373, 8-bit D type flip-flop. When the Z-80 acknowledges the interrupt, the program is vectored to a data input Z-80 subroutine. This subroutine will read a peripheral status word from the DM74LS373 which contains the logic state of the INT $\bar{R}$  outputs of all the converters. Each converter which initiates an interrupt will place a logic "0" in a unique bit position in the status word and the subroutine will determine the identity of the converter and execute a data read. An identifier word (which indicates which A/D the data came from) is stored in the next sequential memory location above the location of the data so the program can keep track of the identity of the data entered.

Functional Description (Continued)



CG005671-28

FIGURE 20. Flow Chart for Auto-Zero Routine



Functional Description (Continued)

HEX PORT ADDRESS	PERIPHERAL
00	MM74C374 8-bit flip-flop
01	A/D 1
02	A/D 2
03	A/D 3

HEX PORT ADDRESS

PERIPHERAL

04	A/D 4
05	A/D 5
06	A/D 6
07	A/D 7

This port address also serves as the A/D identifying word in the program.

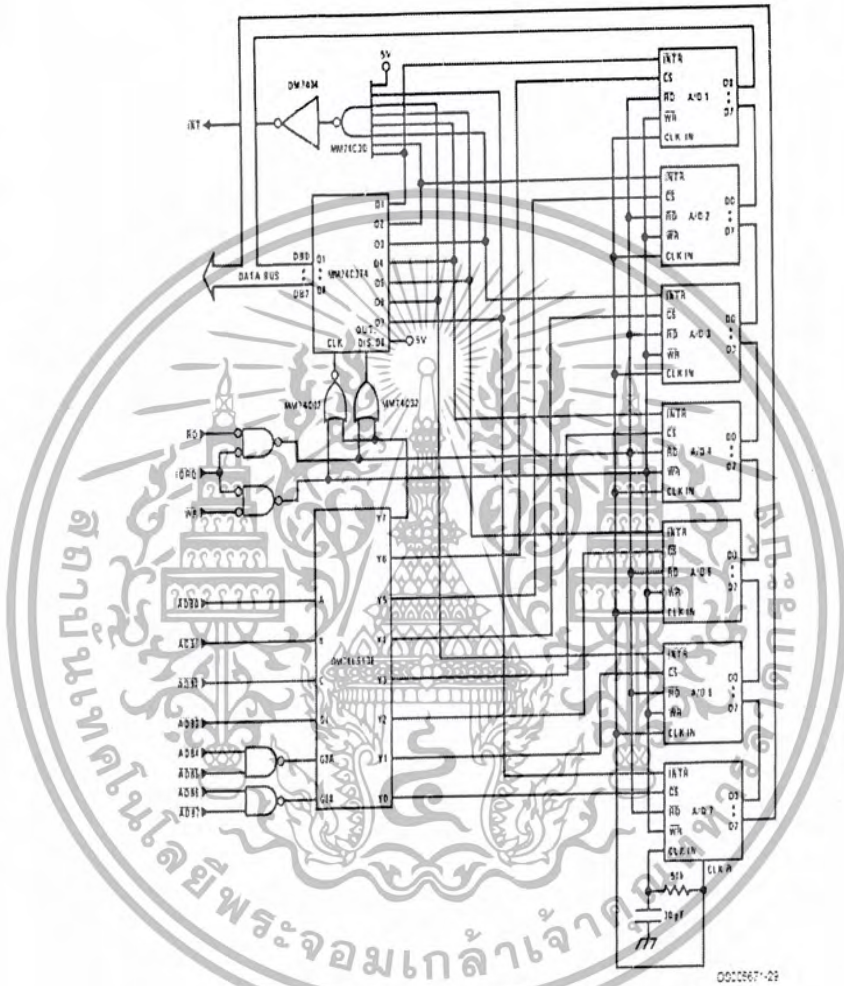


FIGURE 22. Multiple A/Ds with Z-80 Type Microprocessor

Functional Description (Continued)

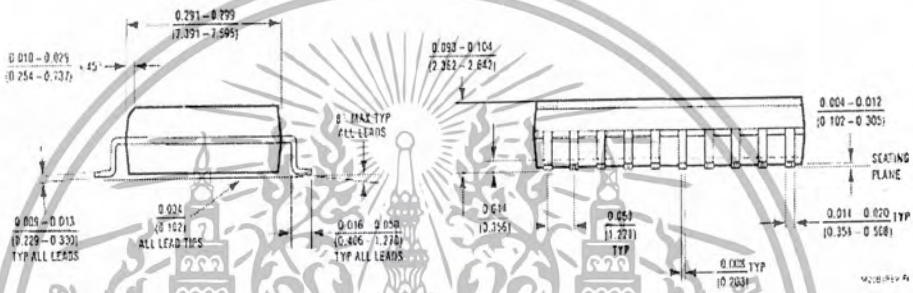
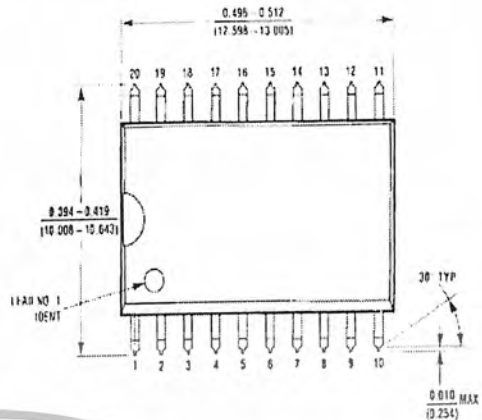
INTERRUPT SERVICING SUBROUTINE

LOC	OBJ CODE	SOURCE	STATEMENT	COMMENT
0038	E5		PUSH HL	; Save contents of all registers affected by
0039	C5		PUSH BC	; this subroutine.
003A	F5		PUSH AF	; Assumed INT mode 1 earlier set.
003B	21 00 3E		LD (HL), X3E00	; Initialize memory pointer where data will be stored.
003E	0E 01		LD C, X01	; C register will be port ADDR of A/D converters.
0040	D3 00		OUT X00, A	; Load peripheral status word into 8-bit latch.
0042	DB 00		INA, X00	; Load status word into accumulator.
0044	47		LD B, A	; Save the status word.
0045	79	TEST	LD A, C	; Test to see if the status of all A/D's have
0046	FE 08		CP, X08	; been checked. If so, exit subroutine
0048	CA 60 00		JPZ, DONE	
004B	78		LD A, B	; Test a single bit in status word by looking for
004C	1F		RRA	; a "1" to be rotated into the CARRY (an INT
004D	47		LD B, A	; is loaded as a "1"). If CARRY is set then load
004E	DA 55 00		JFC, LOAD	; contents of A/D at port ADDR in C register.
0051	0C	NEXT	INC C	; If CARRY is not set, increment C register to point
0052	C3 45 00		JP, TEST	; to next A/D, then test next bit in status word.
0055	ED 78	LOAD	INA, (C)	; Read data from interrupting A/D and invert
0057	EE FF		XOR FF	; the data.
0059	77		LD (HL), A	; Store the data
005A	2C		INC L	
005B	71		LD (HL), C	; Store A/D identifier (A/D port ADDR).
005C	2C		INC L	
005D	C3 51 00		JP, NEXT	; Test next bit in status word.
0060	E1	DONE	POP AF	; Re-establish all registers as they were
0061	C1		POP BC	; before the interrupt.
0062	E1		POP HL	
0063	C9		RET	; Return to original program

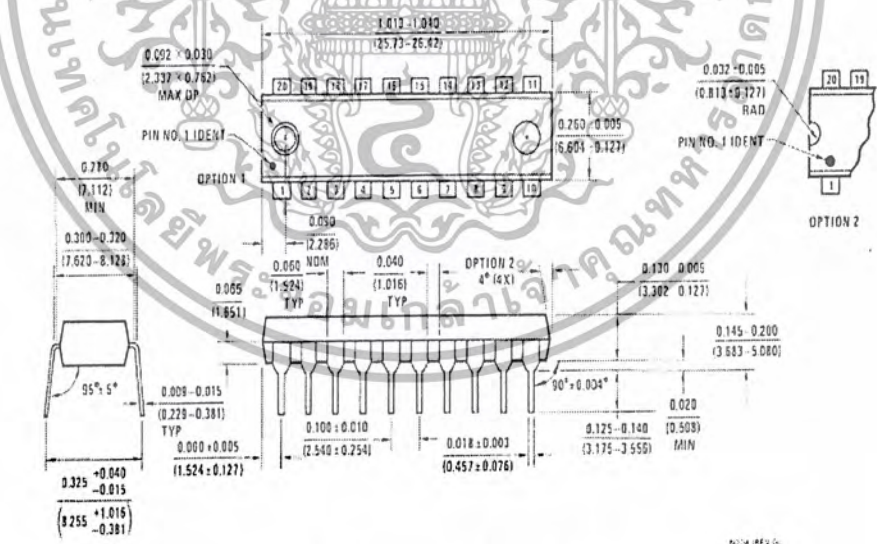
EGG02671-A6



Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted



SO Package (M)  
Order Number ADC0802LCWM or ADC0804LCWM  
NS Package Number M20B



Molded Dual-In-Line Package (N)  
Order Number ADC0801LCN, ADC0802LCN,  
ADC0803LCN, ADC0804LCN or ADC0805LCN  
NS Package Number N20A

## Inductive Gauging Sensors

# EX-200 Series

### Features

- Linearity of  $\pm 1\%$  of F.S.
- High response speed of up to 18 kHz
- Resolution of 0.04% of F.S.
- Sensor head housing IP-67 rated

### Measuring Distance

Cylindrical - 0 to 1 mm

Threaded - 0 to 2 mm

Cylindrical/Threaded - 0 to 10 mm  
0 to 5 mm

### Description

#### Accurate analog output of minute displacement

The EX-200 Series measures target displacement with a resolution of 0.04% F.S. (0.4  $\mu\text{m}$  with the EX-305 sensor head). The dual analog outputs (voltage/current) enable connection to external equipment.

#### Linearity of $\pm 1\%$ of F.S.

Using the built-in linearizer circuit, the EX-200 Series accurately outputs absolute displacement values.

#### High response speed

The EX-200 Series offers a response frequency of up to 18 kHz (with the EX-305), allowing measurement of rapidly vibrating targets.

#### Auto-zero key

Pressing the auto-zero (ZERO) key sets the present voltage output to 0 V (current output to 4 mA). Zero-point adjustment with a reference target can be completed simply by pressing the ZERO key.

#### Alarm functions

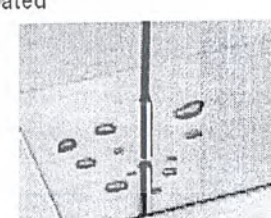
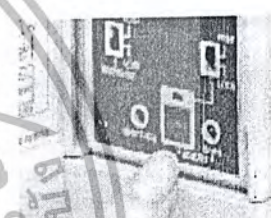
- If the sensor head is damaged or the cable is disconnected, the ALARM LED indicator lights and an alarm signal is output.
- If the target is out of the measuring range, the OVER LED indicator lights. Operators can easily adjust sensor position using the OVER indicator.

#### Sensor head housing IP-67 rated

Four sensor head models are available, including compact and long-range types.

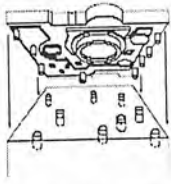
#### DIN-rail-mountable compact amplifier

The DIN-rail or screw-mountable amplifier can be installed anywhere.

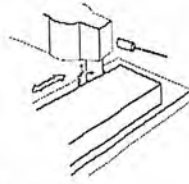


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

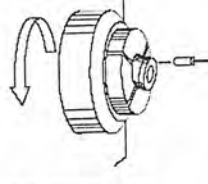
### Applications



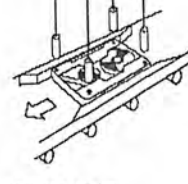
Height and parallelism measurement



Origin detection



Runout and eccentricity measurement



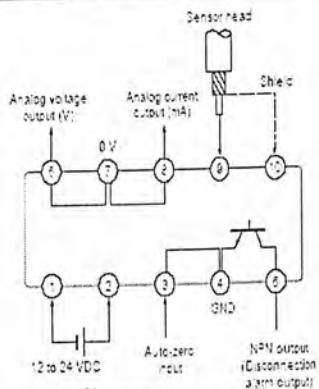
Insertion detection

### Specifications

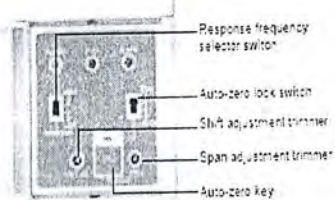
Type		Cylindrical		Threaded			
		ø4	ø5.4	M10	M12		
Model	Sensor head	EX-305	EX-110	EX-416	EX-422		
	Controller	EX-201	EX-202	EX-205	EX-210		
Measuring range		0 to 1 mm	0 to 2 mm	0 to 5 mm	0 to 10 mm		
Analog output		Output voltage				0 to 5 V (Output impedance 100 Ω)	
		Output current				4 to 20 mA (Applicable load: 0 to 350 Ω)	
		Resolution				0.04% of F.S. (Response frequency: LOW)	
		Linearity				±1% of F.S.	
		Response frequency				HIGH	10 kHz (-3 dB)
						LOW	1.3 kHz (-3 dB)
Disconnection alarm output		NPN, 100 mA (40 V) max., Residual voltage: 1 V max. (N.C.)					
Functions		Auto-zero function/Response frequency selecting function					
Temperature fluctuation	Sensor head	0.03% of F.S./°C	0.03% of F.S./°C	0.03% of F.S./°C	0.03% of F.S./°C		
	Controller	0.04% of F.S./°C	0.04% of F.S./°C	0.04% of F.S./°C	0.04% of F.S./°C		
Power supply voltage		12 to 24 VDC ±10%	12 to 24 VDC ±10%	12 to 24 VDC ±10%	12 to 24 VDC ±10%		
Current consumption		240 mA max.	240 mA max.	240 mA max.	240 mA max.		
Ambient temperature	Sensor head	-10 to +60°C	-10 to +60°C	-10 to +60°C	-10 to +60°C		
	Controller	0 to +50°C	0 to +50°C	0 to +50°C	0 to +50°C		
Enclosure rating		Sensor head: IP-67	Sensor head: IP-67	Sensor head: IP-67	Sensor head: IP-67		
Weight	Sensor head	Approx. 45 g	Approx. 55 g	Approx. 75 g	Approx. 200 g		
	Controller	Approx. 285 g	Approx. 285 g	Approx. 285 g	Approx. 285 g		

The above data was obtained using a steel target (S45C, S641, ±1 mm).  
 When measuring aluminum, copper or stainless steel targets, refer to the linear characteristics for these materials.  
 1. When the distance between the sensor head and the target is within 50% of the measuring range.  
 2. NPN output can easily be converted to PNP output by connecting the external GR-6141 PNP output converter.

### Connections



### Part Names and Functions

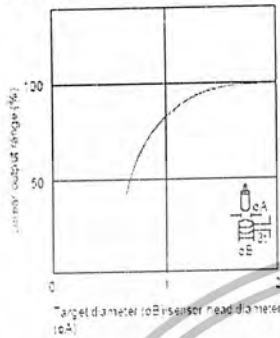


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

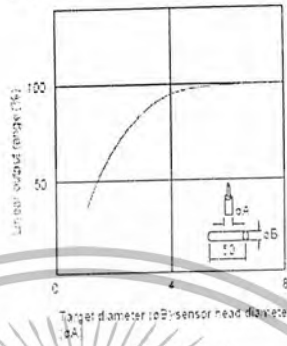
# EX-200 Inductive Gauging Sensors

## Characteristics

Output characteristics for disc target diameter measurement (Typical)

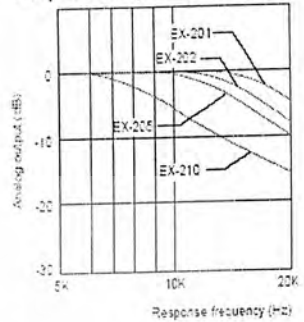


Output characteristics for cylindrical target diameter measurement (Typical)



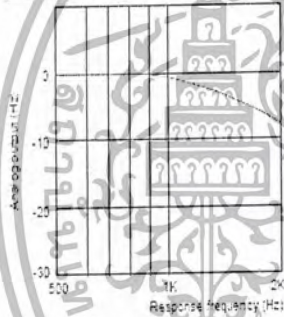
Response frequency vs. output characteristics (Typical)

Response frequency: HIGH



Response frequency vs. output characteristics (Typical)

Response frequency (all EX-200 models): LOW



Output characteristics for nonferrous metal measurement (Typical)

EX-201/EX-305

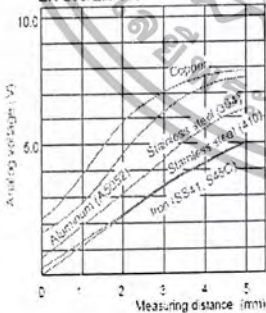


EX-202/EX-110

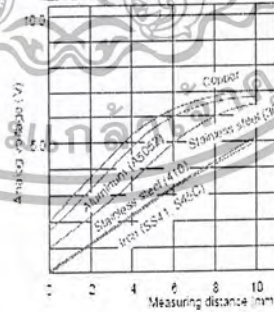


Output characteristics for nonferrous metal measurement (Typical)

EX-205/EX-416



EX-210/EX-422



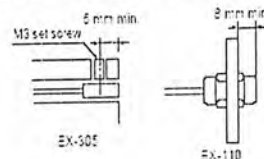
## Hints on Correct Use

### Compatibility

Since the controller and sensor head are factory-calibrated as a pair, check that they have the same serial number. If they do not have the same serial number, their characteristics may vary significantly.

### Mounting

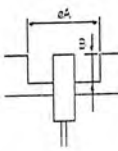
Tighten the EX-305 set screw and EX-110 nut away from the tip of the sensor head as shown in the figure.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**Flush-mounting**

The diagram and table below shows the dimensions to use when flush-mounting a sensor head onto a metal plate.



Distance	A (mm)	B (mm)
Model		
EX-305	12	9
EX-110	12	9
EX-416	35	10
EX-422	55	20

**Mutual interference**

When one or more sensor head of the same model are installed side by side, the sensor may not output the correct voltage due to mutual interference. Make sure that the distance between adjacent sensor heads is larger than the values shown below.

Distance	Parallel Installation (mm)
Model	
EX-305	36
EX-110	60
EX-416	116
EX-422	142

**Sensor head cable**

The sensor head cable length should be 3 m. If you extend or cut the cable, its characteristics will change.

**Dimensions**

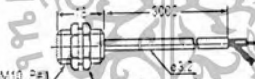
Unit: mm

**Sensor head**

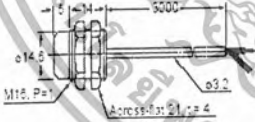
EX-305



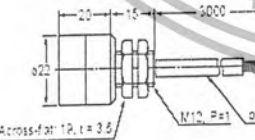
EX-110



EX-416

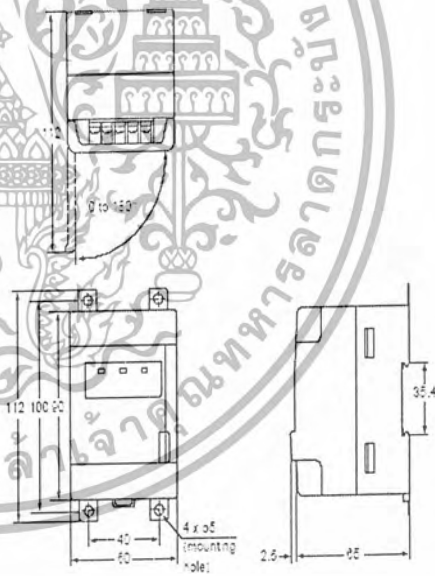


EX-422



**Controller**

EX-201/202/205/210



**Options**

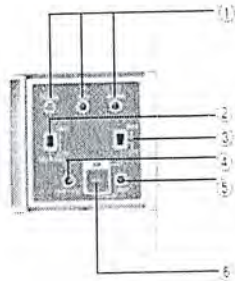
**RD Series Analog Sensor Controller**



The RD Series processes analog input signals from sensors. It can easily perform various arithmetic operations such as tolerance limit differentiation and peak-to-peak hold. For details on the RD Series, see the RD Series descriptions.



## PART NAMES AND FUNCTIONS



### 1: Indicators

POWER: Power indicator  
OVER: Measurement out-of-range indicator  
ALARM: Disconnection alarm indicator

### 2: Response frequency selector switch

- Normally, set this switch to LOW (the lower position).
- When high-speed response is required, set this switch to HIGH (the upper position).

### 3: Auto-zero lock switch

- When this switch is set to LOCK (the lower position), the auto-zero function cannot be activated using the front panel switch. (External terminal input can be used.)

### 4: Shift adjustment trimmer (for zero-point adjustment)

- This trimmer is used for the zero-point adjustment and fine shift adjustment of the output voltage.

When the lock switch is set to FREE, the zero-point value is stored in the controller every time the auto-zero function is used. (The value is retained even if the power is turned OFF.) When the lock switch is set to LOCK, the auto-zero function can be activated by external terminal input, but the zero-point value cannot be stored. To activate the auto-zero function frequently by external terminal input, set the lock switch to LOCK.

(The auto-zero function is reset by pressing the auto-zero switch for at least 3 seconds.)

- The minimum input time of external signals (both ON and OFF) is 30 ms. However, when the auto-zero lock switch is set to LOCK, the OFF time is at least 6 ms and can be input repeatedly.

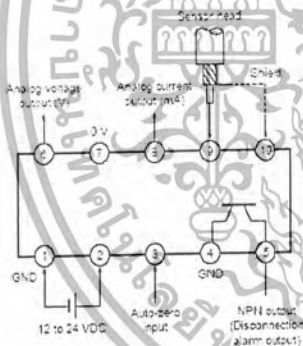
### 5: Span adjustment trimmer (for inclination adjustment)

- Changes the ratio of the analog output relative to the input value.
- Even if the auto-zero function is used, this ratio cannot be changed without adjusting this trimmer.

### 6: Auto-zero key

- This key is used to set the output to 0 V when a target is at any position within the measuring range. (When current output is used, pressing this key sets the output to 4 mA.)

## CONNECTIONS



### Description of terminals

- 3: Auto-zero input terminal:  
Sets the analog output voltage to 0 V when this terminal and GND terminal 4 are short-circuited. (When current output is used, the output current is set to 4 mA.)  
Minimum input time: 30 ms
- 5: NPN output (Disconnection alarm output) terminal:  
Outputs a signal when the sensor cable is disconnected.
- 6: Analog voltage output terminal:  
Analog voltage of 0 to 5 V relative to full measuring range is output.
- 2: Analog current output terminal:  
Analog current of 4 to 20 mA relative to full measuring range is output.

## HINTS ON CORRECT USE

When using a switching regulator, make sure that the F.G. terminal or GND terminal is grounded.

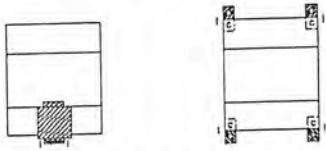
- Since the controller and sensor head are factory-calibrated as a pair, check that they have the same serial number. If they do not have the same serial number, an adjustment may be required since their characteristics may be different.
- When the DC 2-wire proximity sensor (KEYENCE EV Series) is used for auto-zero input, power supply voltage of the EX-200 Series must be 20 V or higher.
- Keep the wiring and connection cable away from high-voltage lines or power lines; otherwise noise may affect the performance of the EX-200.

- If noise from the power supply line causes the EX-200 to malfunction, use an isolation transformer with the power supply.

## INSTALLATION

### Controller

The controller can be mounted to a DIN rail. When mounting or dismantling the controller, pull the claws located at the bottom of the controller in the direction shown by the arrows. Also, the controller can be mounted with screws by pulling out the fittings.



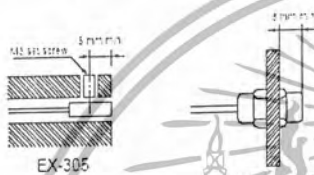
When mounted on DIN rail

When mounted with screws

### Sensor head

#### ■ Mounting

Tighten the EX-305 set screw and EX-110 nut away from the tip of the sensor head as shown in the figure.

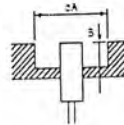


EX-305

EX-110

#### ■ Flush-mounting

The diagram and table below shows the dimensions to use when flush-mounting a sensor head onto a metal plate.



Model	Distance (mm)	A	B
EX-305	12	9	
EX-110	12	9	
EX-416	35	10	
EX-422	55	20	

#### ■ Mutual interference

When one or more sensor heads of the same model are installed side by side, the sensor may not output the correct voltage values due to mutual interference. Make sure that the distance between adjacent sensor heads is larger than the values shown below.

To obtain a resolution of 0.04%:

When the required accuracy is lower than the specifications, you can place the sensor heads closer to one another than the distance shown in the table. Please contact us for more details.

Model	Distance (mm)	Parallel installation (mm)
EX-305		36
EX-110		80
EX-416		116
EX-422		142

#### ■ Sensor head cable

Do not change the sensor head cable length (3 m). If you extend or cut the cable, its characteristics will change.

## ADJUSTMENT

Although the EX-200 Series has been factory-calibrated, check the following using an actual target.

### Adjustment procedure

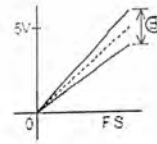
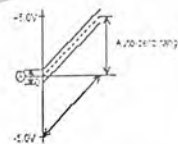
- Once connection is completed, turn the power ON. The POWER LED on the controller will light and the sensor will be in operation mode. Before starting the measurement, allow the unit to warm up for at least 30 minutes.
- Connect the panel meter or voltmeter to the analog output terminal of the controller. Check whether the output voltage is 0 V when the sensor head is in contact with the target. If the output voltage is not 0 V, press the auto-zero key to set it to 0 V.

- Place the sensor head in contact with the target again, and check whether the output voltage is 0 V. If it is not 0 V, repeat steps 2 and 3.

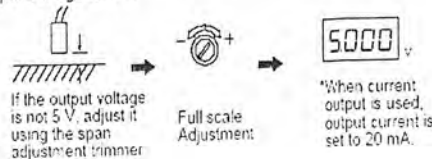
### Zero-span adjustment range

- When the shift adjustment trimmer is used, the zero-point adjustment range is  $\pm 0.5$  V ( $\pm 1.6$  mA). Using the auto-zero function, output voltage can be set to 0 V when the target is at any position within the measuring range.
- When the span adjustment trimmer is used, the span (input-to-output ratio) adjustment range is  $\pm 1.5$  V ( $\pm 4.8$  mA).

Zero adjustment range      Span adjustment range



- Set the distance between the sensor head and the target to the maximum measuring distance and check whether the output voltage is 5 V.



6

5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

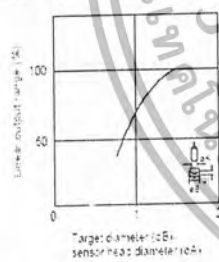
# SPECIFICATIONS

Type		Cylindrical	Threaded	Cylindrical/Threaded	
Size		ø5.4	M10	ø14.5/M16	ø22/M12
Model	Sensor head	EX-305	EX-110	EX-416	EX-422
	Controller	EX-201	EX-202	EX-205	EX-210
Measuring range		0 to 1 mm	0 to 2 mm	0 to 5 mm	
Analog output		0 to 5 V			
Output voltage		100 Ω			
Output impedance		4 to 20 mA (Applicable load: 0 to 350 Ω)			
Output current		0.04% of F.S. (Response frequency: LOW)			
Resolution		±1% of F.S.			
Linearity		Auto-zero function/Response frequency selecting function			
Response frequency	HIGH	18 kHz (-3 dB)	15 kHz (-3 dB)	13 kHz (-3 dB)	8 kHz (-3 dB)
	LOW	1.3 kHz (-3 dB)			
Functions		0.05% of F.S./°C			
Temperature fluctuation	Sensor head	0.04% of F.S./°C			
	Controller	0.04% of F.S./°C			
Power supply voltage		12 to 24 VDC ±10% Ripple (P-P): 10% max.			
Current consumption		240 mA max.			
Ambient temperature	Sensor head	-10 to +60°C (14 to 140°F), No freezing			
	Controller	0 to +50°C (32 to 122°F), No freezing			
Relative humidity		35 to 85%, No condensation			
Vibration		10 to 55 Hz, 1.5 mm double amplitude in X, Y, and Z directions, 2 hours respectively			
Enclosure rating		Sensor head: IP-67			
Weight	Sensor head	Approx. 45 g	Approx. 55 g	Approx. 75 g	Approx. 200 g
	Controller	Approx. 285 g			
Disconnection alarm output		N/A; open collector: 100 mA (40 V) max. Residual voltage: 1 V max. (N.C.)			

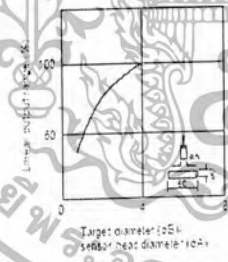
The above data is obtained using a steel target (S45C, S541, 7=1 mm). When measuring aluminum, copper, or stainless steel targets, refer to the characteristics of linearity for these materials.  
 1. When the distance between the sensor head and the target is within 50% of the measuring range.

# CHARACTERISTICS

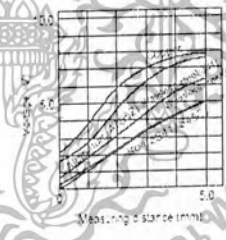
Output characteristics for disc target diameter measurement (typical)



Output characteristics for cylindrical target diameter measurement (typical)



EX-205/EX-416

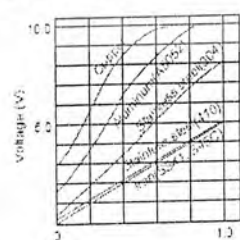


EX-210/EX-422

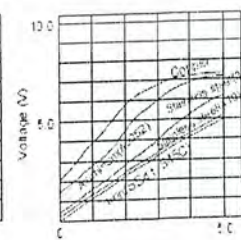


Output characteristics for non-ferrous metal measurement (typical)

EX-201/EX-305

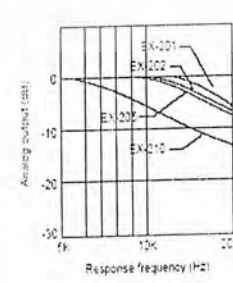


EX-202/EX-110

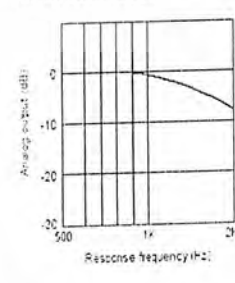


Response frequency vs. output characteristics (typical)

Response frequency: HIGH



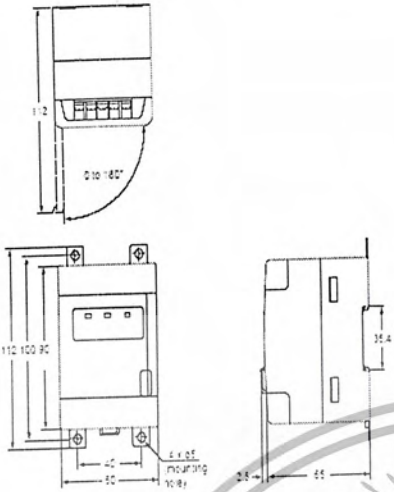
Response frequency: LOW all EX-200 models



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## DIMENSIONS

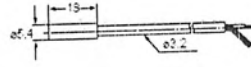
Controller EX-2XX



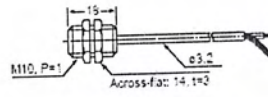
Sensor head (with 3-m coaxial cable)

Unit: mm

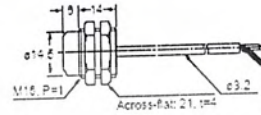
EX-305



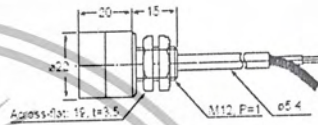
EX-110



EX-416



EX-422



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้