

ระบบควบคุมน้ำหนักผลิตภัณฑ์แบบเลือกค่าน้ำหนักได้

SELECTABLE WEIGHT OF PRODUCT CONTROL SYSTEM



นายคมสัน เทียงนาดอน

นายชำนาญ ลิ้มสกุล

นายสรวิศ เรืองกิจตระการ

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 42526  
วัน, เดือน, ปี 24 พ.ค. 2545

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

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม  
ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2543

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# **SELECTABLE WEIGHT OF PRODUCT CONTROL SYSTEM**

**KOMSAN THIENGNADON**

**CHAMNAN LIMSAKUN**

**SARAWUT REANGKITTRAKARN**



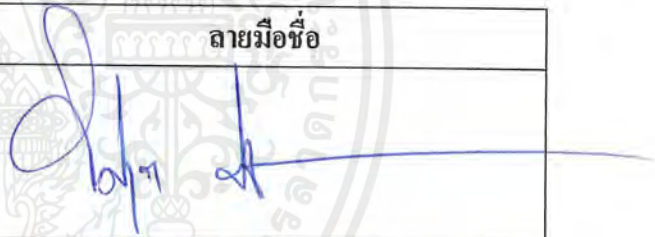
**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FLUFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTION ENGINEERING  
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL INSTRUMENTATION TECHNOLOGY  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**2000**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาโท

หัวข้อปริญญาโท ระบบควบคุมน้ำหนักผลิตภัณฑ์แบบเลือกค่าน้ำหนักได้  
SELECTABLE WEIGHT OF PRODUCT CONTROL SYSTEM  
นักศึกษาผู้จัดทำ นายคมสัน เทียงนาคอน รหัสประจำตัว 41012082  
นายชำนาญ ลิ้มสกุล รหัสประจำตัว 41012087  
นายสราวุธ เรืองกิจตระการ รหัสประจำตัว 41013430  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม  
ปีการศึกษา 2543

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาโท	ลายมือชื่อ
อาจารย์วิศรุต ศรีรัตนะ	

วันเดือนปี ที่สอบ วันพฤหัสบดี ที่ 15 มีนาคม พ.ศ. 2544

สถานที่สอบ ณ. ห้องสอบปริญญาโท ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

ภาควิชารับรองแล้ว



(ผศ.ประสิทธิ์ จุฬเสรีวงศ์)

หัวหน้าภาควิชาฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ระบบควบคุมน้ำหนักผลิตภัณฑ์แบบเลือกค่าน้ำหนักได้ SELECTABLE WEIGHT OF PRODUCT CONTROL SYSTEM	
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายคมสัน	เที่ยงนาดอน
	นายชำนาญ	ลิมสกุล
	นายสรารุช	เรืองกิจตระการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์วิสูตร	ศรีรัตนะ
ปีการศึกษา	2543	

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ นำเสนอระบบควบคุมน้ำหนักผลิตภัณฑ์แบบเลือกค่าน้ำหนักได้ เป็นการควบคุมน้ำหนักผลิตภัณฑ์ที่ได้มาจากการบรรจุภัณฑ์ให้ได้ค่าตามมาตรฐานที่กำหนด โดยสามารถตั้งค่าน้ำหนักที่ต้องการตรวจวัดได้ทั้งจากแผงควบคุมและจากคอมพิวเตอร์ โดยใช้ โทลคเซลล์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ทรานส์ดิวเซอร์ในการตรวจวัดค่าน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ สัญญาณที่ได้จากโทลคเซลล์ถูกแปลงให้อยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัลส่งให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์และคอมพิวเตอร์ตามลำดับ จากนั้นคอมพิวเตอร์จะทำหน้าที่ตรวจสอบค่าน้ำหนักที่ได้จากการตรวจวัด เก็บข้อมูลในลักษณะของฐานข้อมูลและสร้างรหัสแท่งให้กับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการตรวจวัดเพื่อใช้ในการวิเคราะห์และปรับปรุงระบบให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นต่อไป

<b>Thesis Title</b>	<b>SELECTABLE WEIGHT OF PRODUCT CONTROL SYSTEM</b>
<b>Authors</b>	<b>Mr. Komsan Thiengnador Mr. Chamnan Limsakun Mr. Sarawut Reangkittrakarn</b>
<b>Thesis Advisor</b>	<b>Mr. Witsarut Srirattana</b>
<b>Year</b>	<b>2000</b>

### Abstract

This thesis presents Selectable weight of Product Control System to be controls product's weight from producing process, acquired from the specified standard and the system can set measurement's weight by loadcell from both control panel and computer. Loadcell is transducer equipment for measure product's weight. Signals from loadcell to be converting in digital signal form and send data to microcontroller and computer sequence. Computer has duty checking weight from measurement and save data in database form and create barcode form pass's product, the database use for analysis and modify system to good efficiency.

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีเพราะได้รับความเมตตาจากอาจารย์วีศรุต ศรีรัตนะ ที่ได้ให้กำลังใจ คำแนะนำ อุปกรณ์ ข้อมูลต่าง ๆ ในการทำปริญญาานิพนธ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรมทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณ พี่ตู่ พี่จ๊อบ เจ้าหน้าที่สโตร์ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรมที่คอยบริการให้ยืมอุปกรณ์อันเป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญาานิพนธ์เป็นอย่างมาก

ขอขอบคุณ เปรม เจ้าของเครื่องพิมพ์ที่ใช้พิมพ์ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ พี่โจที่ให้คำปรึกษา การเขียนโปรแกรม และเพื่อนๆภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรมทุกคน ที่คอยติชม และให้กำลังใจในการทำปริญญาานิพนธ์ในครั้งนี้

และที่ลืมเสียมิได้คือ กราบขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ ที่ทำให้ผู้วิจัยมีกำลังใจ และความพยายามให้ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ประสบความสำเร็จลุล่วง ได้เป็นอย่างดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
<b>บทที่ 1 บทนำ.....</b>	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์.....	1
1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์.....	1
1.4 ขั้นตอนการศึกษาและดำเนินงาน.....	2
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ.....	2
<b>บทที่ 2 ระบบรหัสแท่ง.....</b>	<b>3</b>
2.1 จุดเริ่มต้นของบาร์โค้ด.....	3
2.2 ขั้นตอนการทำงานของบาร์โค้ด.....	4
2.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้บาร์โค้ด.....	4
2.3.1 ช่วยให้การขายปลีกทำได้เร็วขึ้น.....	4
2.3.2 เพิ่มประสิทธิภาพในการวางแผนการบริหาร.....	5
2.3.3 ควบคุมสินค้าคงคลังสามารถทำได้ง่าย.....	5
2.4 คำศัพท์บางคำที่มักพบในระบบบาร์โค้ด.....	5
2.5 ประเภทของบาร์โค้ด.....	7
2.5.1 Code 39.....	7
<b>บทที่ 3 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Micro Controller).....</b>	<b>10</b>
3.1 โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช.....	10
3.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AT89xx.....	10
3.3 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและตี IV อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.4 โครงสร้างและการทำงานของพอร์ต.....	13
3.4.1 การใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต.....	14
3.4.2 การใช้งานพอร์ตเอาต์พุต.....	14
3.5 พอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MC5-51.....	15
3.5.1 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส.....	15
3.5.2 การเขียนหรือส่งข้อมูลออกจากพอร์ตอนุกรม.....	17
3.5.3 การอ่านหรือรับข้อมูลจากพอร์ตอนุกรม.....	17
3.5.4 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232.....	18
3.5.5 คอนเน็คเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ.....	18
3.6 การแปลงสัญญาณอนาลอกดิจิทัลแบบซิกเซตซีฟแอปปร็อกซิเมชัน.....	21
3.6.1 ความเที่ยงตรงของวงจร ADC .....	23
3.6.2 ค่าเวลาในการแปลงสัญญาณ (Conversion time).....	24
3.6.3 ข้อมูลเบื้องต้นของ PCF 8591.....	24
3.7 รายละเอียดฟังก์ชันต่างๆของ PCF8591.....	27
3.7.1 ตำแหน่งแอดเดรส .....	27
3.7.2 ข้อมูลควบคุม.....	27
3.7.3 ออสซิลเลเตอร์.....	28
3.8 การอ่านค่าข้อมูลอินพุตอนาลอกของ PCF8591.....	28
<b>บทที่ 4 อุปกรณ์ Sensor Transducer.....</b>	<b>29</b>
4.1 ทรานสดิวเซอร์แบบหลักการของแรง .....	29
4.2 ส่วนประกอบยึดหุ่นในการวัดแรง .....	29
(ก.) โหลดเซลล์แบบลิงค์.....	30
(ข.) โหลดเซลล์แบบคาน .....	32
(ค.) โหลดเซลล์แบบวงแหวน .....	34
(ง.) โหลดเซลล์แบบแรงเฉือน .....	36

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
<b>บทที่ 5 ระบบนิวเมติกส์ (Pneumatic System).....</b>	<b>38</b>
5.1 ระเบิดอกสูบ.....	38
5.1.1 ระเบิดอกสูบลมชนิดทำงานสองทาง.....	40
5.2 โซลินอยด์.....	41
5.2.1 โครงสร้างและหลักการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว.....	41
<b>บทที่ 6 การเขียนโปรแกรมด้วย Visual Basic.....</b>	<b>43</b>
6.1 คอนโทรลภายในของ Visual Basic.....	43
6.1.1 คอนโทรลภายใน (Intrinsic Control).....	43
6.1.2 คอนโทรลมาตรฐาน (Standard Control).....	43
6.1.3 คอนโทรล ActiveX รุ่นมืออาชีพ ( Professional ActiveX Control ).....	44
6.2 คอนโทรลภายใน.....	45
6.2.1 คอนโทรล CommandButton.....	45
6.2.2 คอนโทรล TextBox.....	46
6.2.3 คอนโทรล Label.....	46
6.2.4 คอนโทรล Timer.....	47
6.3 คอนโทรลด้านฐานข้อมูล.....	48
6.3.1 คอนโทรลด้านฐานข้อมูล (Data Control).....	48
6.3.2 Microsoft JET Database Engine.....	50
6.4 ชนิดของคอนโทรลด้านฐานข้อมูล.....	50
6.4.1 คอนโทรล Data.....	51
6.4.2 คอนโทรล DBGrid (Apex Data-Bound Grid).....	52
6.5 พอร์ตอนุกรม (Serial Port).....	52
6.6 คอนโทรล MSComm.....	53
6.7 คอนโทรล MSChart.....	55
6.8 การติดต่อกับฐานข้อมูลด้วย Visual Basic.....	56
6.8.1 ติดต่อโดยอาศัยคอนโทรลด้านฐานข้อมูล.....	56
6.8.2 ติดต่อโดยใช้ออบเจกต์ Data Access Object (DAO).....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและVIENG อ่างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
6.8.3 ติดต่อผ่าน ODBC โดยตรง (ODBC Direct).....	56
6.8.4 เข้าถึงข้อมูลโดยอาศัยเทคโนโลยี OLED.....	57
6.9 การสร้างฐานข้อมูลใน Microsoft Access.....	58
<b>บทที่ 7 วงจรและการทำงานของระบบ.....</b>	<b>60</b>
7.1 ภาพรวมของระบบ.....	60
7.2 รูปแบบการทำงานของระบบ.....	60
7.2.1 ระบบนิวเมติกส์.....	60
7.2.2 วงจรรีเลย์.....	64
7.2.3 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรรีเลย์ทรอนิกส์.....	65
7.2.4 ระบบคอมพิวเตอร์.....	71
<b>บทที่ 8 ผลการทดสอบการทำงานของระบบ.....</b>	<b>73</b>
<b>บทที่ 9 สรุปและวิจารณ์.....</b>	<b>76</b>
9.1 สรุป.....	76
9.2 วิจารณ์.....	77
บรรณานุกรม.....	78
ภาคผนวก.....	79

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 Binary code ของ Code 3 of 9.....	9
3.1 หน้าที่พิเศษของพอร์ต 1 ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช.....	13
3.2 แสดงการจัดขาคอนเน็คเตอร์พอร์ตอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232.....	19
4.1 แสดงค่าของแฟลชโพลีเซลล์.....	37
6.1 แสดงคุณสมบัติของคอนโทรลต่างๆ.....	44
8.1 ค่าแรงดันที่ได้จาก Instrument Amp.....	73
8.2 แสดงผลการตรวจสอบน้ำหนักซึ่งแสดงค่าจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่ค่าน้ำหนัก 450 กรัม.....	74
8.3 แสดงผลการตรวจสอบน้ำหนักซึ่งแสดงค่าจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่ค่าน้ำหนัก 500 กรัม.....	74
8.4 แสดงผลการตรวจสอบน้ำหนักซึ่งแสดงค่าจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ที่ค่าน้ำหนัก 550 กรัม.....	75

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงรูปแบบการแสดงผลของรหัส 39.....	8
3.1 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบแฟลชเบอร์ AT89Sxx.....	11
3.2 แสดงการวางตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AT89xxx.....	11
3.3 รูปแบบข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส.....	15
3.4 ไคอะแกรมแสดงการทำงานของวงจร ADC แบบซัคเซสซีฟแอปพริอ็อกซิเมชัน.....	21
3.5 ไคอะแกรมเวลาแสดงการทำงานของวงจร ADC แบบซัคเซสซีฟแอปพริอ็อกซิเมชัน.....	22
3.6 การจัดขาของไอซี ADC/DAC ขนาด 8 บิตผ่านบัส I <sup>2</sup> C เบอร์ PCF8591.....	25
3.7 รายละเอียดข้อมูลควบคุมที่เขียนลงในรีจิสเตอร์ควบคุมภายในไอซี PCF8591.....	26
4.1 โพลดิเชลล์แบบลิงค์.....	30
4.2 โพลดิเชลล์แบบคาน.....	32
4.3 โพลดิเชลล์แบบวงแหวน.....	34
4.4 โพลดิเชลล์แบบแรงเฉือน.....	36
5.1 แสดงรูปจริงของกระบอกสูบ.....	38
5.2 ลักษณะโครงสร้างของกระบอกสูบ.....	39
5.3 ลักษณะของกระบอกสูบแบบสองทาง.....	40
5.4 แสดงรูปจริงของโซลินอยด์.....	41
5.5 โซลินอยด์วาล์วชนิดกระตุ้นด้วยไฟฟ้าถอยกลับด้วยสปริง.....	41
5.6 โซลินอยด์วาล์วชนิดกระตุ้นด้วยไฟฟ้าทั้งสองด้าน.....	42
6.1 แสดงคอนโทรล ControlButton ในขณะออกแบบ.....	45
6.2 แสดงคอนโทรล TextBox.....	46
6.3 แสดงคอนโทรล Label.....	47
6.4 แสดงคอนโทรล Timer.....	48
6.5 แสดงคอนโทรล Data.....	51
6.6 แสดงคอนโทรล DBGrid.....	52
6.7 แสดงคอนโทรล MSComm.....	54
6.8 แสดงคอนโทรล MSChart.....	55
6.9 การเริ่มต้นสร้างฐานข้อมูลของ Microsoft Access.....	58
6.10 หน้าหลักของการสร้างฐานข้อมูลด้วย Microsoft Access.....	58

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.11 การสร้างตารางใหม่ของ Microsoft Access.....	59
7.1 Timing Diagram ของระบบนิวมติกส์.....	61
7.2 กระบอกสูบ Cy1 ส่งสินค้าจากสต็อกเข้าสายพานลำเลียง.....	62
7.3 กระบอกสูบ Cy2 และ Cy3 สำหรับคัดแยกน้ำหนักสินค้า.....	62
7.4 กระบอกสูบ Cy4 และ Cy5 กำหนดหมายเลขสินค้าที่น้ำหนักผ่านตามที่กำหนด.....	63
7.5 รูปรวมของระบบ.....	63
7.6 วงจรรีเลย์ควบคุมโซลินอยด์กระบอกสูบ.....	64
7.7 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ของระบบ.....	65
7.8 Flow chart แสดงการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์.....	66
7.9 รูปรวมของแผงควบคุมการทำงาน.....	67
7.10 แผงควบคุมการทำงาน.....	67
7.11 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง.....	68
7.12 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอล แบบ I <sup>2</sup> C Bus.....	68
7.13 วงจรขยายสัญญาณ (Instrument Amp.).....	69
7.14 แสดงการต่อวงจรเข้ากับ Load cell.....	69
7.15 วงจรชุดขับรีเลย์และมอเตอร์.....	70
7.16 วงจรทั้งหมดภายในแผงควบคุม.....	70
7.17 ป้อนค่า Login และ Password ให้กับโปรแกรม.....	71
7.18 หน้าต่าง Setting ตั้งค่าน้ำหนักและหมายเลขล็อตสินค้า.....	71
7.19 หน้าต่างหลักของโปรแกรมควบคุม.....	72
7.20 การรายงานผลเป็นค่าสถิติและบาร์โค้ด.....	72

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและเหตุจูงใจของการวิจัย

ในปัจจุบันวงการอุตสาหกรรมได้มีการพัฒนาไปมาก โดยมีการควบคุมการผลิตที่มีความทันสมัย และอัตโนมัติมากขึ้น ระบบหนึ่งในโรงงานอุตสาหกรรมประเภทบรรจุผลิตภัณฑ์ที่มีความสำคัญมากคือระบบตรวจวัดน้ำหนักผลิตภัณฑ์ โครงการนี้สร้างขึ้นมาเพื่อศึกษาระบบของการตรวจวัดน้ำหนักผลิตภัณฑ์ ที่สามารถเปลี่ยนค่าน้ำหนักได้ตามต้องการและเก็บไว้เป็นสถิติเพื่อเป็นข้อมูลในการควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์

### 1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อศึกษากระบวนการขนส่งและตรวจสอบสินค้าในงานอุตสาหกรรม
2. เพื่อศึกษาการนำคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้งานในอุตสาหกรรม
3. เพื่อศึกษาการนำอุปกรณ์เซ็นเซอร์และทรานสดิวเซอร์มาใช้งานในอุตสาหกรรม
4. เพื่อทราบถึงประโยชน์ในการนำรหัสบาร์โค้ดมาใช้ในงานอุตสาหกรรม

### 1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. สร้างกระบวนการที่สามารถตรวจวัดน้ำหนักและคัดแยกสินค้าตามค่าน้ำหนักที่ตั้งไว้
2. สร้างกระบวนการที่สามารถกำหนดหมายเลขสินค้าให้กับสินค้าที่ได้ค่าน้ำหนักตามที่กำหนดเพื่อใช้ในการติดบาร์โค้ดน้ำหนักอย่างถูกต้อง
3. ใช้แสงควบคุมหรือคอมพิวเตอร์เพื่อดีงค่าน้ำหนักสินค้า
4. ออกแบบโปรแกรม (Application software) ภายใต้ระบบปฏิบัติการ Windows เพื่อควบคุมและจัดเก็บข้อมูลจากกระบวนการ
5. ออกแบบโปรแกรมเพื่อจัดเก็บข้อมูลน้ำหนักสินค้าที่ผ่านตามข้อกำหนด อยู่ในรูปแบบของรหัสบาร์โค้ด (Barcode)

#### 1.4 ขั้นตอนการศึกษาและดำเนินงาน

1. ศึกษาการนำเอาอุปกรณ์ Sensor Transducer มาติดตั้งในระบบและประยุกต์ใช้งาน
2. ศึกษาการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์
3. ศึกษาการเขียนโปรแกรมด้วย Visual Basic 6.0
4. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับระบบรหัสแท่ง(Barcode System)
5. ออกแบบวงจรควบคุมในระบบ
6. ออกแบบระบบนิวมติกส์ที่ใช้ในระบบ
7. จัดสร้างชิ้นงานตามข้อมูลที่ออกแบบไว้
8. เขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมระบบ
9. เขียนโปรแกรม Visual Basic เพื่อใช้ควบคุมระบบ
10. ตรวจสอบการทำงานของระบบ
11. หาข้อผิดพลาด และแนวทางการแก้ไข
12. สรุปผลการทดลอง แนวทางการพัฒนาต่อไปในอนาคต

#### 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการ

1. มีความรู้เกี่ยวกับการนำบาร์โค้ดมาใช้ในงานจัดเก็บผลิตภัณฑ์
2. สามารถนำไมโครคอนโทรลเลอร์ไปประยุกต์ใช้กับงานที่ต้องการได้
3. สามารถนำโปรแกรม Visual Basic ไปประยุกต์ออกแบบโปรแกรมใช้งานกับงานที่ต้องการได้
4. สามารถวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นและหาแนวทางแก้ไขได้
5. สามารถนำความรู้ที่มีอยู่มาประยุกต์เพื่อใช้กับโครงการได้

## บทที่ 2

### ระบบรหัสแท่ง (Barcode system)

บาร์โค้ดมีประโยชน์ในการเก็บบันทึกข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณของสินค้าหรือพัสดุภัณฑ์ เพื่อใช้ในการบริหารและจัดการ ความเคลื่อนไหวของตัวสินค้า ด้วยความรวดเร็ว ถูกต้องและมีความปลอดภัย เนื่องจากการอ่านข้อมูลบาร์โค้ด จะอ่านได้ด้วยตัวโค้ดถูกพิมพ์ด้วยหมึกพิมพ์ที่มีผลตอบสนองต่อแสงอินฟราเรด การทำสำเนาด้วยการถ่ายเอกสารธรรมดา (Photocopies) ไม่สามารถทำการอ่านข้อมูลได้ การอ่านข้อมูลบาร์โค้ดสามารถอ่านผ่านช่องขี้มของอากาศได้ โดยมีความยาวโฟกัส 2-4 มิลลิเมตร และเมื่อบาร์โค้ดถูกอ่านจะถอดรหัสออกมาเป็นตัวอักษร จึงไม่เกิดการสับสนหรือความผิดพลาดขึ้น

#### 2.1 จุดเริ่มต้นของบาร์โค้ด

สมาคมผู้ผลิตแห่งชาติ (The National Association for Manufacturers) สนใจที่จะนำระบบบาร์โค้ดมาใช้ และนำระบบเข้าไปอยู่ในสังกัดของ EAN (International Article Numbering Association) เพื่อกำหนดเลขรหัส 2 และ 3 ตัว เลขรหัสเฉพาะของแต่ละประเทศเรียกว่า FLAG ตัวเลขดังกล่าวเป็นรหัสแทนชื่อประเทศที่สินค้าส่ง ในสหรัฐอเมริกาสมาคมนี้มีชื่อว่า Uniform code council (UCC) สมาคมผู้ผลิตแห่งชาติซึ่งเป็นผู้กำหนดรหัส เพื่อจะใช้เป็นมาตรฐานสำหรับผู้ผลิตสินค้าให้ใช้เหมือนกัน ตัวเลขต่างๆในรหัสจะบันทึกข้อมูลของบริษัท ผู้ผลิตสินค้าและชื่อผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่จะใช้รหัสที่เหมือนกัน ตัวเลขอื่นจะแสดงข้อมูลรายละเอียดซึ่งอาจเป็นจำนวนผลิตในแต่ละประเภท เป็นต้น ดังนั้นรหัสดังกล่าวจะบันทึกข้อมูลดังต่อไปนี้

ชื่อประเทศผู้ผลิต + ชื่อบริษัทผู้ผลิต + ชื่อผลิตภัณฑ์ + รายละเอียดอื่นๆ

หลังจากนั้นจึงมีการใช้รหัสสัญลักษณ์ที่เป็นตัวเลขทั่วโลก ตัวเลขรหัส 12 ตัวเลขที่ใช้ในสหรัฐอเมริกาและแคนาดา มีชื่อย่อว่า UPC ส่วนรหัสที่ใช้ในประเทศอื่นมีชื่อย่อว่า EAN รหัสดังกล่าว ประกอบด้วยแถบเส้นในแนวตั้งที่เป็นสัญลักษณ์สำหรับอุปกรณ์อ่านข้อมูลแบบอัตโนมัติกับอีกส่วนหนึ่งที่เป็นกลุ่มตัวเลขที่เราสามารถเข้าใจได้

ในด้านโรงงานที่ต้องมีการจัดเก็บวัสดุสำรองที่มีความหลากหลายเป็นจำนวนมาก การนำบาร์โค้ดเข้ามาใช้จะช่วยทำให้ระบบการจัดเก็บและนำออกใช้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น เพราะการนำวัสดุสำรองเข้าสต็อกหรือการตัดสต็อกสามารถทำในระบบอิเล็กทรอนิกส์ นั่นคือ ปริมาณการนำเข้าหรือจ่ายออกไปสามารถทำเป็นรายงานปริมาณที่เพิ่มขึ้น หรือการใช้ไปของวัสดุสำรองในแต่ละประเภท ได้อีกทั้งยังสามารถเตือนปริมาณที่มากเกินไปหรือวัสดุสำรองที่กำลังจะใช้หมดได้ด้วย

## 2.2 ขั้นตอนการทำงานของบาร์โค้ด

เริ่มจากผู้ผลิตและผู้ประกอบการกำหนดรหัสบาร์โค้ด แต่ละชนิดแล้วจึงนำเลขรหัสมาแปลงเป็นบาร์โค้ด โดยกำหนดเป็นสัญลักษณ์แท่งคำสั่งับขาวที่มีขนาดแตกต่างกันพิมพ์ติดบนบรรจุภัณฑ์สินค้า การที่จะอ่านรหัสนี้สามารถกระทำได้อีกโดยนำแถบนี้ไปผ่านเครื่องมือที่เรียกว่าเครื่องสแกนเนอร์(Scanner)ซึ่งต่อเชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์ที่มีรายละเอียดของสินค้า ประเภทต่างๆ เมื่อเครื่องสแกนเนอร์รับรู้รหัสจากแถบคำสั่งับขาวที่หนาบางต่างกัน ก็จะส่งผ่านไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อทำการประมวลผลข้อมูลที่ได้อ่านจากบาร์โค้ด และสั่งให้เครื่อง POS. พิมพ์ใบเสร็จออกมาทันที ณ จุดขาย ในขณะที่เดียวกันคอมพิวเตอร์ก็จะทำการตัดบัญชีรายการสินค้านั้นๆออกจากสินค้าคงคลังโดยอัตโนมัติ ทำให้สะดวกแก่การเช็คสต็อกสินค้า

## 2.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้บาร์โค้ด

### 2.3.1 ช่วยให้การขายปลีกทำได้เร็วขึ้น

ในห้างสรรพสินค้าเมื่อนำบาร์โค้ดเข้าไปใช้ จะช่วยให้การคิดเงินและเก็บเงินของพนักงานเร็วขึ้น ประหยัดเวลา ทำให้บริการลูกค้าได้รวดเร็วขึ้น นอกจากนี้จะเห็นว่าจำนวนสินค้าในห้างสรรพสินค้านับแสนๆชิ้นจะไม่ต้องคิดป้ายทุกชิ้นทุกกล่อง เพียงแต่เขียนป้ายฉลากบอกราคารายละเอียดของสินค้าบนชั้นวางสินค้าเท่านั้น ผู้ซื้อจะสามารถรู้ราคาได้จากป้ายบนชั้นสินค้านั้นได้ทันที ส่วนในช่วงการลดราคาของสินค้านั้น หรือ สินค้าในช่วงพิเศษก็ไม่จำเป็นต้องมาเปลี่ยนป้ายราคาอันใหม่หมดทุกกล่องทุกชิ้น เพียงแต่ใส่ข้อมูลลงเข้าไปในเครื่องคอมพิวเตอร์ก็จะเปลี่ยนราคาที่ต้องการได้ทุกชิ้น นอกจากนี้ความสามารถในการอ่านบาร์โค้ด ณ จุดชำระเงินของการขายปลีกส่งผลให้การชำระเงินกระทำได้เร็วขึ้น ลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้น จากการกดตัวเลขราคาสินค้าของพนักงานเก็บเงิน ลดงานที่จะต้องทำตั้งแต่ 23-48% ซึ่งจะขึ้นอยู่กับจำนวนชั้นของสินค้าที่จำหน่าย ณ จุดชำระเงิน เพิ่มพื้นที่ในการขาย และลดจำนวนพนักงานเก็บเงินนอกจากนี้ยังก่อให้เกิดความสะดวกต่อการปรับราคาเพื่อการส่งเสริมการขาย

### 2.3.2 เพิ่มประสิทธิภาพในการวางแผนการบริหาร

ระบบเลขหมายประจำตัวสินค้าและบาร์โค้ดจะช่วยให้ผู้ผลิต และผู้ประกอบการสามารถ ตัดสินใจทางด้านการผลิตและการตลาดได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ เนื่องจาก ข้อมูลที่ได้จากข้อมูลที่ได้จากบาร์โค้ดจะถูกนำมาแปรเป็นข้อมูลที่สำคัญทั้งยอดขายประเภทสินค้าที่ ขายตลอดจนยอดสินค้าคงเหลือในสต็อก โดยผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังนั้นข้อมูลจากระบบบาร์โค้ด และบาร์โค้ดทำให้ผู้ผลิต ตลอดจนผู้ประกอบการสามารถทราบถึงในรูปแบบรสนิยม และความต้องการผู้บริโภคได้อย่างรวดเร็วด้วย ค่าใช้จ่ายที่ต่ำ อันเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนการผลิต และการกำหนดกลยุทธ์ด้าน การตลาดที่ทันต่อเหตุการณ์

### 2.3.3 การควบคุมสินค้าคงคลังสามารถทำได้ง่าย

การใช้บาร์โค้ดจะเกิดความสะดวกสบายทางด้านการตรวจสอบจำนวนสินค้า ทำให้ผู้บริหารสามารถรู้ได้ทันทีถึงปริมาณของสินค้าที่เพิ่งเข้ามาปริมาณของสินค้าที่มีอยู่และ ปริมาณสินค้าที่จำหน่ายออกไปทุกขณะที่สินค้ามีการเคลื่อนไหวออกจากที่เก็บสินค้าผู้บริหาร สามารถคาดการณ์ และวางแผนการควบคุมระดับสินค้าคงคลังให้อยู่ในปริมาณ ที่ต้องการได้

## 2.4 คำศัพท์บางคำที่มักพบในระบบบาร์โค้ด

- Add-on** : สัญลักษณ์รหัสบาร์โค้ดที่ใช้ร่วมกับรหัสหลัก
- AIM** : Automatic Identification Manufacturers คือหน่วยงาน องค์กร และบริษัทที่มี เกี่ยวข้องกับการผลิตสัญลักษณ์รหัสชนิดต่างๆแบบใช้ระบบอัตโนมัติหน่วยงาน ดังกล่าวผลิต และขายอุปกรณ์ทุกชนิดที่เกี่ยวข้องกับระบบสัญลักษณ์แบบต่างๆ รวมทั้งการจัดตั้งระบบสัญลักษณ์รหัสด้วย
- Analysis** : อุปกรณ์ตรวจสอบคุณภาพของฉลากบาร์โค้ด ทางอิเล็กทรอนิกส์เมื่อพิมพ์ลงบน หีบห่อของผลิตภัณฑ์ อุปกรณ์จะทำการอ่านถอดรหัส และ วิเคราะห์ข้อมูลที่เป็น สัญลักษณ์ชนิดต่างๆที่ซึ่งติดบนหีบห่อหรือพิมพ์ ลงบนสินค้าตรวจสอบคุณภาพ ของงานพิมพ์บาร์โค้ด โดยปกติจะเป็นการตรวจสอบสีที่ใช้ การสะท้อนแสงและ ค่าสีว่าเหมาะสมหรือไม่
- ASCII** : เป็นรหัสอักษรหรือกลุ่มตัวอักษรที่ได้กำหนดขึ้นเป็นมาตรฐานการสื่อสารข้อมูล ระหว่างประเทศซึ่งใช้กับระบบการสื่อสารข้อมูลและมีความหมายข้อมูลทางเป็น อิเล็กทรอนิกส์
- Aspect Ratio** : อัตราส่วนระหว่างความสูงของรหัสแท่งกับความยาวของสัญลักษณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Bar** : แท่งรหัสที่มีสีค่าทางยาว ความยาวจะยาวกว่าความหนาของแท่ง ความหนาของแท่งเป็นตัวแปร ที่กำหนดปริมาณการสะท้อนของลำแสง จากวรรคระหว่างแท่งบาร์โค้ด
- Bearer Bar** : กรอบหรือขอบเส้นดำหนา มีรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าล้อมรอบรหัสแท่ง อุปกรณ์การอ่านรหัสแท่งจะไม่อ่านข้อมูลในส่วนนี้กรอบนี้จะช่วยกำหนดบริเวณที่ใช้ติดรหัสบาร์โค้ด หรือบริเวณที่ใช้ อ่านด้วยเครื่องรหัส บางครั้งอาจไม่มีความจำเป็นก็ได้
- Bi-direction** : อุปกรณ์การอ่านรหัสแท่งสามารถอ่านได้ทั้ง 2 ทิศทางไม่ว่าจะติดทั้งแนวตั้งหรือแนวนอน
- BWR** : Bar Width Reduction หมายถึง การย่อหรือขยายสัดส่วนของรหัสแท่งบนแผ่นฟิล์มเมื่อมีการพิมพ์ทดสอบ เพื่อตรวจสอบความละเอียดในการพิมพ์
- Check Digit, Checksum - Character** : ตัวเลขที่อยู่ในรหัส check character เป็นอักขระที่ใช้ตรวจสอบใส่เข้าไปในรหัสหลักเพื่อความปลอดภัยของข้อมูล อักขระตรวจสอบนี้ได้มากจากการนำค่า check sum ของอักขระที่เป็นข้อมูลแต่ละตัวมาคำนวณ
- Character set** : สัญลักษณ์รหัสแท่งที่พิมพ์อยู่ได้บาร์โค้ดที่เป็นภาษาที่มนุษย์อ่านได้
- Code Length** : บางครั้งเรียกว่า Fixed Length ความกว้างของสัญลักษณ์คงที่ ไม่ขึ้นอยู่กับรหัสของข้อมูล ค้างเช่นที่ใช้ในรหัส UPC และ EAN หรือความยาวไม่คงที่ (Variable Length) หมายถึง สัญลักษณ์ที่ความกว้างเป็นสัดส่วนกับข้อมูลเช่นที่ใช้ในรหัส 39,93,128 และ Codabar เป็นต้น
- Continuous Code**: รหัสชนิดที่ตัวอักขระมาต่อกันโดยไม่มีช่องว่าง และหมายความรวมถึงถ้ามีช่องว่าง ช่องว่างเหล่านั้นจะเป็นส่วนหนึ่งของรหัสด้วย
- Density** : ความเข้มของรหัส คือ สัดส่วนระหว่างจำนวนรหัสสัญลักษณ์ กับ ความยาวของรหัสที่พิมพ์ออกมากปกติมีหน่วยเป็นอักขระต่อนิ้วหรือเซนติเมตรหรือไมครอน ต่อเซนติเมตร
- Depth of Field** : ผลต่างระหว่าง ระยะที่อ่านรหัสได้สูงสุด กับ ค่าสุดจากอุปกรณ์อ่านรหัสถึงบาร์โค้ด ซึ่งสามารถใช้ได้กับอุปกรณ์อ่านรหัสที่ไม่ต้องสัมผัส กับรหัสพิมพ์บนผิวของผลิตภัณฑ์
- Discrete Code** : รหัสที่แยกเป็นตัวๆ ไม่ติดกัน มีช่องวรรคระหว่างตัวอักษร ซึ่งไม่เป็นส่วนหนึ่งของรหัส มีความหมายตรงข้ามกับ Continuous Code

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Flag** : รหัสอ้างอิง แสดงชื่อประเทศหรือชนิดของผลิตภัณฑ์เป็นมาตรฐานเข้าใจกันทั่วทุกประเทศปกติจะใช้ในระบบ ปกติ จะใช้ในระบบ EAN เป็นตัวเลข 2 ถึง 3 ตัวเลขในระบบ UPC จะเป็นระบบตัวเลขแสดงชนิดของผลิตภัณฑ์เพียงตัวเลขเดียว
- Module** : ส่วนแคบที่สุดไม่ว่าจะเป็นแถบบาร์โค้ดหรือช่องว่างที่ประกอบอยู่ในบาร์โค้ด
- Normal size** : ขนาดรหัสปกติหรือขนาดมาตรฐานที่มีกำลังขยาย  $MF = 1$
- Standard Dimension** : ขนาดของรหัส ทั้งความยาวและพื้นที่เมื่อกำลังขยาย  $MF = 1$
- Start Character** : สิ่งทีบอกอุปกรณ์อ่านรหัสว่าเป็นจุดเริ่มต้นในการอ่านจะขึ้นอยู่กับชนิดของรหัส อาจเป็นตัวเลข ตัวอักษร หรือสัญลักษณ์
- Stop Character** : สิ่งทีบอกอุปกรณ์อ่านรหัสว่าเป็นจุดสิ้นสุดในการอ่านจะขึ้นอยู่กับชนิดของรหัส อาจเป็นตัวเลข ตัวอักษรหรือสัญลักษณ์
- Voids** : รหัสเสีย อาจเกิดจากจุดขาวหรือพิมพ์ผิดพลาด ขึ้นอยู่กับคุณภาพงานพิมพ์
- Wide-To-Narrow Ratio** : อัตราส่วนระหว่างส่วนที่กว้างที่สุดกับส่วนที่แคบที่สุดของบาร์โค้ด

## 2.5 ประเภทของบาร์โค้ด

การเข้ารหัสด้วยแถบเส้นและช่องว่าง หรือก็คือบาร์โค้ดนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายชนิดด้วยกัน สำหรับโครงการนี้จะใช้บาร์โค้ดชนิด Code 39 จึงจะขอกกล่าวเพียงส่วนของบาร์โค้ดตัวนี้เพียงตัวเดียวเท่านั้น

### 2.5.1 Code 39

Code 39 หรือในบางครั้งมีคนเรียกว่า 3 ใน 9 (3 of 9) ซึ่งพบเห็นได้มากโดยเฉพาะในสินค้าขายปลีก สามารถแทนอักษร A ถึง Z ตัวเลข 0 – 9 และอักขระพิเศษอีก 8 ตัว รหัสนี้มีอยู่ 2 ระดับ (กว้างและแคบ) นั่นคือแถบเส้นและช่องว่างแบ่งได้เป็น 2 ระดับไม่ว่ากว้างก็แคบ โดยมีอัตราส่วนของช่วงแคบต่อช่วงกว้างเท่ากับ 1:2.5

อักขระแต่ละตัวจะถูกแทนด้วยส่วนประกอบ 9 ส่วน โดยจะเป็นแถบเส้น 5 ส่วน และช่องว่างอีก 4 ส่วนสำหรับ 3 ใน 9 ส่วนนั้นเป็นส่วนกว้างซึ่งก็คือแถบเส้นหรือช่องว่างกว้าง (Wide) แทนด้วยไบนารี “1” ส่วนที่แคบ (narrow) จะแทนด้วยไบนารี “0” และจะมีช่องว่างแคบๆ

กันระหว่างอักขระแต่ละตัวถึงแม้ว่าจะมีทั้งหมด 512 คอมไบเนชันของไบนารี 9 บิต แต่ที่เราใช้นั้นมีเพียง 44 คอมไบเนชัน ดังนั้นรหัสนี้จะมีการตรวจสอบรหัสประจำตัวของมันเองอยู่ตลอดเวลาเพื่อความถูกต้องปลอดภัยเป็นพิเศษ เราสามารถเพิ่มอักขระตรวจสอบลงไปในข้อความแต่ละข้อความ ด้วยการคำนวณค่า check-sum โดยการบวกค่าตรวจสอบ (check-sum) ประจำตัวอักขระนั้นๆในหนึ่งข้อความและนำผลรวมที่ได้มาหารด้วย 43 ซึ่งจะช่วยให้เหลือค่าเศษมาหนึ่งค่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แล้วค่าค่าเศษที่ได้มาเทียบกับค่า Check-sum ในตารางรหัสของโค้ด ก็จะได้อักขระตรวจสอบ (Check character) ที่จะนำมาเพิ่มต่อท้ายข้อความนั้นๆ

Char.	Pattern	Bars	Spaces	Char.	Pattern	Bars	Spaces
1		10001	0100	M		11000	0001
2		01001	0100	N		00101	0001
3		11000	0100	O		10100	0001
4		00101	0100	P		01100	0001
5		10100	0100	Q		00011	0001
6		01100	0100	R		10010	0001
7		00011	0100	S		01010	0001
8		10010	0100	T		00110	0001
9		01010	0100	U		10001	1000
0		00110	0100	V		01001	1000
A		10001	0010	W		11000	1000
B		01001	0010	X		00101	1000
C		11000	0010	Y		10100	1000
D		00101	0010	Z		01100	1000
E		10100	0010	-		00011	1000
F		01100	0010	.		10010	1000
G		00011	0010	Space		01010	1000
H		10010	0010	*		00110	1000
I		01010	0010	\$		00000	1110
J		00110	0010	/		00000	1101
K		10001	0001	+		00000	1011
L		01001	0001	%		00000	0111

รูปที่ 2.1 แสดงรูปแบบการแสดงผลของรหัส 39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 Binary code ของ Code 3 of 9

ตัวอักษร	เลขฐานสอง	Check-sum
0	000110100	0
1	100100001	1
2	001100001	2
3	101100000	3
4	000110001	4
5	100110000	5
6	001110000	6
7	000100101	7
8	100100100	8
9	001100100	9
A	100001001	10
B	001001001	11
C	101001000	12
D	000011001	13
E	100011000	14
F	001011000	15
G	000001101	16
H	100001100	17
I	001001100	18
J	000011100	19
K	100000011	20
L	001000011	21
M	101000010	22
N	000010011	23
O	100010010	24
P	001010010	25
Q	000000111	26
R	100000110	27

ตัวอักษร	เลขฐานสอง	Check-sum
S	001000110	28
T	000010110	29
U	110000001	30
V	011000001	31
W	111000000	32
X	010010001	33
Y	110010000	34
Z	011010000	35
-	010000101	36
.	110000100	37
SPACE	011000100	38
*	010010100	-
\$	010101000	39
/	010100010	40
+	010001010	41
%	000101010	42

**หมายเหตุ**

อักขระ \* ไม่มีค่าตรวจสอบ (Check value) ประจำตัวของมันเอง เพราะว่ามันถูกใช้เป็นตัวแสดงถึงการเริ่มต้นและสิ้นสุดของรหัสข้อความใน Code 39 ทุกๆข้อความ

## บทที่ 3

# ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Micro Controller)

### 3.1 โครงสร้างและสถาปัตยกรรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

ในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้จะอ้างถึงไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งมีหน่วยความจำภายในแบบแฟลชของ Atmel ที่มีเบอร์ขึ้นต้นด้วย AT89 ซึ่งมีส่วนที่น่าสนใจดังนี้

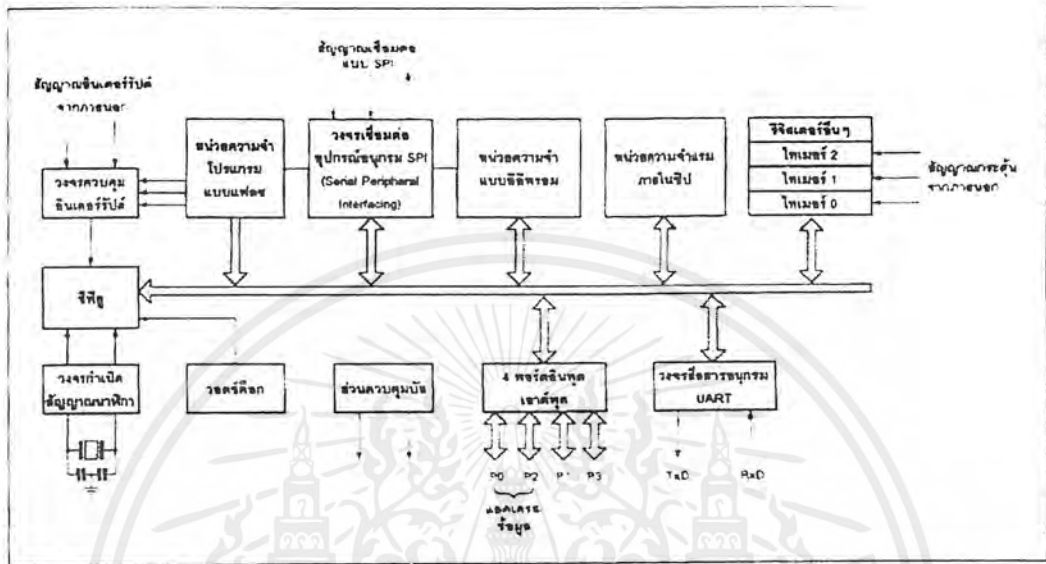
- หน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ สามารถลบและเขียนใหม่ได้เป็นพันครั้งไม่จำเป็นต้องใช้หน่วยความจำภายนอกจึงสามารถใช้พอร์ตอินพุต เอาท์พุต ได้เต็มประสิทธิภาพ
- ต้นทุนและเวลาในการพัฒนาโปรแกรมลดลงมากเนื่องจากไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือพัฒนาจำพวกอีมูเลเตอร์และเครื่องโปรแกรมอีมูเลเตอร์
- ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ออกมาให้ใช้หลายเบอร์ ทำให้มีทางเลือกในการใช้งานแตกต่างกันไปตามความสามารถของแต่ละเบอร์
- เนื่องจากใช้หน่วยความจำภายใน ช่วยให้สามารถป้องกันการคัดลอกข้อมูลของหน่วยความจำโปรแกรมได้เป็นอย่างดี
- ในบางเบอร์สามารถแก้ไขโปรแกรมภายในวงจรได้โดยเพียงต่อส่วนในการแก้ไขโปรแกรมแบบ SPI (Serial Peripheral Interface) ทำให้สะดวกต่อการแก้ไขและปรับปรุงโปรแกรม
- ชุดคำสั่งและสถาปัตยกรรมพื้นฐานเหมือนกันกับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ตระกูลอื่นๆ

### 3.2 คุณสมบัติทางเทคนิคของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AT89xx

- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูขนาด 8 บิต
- ภายในมีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลชสามารถลบและเขียนใหม่ได้พันครั้ง
- หน่วยความจำข้อมูลพื้นฐาน เป็นหน่วยความจำแบบแรมในบางเบอร์จะมีหน่วยความจำแบบ EEPROM เพิ่มเติม
- ขาพอร์ตเป็นแบบสองทิศทางสามารถเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์
- ไทเมอร์/คาน์เตอร์ขนาด 16 บิต อย่างน้อย 2 ตัว
- สามารถรองรับแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ได้ 6 ประเภท

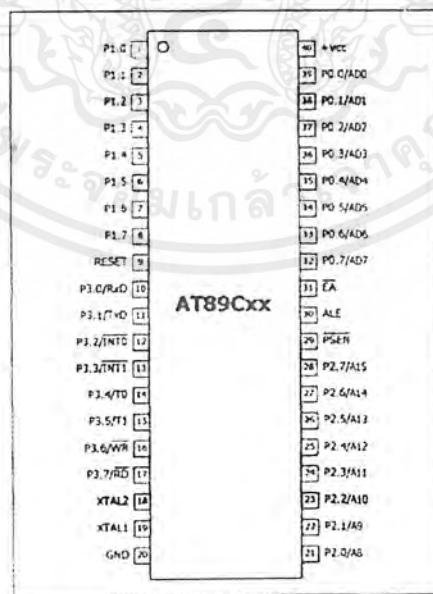
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- สามารถขยายหน่วยความจำภายนอกเพิ่มเติมได้สูงสุด 64 กิโลไบต์
- มีวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาภายในชิป
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบ SPI สำหรับในตระกูล 89Sxx
- มีวอตช์ดีค็อกไทมเมอร์ในตัว สำหรับในตระกูล 89Sxx



รูปที่ 3.1 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์แบบแฟลชเบอร์ AT89Sxx

### 3.3 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์



รูปที่ 3.2 แสดงการวางตำแหน่งขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AT89xxx

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขา Vcc ใช้สำหรับต่อไฟเลี้ยง +5V

ขา GND เป็นขากราวด์ สำหรับต่อกราวด์ของระบบ

ขาพอร์ต 0 (P0.0 – P0.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุตสำหรับใช้งานทั่วไปหากต้องการให้ขาหนึ่งขาใดในพอร์ต 0 เป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย

ขาพอร์ต 1 (P1.0 – P1.7) เป็นขาใช้งานทั่วไปมี 8 ขาแต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต

ขาพอร์ต 2 (P2.0 – P2.7) หน้าทีเหมือนกับพอร์ต 1 และพอร์ต 2

ขาพอร์ต 3 (P3.0 – P3.7) ทำหน้าที่เหมือนกับพอร์ตอื่นๆ แต่ยังเป็นขาที่มีหน้าที่การใช้งานพิเศษมีรายละเอียดดังนี้

- P3.0 ใช้เป็นขาอินพุต สำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรมหรือขา RxD
- P3.1 ใช้เป็นขาอินพุต สำหรับส่งข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรมหรือขา TxD
- P3.2 ใช้เป็นขาอินพุต สำหรับรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอกช่องที่ 0 หรือขา  $\overline{INT0}$
- P3.3 ใช้เป็นขาอินพุต สำหรับรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอกช่องที่ 1 หรือขา  $\overline{INT1}$
- P3.4 ใช้เป็นขาอินพุต สำหรับรับสัญญาณ ไทมเมอร์จากภายนอกช่องที่ 0 หรือขา T0
- P3.5 ใช้เป็นขาอินพุต สำหรับรับสัญญาณ ไทมเมอร์จากภายนอกช่องที่ 1 หรือขา T1
- ใช้เป็นขาสัญญาณ  $\overline{WR}$  ในกรณีที่ใช้เชื่อมกับหน่วยความจำภายนอก
- ใช้เป็นขาสัญญาณ  $\overline{RD}$  ในกรณีที่ใช้เชื่อมกับหน่วยความจำภายนอก

ขา รีเซต ใช้ในการรีเซตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในการป้อนสัญญาณเพื่อรีเซตสถานะที่ขานี้ต้องอยู่ในระดับรีเซตอย่างน้อย 2 แมกซ์ไซเคิล โดยที่วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกายังคงทำงานต่อเนื่องอย่างเป็นปกติ

ขา  $\overline{ALE} / \overline{PROG}$  (Address Latch Enable/Program pulse input) เป็นขาที่ใช้ในการควบคุมการแลตช์ของขาพอร์ต 0 เมื่อมีการใช้งานหน่วยความจำภายนอกนอกจากนั้นขานี้ยังใช้เป็นขาสำหรับรับพัลส์ของการโปรแกรมสำหรับโปรแกรมข้อมูลลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ในรุ่นที่มีหน่วยความจำแบบ EEPROM

ขา  $\overline{PSEN}$  (Program Store Enable) ขานี้ใช้ในการส่งสัญญาณเพื่อร้องขอติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก ตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องส่งสัญญาณขาที่ขานี้ 2 ครั้งในแต่ละแมกซ์ไซเคิล ถ้าหากติดต่อกับหน่วยความจำภายในขานี้จะไม่มีการส่งสัญญาณใดๆออกมา

ขา  $\overline{EA}/V_{pp}$  (External Access Enable/Programming voltage input) ใช้สำหรับเลือกการติดต่อหน่วยความจำภายในหรือภายนอกตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้าหากขานี้เป็น “0” เป็นการเลือกใช้หน่วยความจำโปรแกรมภายนอกแต่ถ้าหากขานี้เป็น “1” เป็นการเลือกให้ติดต่อกับหน่วยความจำภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์นอกจากนี้ขาขี้ยังใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับแรงดันไฟสูงสำหรับการโปรแกรมหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบ แฟลชต้องการแรงดันสำหรับการโปรแกรม +12 V

ขา XTAL1 และ XTAL2 ขาขี้ใช้สำหรับต่อคริสตัลเพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการทำงานของไมโครโปรคอนโทรลเลอร์

### 3.4 โครงสร้างและการทำงานของพอร์ต

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชมีพอร์ตให้ใช้งานทั้งสิ้น 4 พอร์ตคือ พอร์ต 0 ถึงพอร์ต 3 แต่ละพอร์ตมีขนาด 8 บิต เป็นพอร์ตแบบ 2 ทิศทาง กล่าวคือสามารถเป็นได้ทั้งอินพุตสำหรับรับข้อมูลเข้าและเอาต์พุตสำหรับส่งข้อมูลออกทุกพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชมีวงจรถัดและวงจรถับตลอดจนบัฟเฟอร์อินพุต

ตารางที่ 3.1 หน้าที่พิเศษของพอร์ต 1 ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

ขา	เบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์	หน้าที่พิเศษ
P1.1	AT89C52/AT89Sxx	ขาT2EX เป็นขาอินพุตทริกเกอร์สำหรับการแคปเจอร์/รีโหลดและควบคุมทิศทางของสัญญาณ
P1.4	AT89Sxx	ขาT2 เป็นขาอินพุตนับค่าของไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 และเป็นขาเอาต์พุตของการกำเนิดสัญญาณนาฬิกาโดยไทมเมอร์ 2
P1.5	AT89Sxx	ขา $\overline{SS}$ (Slave Select) เป็นขาเลือกการติดต่อในกรณีที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์สเลฟ ในระบบการติดต่อแบบ SPI
P1.6	AT89Sxx	ขา MOSI (Master data output , Slave data output) ใช้ในการติดต่อกับพอร์ต SPI
P1.7	AT89Sxx	ขา MISO (Master data input , Slave data input) ใช้ในการติดต่อกับพอร์ต SPI
P1.0	AT89C52/AT89Sxx	ขา SCK (Master clock output) เป็นขาสัญญาณนาฬิกาของการติดต่อกับพอร์ต SPI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่พอร์ต 0 และพอร์ต 2 จะใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตสำหรับงานทั่วไป และใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก สำหรับพอร์ต 3 ทั้งพอร์ตและพอร์ต 1 บางงานนอกจากจะใช้เป็นขาพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตตามปกติแล้วยังสามารถใช้งานในหน้าที่พิเศษได้อีก ขึ้นอยู่กับว่าเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ใด ดังสรุปในตารางที่ 3.1

### 3.4.1 การใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต

เนื่องจากพอร์ตทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชสามารถเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องทำความเข้าใจถึงการกำหนดลักษณะการทำงานให้แก่พอร์ตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

ในการกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุตต้องเริ่มด้วยการเขียนข้อมูล "1" มาที่แต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการใช้งานเป็นอินพุต เพื่อหยุดการทำงานของเฟลที่ใช้ในการขับสัญญาณเอาต์พุตของบิตนั้นๆ ทำให้ขาสัญญาณของพอร์ตเชื่อมต่อกับวงจรพูลอัพโดยตรง ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีลอจิกเป็น "1" ซึ่งสามารถรับลอจิก "0" จากอุปกรณ์ภายนอกได้ง่าย สัญญาณข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกจะถูกส่งเข้ามาแล้วเก็บไว้ในวงจรบัฟเฟอร์ภายในพอร์ต แล้วรอให้ CPU มาอ่านค่าเข้าไป เมื่อเป็นเช่นนี้ อุปกรณ์ภายนอกที่เชื่อมต่อกับพอร์ตอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชควรกำหนดให้ทำงานในสภาวะลอจิก "0" จะดีและสะดวกที่สุด (ซึ่งในปัจจุบันอุปกรณ์อินพุตที่เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์แทบทั้งหมดทำงานที่ลอจิก "0" แล้ว)

### 3.4.2 การใช้งานพอร์ตเอาต์พุต

โดยปกติแล้วขาพอร์ตจะกำหนดให้มีลักษณะเป็นเอาต์พุตอยู่แล้ว ดังนั้นจึงสามารถส่งข้อมูลได้อย่างง่ายดายและตรงไปตรงมากล่าวคือ เมื่อต้องการส่งข้อมูล "0" ออกไปทางเอาต์พุตก็ให้เขียนข้อมูล "0" ไปยังวงจรแลตซ์ซึ่งจะส่งผลต่อไปขับเฟล ทำให้เฟลทำงานที่ขาพอร์ตที่กำหนดให้ทำงานก็จะเกิดลอจิก "0" ขึ้นในทางตรงข้ามหากส่งข้อมูล "1" ออกไปก็ให้เขียนข้อมูล "1" ในวงจรแลตซ์ วงจรขับก็จะหยุดทำงาน ทำให้ที่ขาพอร์ตเชื่อมต่อกับวงจรพูลอัพภายในเกิดเป็นลอจิก "1" ที่ขาพอร์ตนั้น ซึ่งจะคล้ายกับการกำหนดให้เป็นขาอินพุตมาก เพียงแต่ต่างกันที่กระบวนการเคลื่อนย้ายข้อมูล โดยถ้าเป็นอินพุตจะมีสัญญาณมาอ่านข้อมูลที่บัฟเฟอร์ แต่ถ้าเป็นเอาต์พุตไม่มีการอ่านข้อมูลที่บัฟเฟอร์แต่อย่างใด เว้นแต่ในกรณีที่ต้องการตรวจสอบข้อมูลที่ส่งออกมาทางเอาต์พุต

เมื่อใช้งานพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ของ MCS-51 แบบแฟลชเป็นแบบเอาต์พุตแต่ละขา(หรือแต่ละบิต) ของแต่ละพอร์ตมีความสามารถในการจ่ายกระแสหรือเรียกว่ากระแสซอร์ส(source current) ได้สูงสุด 10 mA และทุกขารวมกันในแต่ละพอร์ต(ทั้ง 8 บิต) สูงสุด 26 mA

สำหรับพอร์ต 0 และ 15 mA สำหรับพอร์ต 1-3 ในกรณีที่ใช้งานทุกพอร์ตเอาต์พุตสามารถจ่ายเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระแสได้รวมกันสูงสุด 71 mA ดังนั้นในการใช้งานเป็นพอร์คอร์ทพุทเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับความสามารถในการจ่ายกระแสจึงควรต่อวงจรบัฟเฟอร์ทางเอาท์พุทเพื่อช่วยขับกระแสอีกทางหนึ่ง

### 3.5 พอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MC5-51

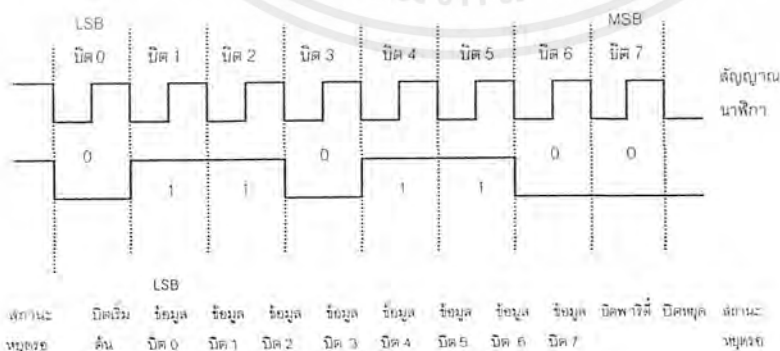
ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์ 1 ชุด (วงจรสื่อสารแบบฟูลดูเพล็กซ์ หมายถึง วงจรสื่อสารที่สามารถทำการรับและส่งข้อมูลในลักษณะ 2 ทิศทางได้ในเวลาเดียวกัน) โดยใช้ขาสัญญาณของพอร์ต 3 คือ ขา P 3.0 เป็นขาข้อมูลเข้าหรือ RXD และขา P3.1 เป็นขาส่งข้อมูลออกหรือ TXD โดยวงจรสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 แบบแฟลชเป็นแบบอะซิงโครนัส ปกติแล้วพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะใช้ในการติดต่อสื่อสารกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ โดยใช้มาตรฐาน RS-232 แต่ในปัจจุบันสามารถติดต่อกันในมาตรฐาน RS-422 หรือ RS-485 ได้แล้วโดยใช้ไอซีพิเศษที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณการสื่อสารดังกล่าว

#### 3.5.1 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

การส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสคือการรับและส่งข้อมูลโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิกาไปด้วย แต่จะใช้การกำหนดค่าอัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูลให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกอัตราเร็วนี้ว่า อัตราบอดเรต หรือ บอดเรต (Baud rate) มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที (bps)

รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบอะซิงโครนัสประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกันคือ

1. บิตเริ่มต้น (start bit) มีขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูลแบบอนุกรมมีขนาด 8 บิต
3. บิตตรวจสอบพาริตี (parity bit) มีขนาดหนึ่งบิตหรือ ไม่มี
4. บิตปิดท้ายหรือบิตหยุด (stop bit) มีขนาด 1 บิต



รูปที่ 3.3 รูปแบบข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.3 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส เมื่อไม่มีการส่งข้อมูล DATA จะมีสถานะลอจิก “1” เรียกสถานะนี้ว่า สถานะหยุดรอ (wait state) การเริ่มต้นการส่งข้อมูลจะเริ่มจากการให้ขา DATA มีลอจิก “0” ด้วยช่วงระยะเวลา 1 บิต เรียกบิตนี้ว่า บิตเริ่มต้น (start bit) จากนั้นข้อมูลจะถูกส่งออกไป โดยเริ่มจากบิตนัยสำคัญต่ำสุดหรือ LSB ก่อนซึ่งข้อมูลที่ต้องการส่งมีจำนวน 8 บิต จากนั้นตามด้วย บิตพาริตี (parity bit) ซึ่งใช้ตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูล บิตสุดท้ายที่จะส่งคือ บิตปิดท้ายหรือบิตหยุด (stop bit) โดยจะเป็นการทำให้ขา DATA มีลอจิก “1” อีกครั้งด้วยระยะเวลาอย่างน้อย 1 บิต 1.5 บิต หรือ 2 บิต เพื่อเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูลแล้ว

อัตราความเร็วในการรับและส่งข้อมูลของการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสหรือบอดเรตที่ใช้สำหรับพอร์ตอนุกรม RS-232 มีด้วยกันหลายค่าได้แก่ 110, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600 และ 19200 บิตต่อวินาที โดยมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามเทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์ เนื่องจากอัตราคือค่าของจำนวนบิตที่ส่งได้ภายใน 1 วินาที สมมติว่าข้อมูลอนุกรมมีขนาด 8 บิต ไม่มีการตรวจสอบพาริตี มีบิตเริ่มต้น 1 บิตและบิตปิดท้าย 1 บิต ความยาวของข้อมูล 1 ไบต์จะมีขนาดเท่ากับ 10 บิต ถ้าใช้บอดเรตในการส่งข้อมูลเท่ากับ 9600 บิตต่อวินาทีก็จะสามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็ว 960 ไบต์ต่อวินาที การตรวจสอบพาริตีสามารถกำหนดให้เป็นแบบคี่ (odd) แบบคู่ (even) หรือไม่มีการตรวจสอบพาริตีก็ได้ พาริตีคี่หรือคู่ แสดงถึงจำนวนลอจิก “1” ทั้งหมดภายในข้อมูลที่ส่งไป 1 ไบต์รวมบิตพาริตีว่ามีจำนวนเลขคี่หรือเลขคู่ ยกตัวอย่างข้อมูลที่ทำการส่งมีขนาด 8 บิต มีค่าเท่ากับ 99h หรือ 10011001b จะเห็นว่าข้อมูลในไบต์นี้มีจำนวนลอจิก “1” จำนวน 4 ตัวซึ่งเป็นเลขคู่ ดังนั้นถ้ากำหนดค่าพาริตีเป็นคู่ ค่าของบิตพาริตีจะต้องมีลอจิกเป็น “0” แต่ถ้ากำหนดพาริตีเป็นคี่ ค่าของพาริตีจะต้องเป็น “1” เพื่อให้ข้อมูล 1 ไบต์ รวมทั้งบิตพาริตีเป็นคี่

บิตพาริตีถูกสร้างขึ้นจากภาคส่งข้อมูลของ UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) : เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลอนุกรม) ซึ่งทางภาครับจะต้องกำหนดคุณสมบัติการตรวจสอบพาริตีที่ตรงกันเอาไว้ว่าจะตรวจสอบพาริตีคู่หรือพาริตีคี่ จากนั้นภาครับของ UART จะทำการตรวจสอบค่าพาริตีที่เกิดขึ้นว่าเป็นคู่หรือคี่ โดยการนับจำนวนลอจิก 1 ทั้งหมดรวมทั้งบิตพาริตีด้วย ถ้ากำหนดพาริตีไว้เป็นคู่แต่อ่านค่าตัวเลขในการนับค่าออกมาได้เป็นคี่ ทางภาครับจะแสดงข้อผิดพลาดออกมา ให้ผู้ใช้ทราบ กระบวนการดังกล่าวเป็นวิธีการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการรับส่งข้อมูลที่ยากที่สุด แต่มันสามารถตรวจสอบได้เมื่อมีบิตข้อมูลที่ทำการรับส่งข้อมูลผิดพลาดเพียงบิตเดียวเท่านั้น ถ้าข้อมูลที่ทำการส่งมีบิตผิดพลาดมากกว่าหนึ่งบิต การตรวจสอบด้วยวิธีนี้จะไม่ได้ผล สำหรับการตั้งพาริตีบิตเป็น NONE ทั้งทางภาครับและภาคส่ง จะไม่มีการตรวจสอบพาริตี

### 3.5.2 การเขียนหรือส่งข้อมูลออกจากพอร์ตอนุกรม

ข้อมูลที่ต้องการส่งออกทุกค่าต้องนำไปเก็บไว้ที่รีจิสเตอร์บีฟเฟอร์ของพอร์ตอนุกรม ซึ่งก็คือ รีจิสเตอร์ SBUF ดังตัวอย่าง

MOV SBUF, # 'A'

จากคำสั่งข้างต้นเป็นการส่งข้อมูลของตัวอักษร A ไปยังพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์อย่างไรก็ตามก่อนทำการส่งข้อมูลทุกครั้ง ต้องแน่ใจว่าบิต TI มีค่าเป็น 0 และเมื่อทำการส่งข้อมูลแล้ว ก็จะเกิดการเซ็ท TI เพื่อแจ้งให้ทราบ ดังตัวอย่างโปรแกรมต่อไปนี้

CLR TI ; เคลียร์บิต TI เพื่อเตรียมการส่งข้อมูลออก  
 MOV SBUF, # 'A' ; ส่งข้อมูลตัวอักษร A ไปยังพอร์ตอนุกรม  
 JNB TI, \$ ; รอการเซตบิต TI เพื่อแจ้งการส่งข้อมูลที่เสร็จสมบูรณ์

### 3.5.3 การอ่านหรือรับข้อมูลจากพอร์ตอนุกรม

การรับข้อมูลจากพอร์ตอนุกรมสามารถทำได้ง่ายมาก เพียงทำการตรวจว่าบิต RI เกิดการเซตขึ้นหรือไม่ ถ้าพบว่ามีการเซตเกิดขึ้นแล้ว ให้ทำการอ่านค่าจากรีจิสเตอร์ SBUF โดยต้องทำการโอนย้ายข้อมูลผ่านทาง แอควิวมูลเตอร์(A) ดังตัวอย่าง

CLR RI ; เคลียร์บิต RI เพื่อการรับข้อมูล  
 JNB RI, \$ ; รอคอยการเซตบิต RI อันเป็นการแจ้ง ให้ทราบ  
 ; ว่า การรับข้อมูลเสร็จสมบูรณ์  
 MOV A, SBUF ; อ่านค่าจากรีจิสเตอร์ โดยทำการ โอนย้ายมา  
 ; A  
 CLR RI ; หลังจากทำการรับข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ต้อง  
 ; RI เสมอ

### 3.5.4 มาตรฐานพอร์ตอนุกรมแบบ RS-232

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรมแบบ RS-232 เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ ออกแบบมาเพื่อใช้ในการส่งผ่านข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง โดยมาตรฐาน RS-232 ในอดีตนั้นถูกออกแบบมาเพื่อการส่งผ่านข้อมูลจากคอมพิวเตอร์ไปยังโมเด็มเพียงอย่างเดียว เพื่อที่จะนำข้อมูลจากโมเด็มนี้สื่อสารผ่านสายโทรศัพท์ไปยังคอมพิวเตอร์อีกชุดซึ่งอยู่ห่างไกลกัน โดยคณะกรรมการที่เรียกว่าสมาคมอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Industries Association : EIA) ได้ว่ามาตรฐานที่มีชื่อเรียกกันว่า EIA RS-232 มาตรฐานนี้ในช่วงแรกจะใช้คอนเน็กเตอร์ เป็นแบบ DB-25 โดยกำหนดความยาวสูงสุดของสายสัญญาณไว้ที่ 50 ฟุตมีระดับสัญญาณตั้งแต่ -3 ถึง -12 V แสดงว่ามีข้อมูล (Mark) และ +3 - +12 V แสดงว่าเป็นช่องว่าง (Space)

มาตรฐาน RS-232 ได้กำหนดรูปแบบของอุปกรณ์เชื่อมต่อ (Data Terminal Equipment : DTE) กับวงจรข้อมูลปลายทาง (Data Circuit Terminating : DCE) ไว้ว่าอุปกรณ์ DTE จะต้องเป็น อุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัว เช่น ไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความสามารถในการสร้างบิตข้อมูลแบบอนุกรมได้ ส่วนอุปกรณ์ DCE จะทำหน้าที่เพียงเป็นตัวรับ ข้อมูลที่ส่งมาจาก DTE เท่านั้น โดยการรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ทั้งสองจะต้องกระทำผ่าน มาตรฐาน RS-232

ข้อแตกต่างของอุปกรณ์ DTE และอุปกรณ์ DCE อย่างหนึ่งที่เราเห็นได้ชัดคือ คอนเน็กเตอร์ ของ DTE จะเป็นตัวผู้ ส่วนคอนเน็กเตอร์ของ DCE จะเป็นตัวเมีย ซึ่งพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ ที่ใช้กันอยู่ทั่วไปจะเป็นแบบ DTE ส่วนคอนเน็กเตอร์ที่อยู่ทีโมเด็มจะเป็นแบบ DCE

สำหรับการใช้งานบนคอมพิวเตอร์ พอร์ตอนุกรม RS-232 มักถูกใช้เชื่อมต่อกับโมเด็ม หรือเมาส์ โดยสามารถรับส่งข้อมูลได้ที่ความยาวของสายสัญญาณสูงสุด ถึง 20 เมตร

### 3.5.5 คอนเน็กเตอร์สำหรับพอร์ต RS-232 และการเชื่อมต่อ

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS-232 จะใช้คอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 ตัวผู้หรือ DB-9 ตัวผู้ ซึ่งคอนเน็กเตอร์แบบ DB-25 จะมีขาต่อใช้งานเพียง 9 เส้นเช่นเดียวกับคอนเน็กเตอร์ แบบ DB-9 เนื่องจากขาอื่น ๆ ที่เคยใช้งานอดีตไม่ได้ใช้ ปัจจุบันมีการใช้งานไม่มากนัก จึงถูกยกเลิก ไป

ตารางที่ 3.2 แสดงการจัดขาคอนเน็กเตอร์พอร์ตอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232

คอนเน็กเตอร์ DB-9	คอนเน็กเตอร์ DB-25	ชื่อของสายสัญญาณ	ชนิดของสายสัญญาณ
1	8	Data carrier Detect: DCD	อินพุต
2	3	Received Data: RxD	อินพุต
3	2	Transmitted Data: TxD	เอาต์พุต
4	20	Data Terminal Ready: DTR	เอาต์พุต
5	7	Signal Ground:GND	-
6	6	Data SetReady: DSR	อินพุต
7	4	Request To Send:RTS	เอาต์พุต
8	5	Clear To Send: CTS	อินพุต
9	22	Ring Indicator:RI	อินพุต

สำหรับการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอก เป็นการเชื่อมต่อแบบ Null modem หรือการเชื่อมต่อโดยตรงโดยไม่ต้องผ่านโมเด็ม โดยมีการตรวจสอบหรือแฮนด์เช็กเต็มรูปแบบ ส่วนอีกแบบหนึ่ง เป็นการเชื่อมต่อแบบ Null modem ในลักษณะที่ใช้สายสัญญาณเพียง 3 เส้น โดยเส้นหนึ่งสำหรับส่งข้อมูล อีกเส้นสำหรับรับข้อมูล และเส้นสุดท้ายเป็นกราวด์ สำหรับรายละเอียดหน้าที่การทำงานในแต่ละขาของพอร์ตอนุกรม RS-232

Data Carrier Detect : DCD หรืออ่านเรียกว่า Carrier Detect : CD ขานี้จะแอกทีฟเมื่อมีการส่งสัญญาณพาห้จากอุปกรณ์สื่อสารข้อมูล เช่น โมเด็ม สำหรับการใช้งานปกติ ขานี้จะไม่ได้ถูกใช้งานมากนัก

Receive Data : RD หรือ RxD ขานี้ใช้เพื่อรับสัญญาณอนุกรมเข้ามายังคอมพิวเตอร์โดยนำข้อมูลที่อ่านได้เก็บไว้ในรีจิสเตอร์ บัฟเฟอร์

Transmitted Data : TD หรือ TxD ขานี้ใช้เพื่อส่งข้อมูลออกจากคอมพิวเตอร์ โดยนำข้อมูลที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูลออกไป

Data Terminal Ready: DTR เป็นขาสัญญาณที่ส่งออกจากคอมพิวเตอร์เพื่อให้อุปกรณ์ปลายทางรับรู้ว่า ต้องการติดต่อด้วย โดยขา DTR นี้จะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของอุปกรณ์ปลายทางและขา DTR ของอุปกรณ์ปลายทางจะต้องเชื่อมต่อกับขา DSR ของคอมพิวเตอร์ ถ้าใช้การเชื่อมต่อเป็นแบบ Null Modem ซึ่งใช้สายในการเชื่อมต่อเพียง 3 เส้น จะต้องต่อขา DTR และ DSR ของตัวมันเองเข้าด้วยกันและต้องต่อกับขา DCD ด้วยในกรณีที่โปรแกรมสื่อสารที่ใช้มีการตรวจจับสัญญาณพาห์

Signal Ground: GND ขากราวด์ของระบบ

Data Set Ready : DSR ขานี้จะใช้คู่กับขา DTR เพื่อตรวจสอบการเชื่อมต่อกันระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ปลายทาง ซึ่งขา DSR นี้จะเป็นขาสำหรับรับข้อมูลจากภายนอกซึ่งถูกส่งมาจากขา DTR

Request To Send : RTS เป็นขาสำหรับส่งสัญญาณร้องขอให้ทางอุปกรณ์ปลายทางส่งข้อมูลกลับมายังคอมพิวเตอร์ โดยขาที่รับสัญญาณ RTS ก็คือขา CTS ในกรณีที่ใช้การเชื่อมต่อแบบ Null modem 3 สาย จะต้องเชื่อมขา RTS และ CTS ของตัวมันเองเข้าด้วยกัน เพื่อจะให้การรับและส่งข้อมูลสามารถเกิดขึ้นได้ตลอดเวลา

Clear To Send: CTS ขานี้จะคอยรับสัญญาณจากขา RTS เมื่อรับสัญญาณได้ ข้อมูลที่ขา TXD จะถูกส่งออกไป ดังนั้นขานี้จึงถูกใช้เพื่อตรวจสอบอุปกรณ์ต่อพ่วงว่าพร้อมที่จะรับข้อมูลหรือไม่

Ring Indicator : RI ใช้แสดงสถานะสัญญาณเรียกจากสายโทรศัพท์ ปกติในการสื่อสารโดยทั่วไปสายนี้จะไม่ถูกใช้งาน จะใช้งานก็ต่อเมื่อมีการเชื่อมต่อกับโมเด็มและโปรแกรมมีการตรวจสอบสัญญาณนี้เท่านั้น เช่น แสดงความผิดพลาดที่เกิดขึ้นระหว่างการถ่ายทอดข้อมูล (ผิดพลาดจากพาร์ตี เฟรมข้อมูล โอเวอร์รัน) เป็นต้น

### 3.6 การแปลงสัญญาณอะนาลอกดิจิทัลแบบซัคเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชัน

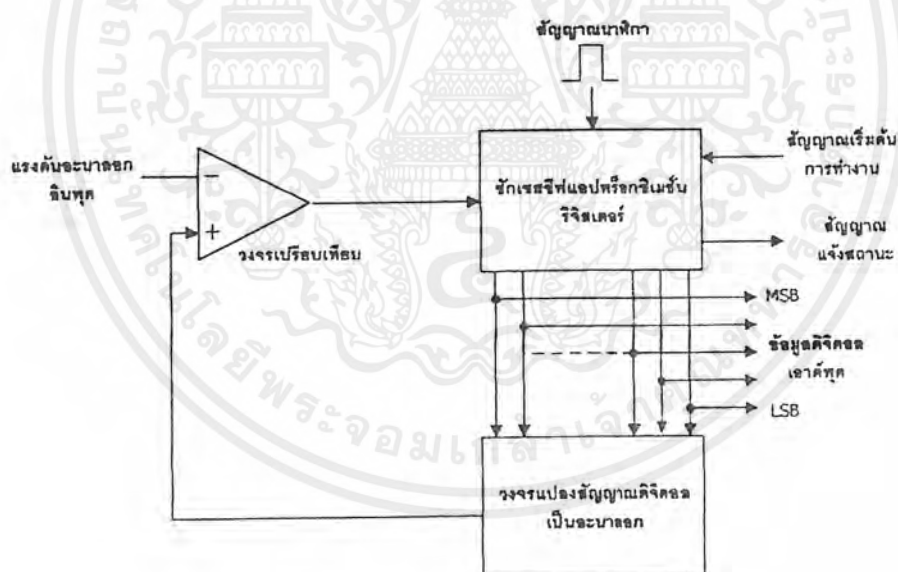
#### (Successive Approximation ADC)

การแปลงสัญญาณอะนาลอกเป็นดิจิทัล (ADC) ที่ได้รับความนิยมสูงและมีประสิทธิภาพดีคือการแปลงแบบซัคเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชัน ไอซี ADC ที่เลือกมาทำการทดลองนี้ก็ใช้วงจร ADC แบบเดียวกันนี้ จึงต้องทำความเข้าใจพื้นฐานการทำงานของวงจร ADC แบบนี้ก่อน

ถ้าจะแปลเป็นไทยอาจจะเรียกกระบวนการ ADC แบบซัคเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชันนี้ว่า เป็นการแปลงแบบประมาณค่าใกล้เคียง โค้ดแอมการทำงานของกระบวนการ ADC แบบนี้แสดงในรูป ส่วนสำคัญหลักคือ วงจรเปรียบเทียบแรงดัน , วงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอะนาลอกหรือ DAC , สัญญาณนาฬิกา และส่วนควบคุมลอจิก

วงจร ADC แบบซัคเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชันนี้จะใช้รีจิสเตอร์เลขฐานสองหรือไบนารีรีจิสเตอร์ในการส่งข้อมูลดิจิทัลของวงจร DAC ภายใน แต่ละบิตของรีจิสเตอร์จะเซตและรีเซตโดยการควบคุมจากวงจรควบคุม ต่อไปนี้จะอธิบายการทำงานของ ADC แบบนี้ไปที่ละขั้น ขอให้พิจารณาโค้ดแอมเวลาในรูปประกอบด้วย

กำหนดให้แรงดันอะนาลอกอินพุต ( $V_{in}$ ) มีค่าเท่ากับ 13.5 V



รูปที่ 3.4 โค้ดแอมแสดงการทำงานของวงจร ADC แบบซัคเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชัน

1. ส่งสัญญาณเริ่มต้นการทำงาน (start converter)      มายังซัคเซสซีฟแอปพร็อกซิเมชันรีจิสเตอร์ (successive approximation register)
2. ขณะนี้สถานะรีจิสเตอร์จะไม่ว่าง (busy) สัญญาณนาฬิกาแรกถูกส่งเข้ามาเพื่อกำหนดให้ค่าของรีจิสเตอร์เท่ากับ 0000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

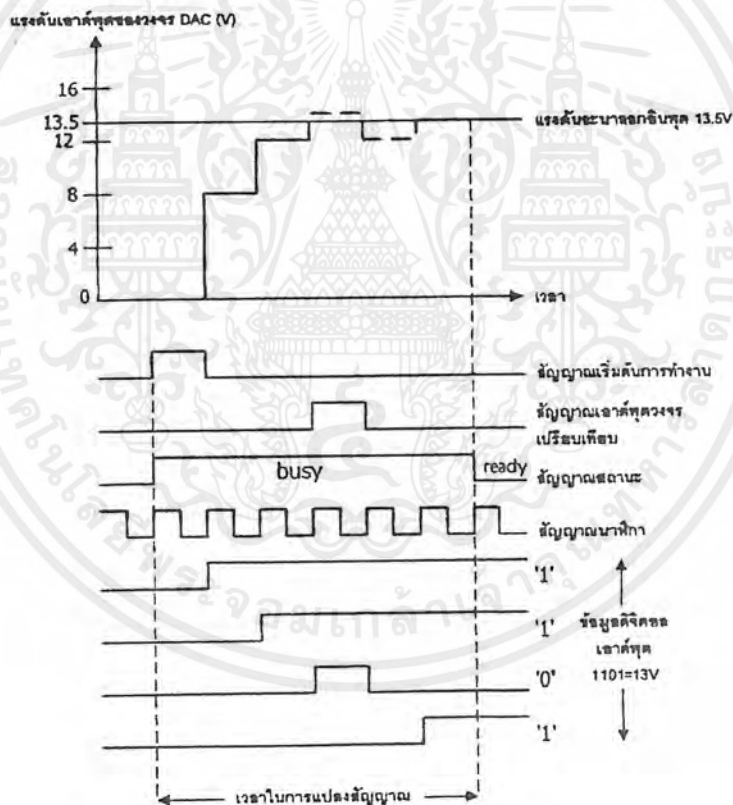
3. เอาท์พุท DAC จะเป็น 0 V ส่งไปในวงจรเปรียบเทียบ เพื่อเปรียบเทียบกับ  $V_{in}$  ในขณะนี้จะได้เอาท์พุทเท่ากับ -5 V กำหนดเป็นลอจิก 0

4. เมื่อสัญญาณนาฬิกาถูกส่งไปเข้ามา จะทำการเช็คบิต MSB ของรีจิสเตอร์เป็น "1"

5. ในกรณีนี้เป็น DAC ขนาด 4 บิต ดังนั้นการที่บิต MSB เซต จะทำให้วงจร DAC แปลงค่าเป็นแรงดัน 8 V นำไปเปรียบเทียบกับวงจรเปรียบเทียบแรงดัน แต่ก็ยังน้อยกว่า  $V_{in}$  ดังนั้นเอาท์พุทของวงจรเปรียบเทียบยังคงเป็น "0" ทำให้รีจิสเตอร์ยังคงค่าบิต MSB ให้เป็น "1" ต่อไป

6. ต่อมาบิต B2 (ถัดจากบิต MSB 1 บิต เนื่องจากมี 4 บิต กำหนดบิต MSB = B3) จะเซตซึ่งมีค่าเท่ากับ 4 V นำไปรวมกับค่าของบิต MSB ที่มีอยู่ 8V เช่น 12V นำไปเปรียบเทียบกับ  $V_{in}$  ก็ยังน้อยกว่า รีจิสเตอร์จึงยังคงค่า B2 ไว้ที่ "1" เช่นกัน

ต่อมาบิต B1 จะเซตทำให้แรงดันเอาท์พุทมา DAC กลายเป็น  $8+4+2 = 14V$  ซึ่งมากกว่า  $V_{in}$  ทำให้วงจรเปรียบเทียบเกิดการเปลี่ยนสถานะเป็น "1" ซึ่งจะส่งสัญญาณมาควบคุมให้ B1 เป็น "0"



รูปที่ 3.5 ไตอะแกรมเวลาแสดงการทำงานของวงจร ADC แบบซิกเซสแอฟพร้อมซีเมชัน

8. เมื่อบิต LSB ถูกเซต จะมีค่าแรงดันเท่ากับ 1V เข้ามารวมกับค่าของ B3,B2 และ B1 เป็น  $8+4+0+1 = 13V$  นำไปเปรียบเทียบกับ  $V_{in}$  ปรากฏว่าน้อยกว่า  $V_{in}$  ทำให้ที่บิต B0 หรือ LSB มีค่าเป็น “1”

9. ขณะนี้ทุกบิตในรีจิสเตอร์ถูกนำมาแปลงค่าเรียบร้อยแล้ว ทำให้สถานะของรีจิสเตอร์กลับมาเป็น พร้อมทำงาน (ready)

10. ข้อมูลดิจิตอลที่ได้จากการ ADC แบบนี้ จะมีค่า 1101 หรือ 13V ซึ่งใกล้เคียงกับ  $V_{in}$  13.5 มากที่สุด ถ้าหากรีจิสเตอร์มีจำนวนบิตมากกว่านี้ ความละเอียดของข้อมูลที่แปลงได้จะมีความใกล้เคียงมากขึ้น ช่วงเวลาการแปลงสัญญาณจะเริ่มสั้นขึ้นตั้งแต่สัญญาณนาฬิกาถูกแรกถูกส่งเข้าไปเตรียมระบบ ไปจนถึงเมื่อสถานะของรีจิสเตอร์กลับมาเป็น “พร้อมทำงาน” อีกครั้งหนึ่งซึ่งจะต้องใช้จำนวนสัญญาณนาฬิกาเท่ากับ  $n+1$  พัลส์ โดย  $n$  เท่ากับจำนวนบิตของรีจิสเตอร์

ดังนั้นถ้าหาก ADC แบบซัคเซสแอปพริอ็อกซิเมชันขนาด 4 บิต ตามตัวอย่างที่อธิบายมานี้ ใช้สัญญาณนาฬิกาความถี่ 50 KHz เวลาทั้งหมดที่ใช้ในการแปลงสัญญาณจะคำนวณได้ดังนี้

(1) คำนวณคาบเวลาของสัญญาณ

$$f_{clk} = 50 \text{ kHz} = 50 * 10^3$$

$$T = 1/(50*10^3) = 20 \text{ มิลลิวินาที}$$

(2) จำนวนสัญญาณนาฬิกาทั้งหมดที่ใช้ในการแปลงเท่ากับ  $n+1$  ,  $n$  มีค่าเท่ากับ 4 เนื่องจากมีจำนวน 4 บิต ดังนั้นจำนวนสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ทั้งหมดจึงเท่ากับ  $4+1 = 5$

(3) เวลาทั้งหมดที่ใช้เท่ากับ  $5 * 20 = 100$  มิลลิวินาที

จะเห็นว่าวงจร ADC แบบซัคเซสแอปพริอ็อกซิเมชันมีความเร็วในการทำงานสูงพอสมควรเหมาะสมอย่างยิ่งในการนำมาใช้กับ ไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาดกลางอย่าง MCS-51

### 3.6.1 ความเที่ยงตรงของวงจร ADC

เป็นการเปรียบเทียบแรงดันอะนาลอกของวงจร ADC กับแรงดันที่ควรเกิดขึ้นจริงยกตัวอย่างที่ข้อมูลดิจิตอลสูงสุดของวงจร ADC ขนาด 8 บิต เมื่อเทียบเป็นแรงดันอะนาลอกควรมีค่าเท่ากับ 5.0000V แต่จากการคำนวณในตัวอย่างก่อนหน้านี้ได้ค่าแรงดัน 4.9804 V นั่นคือเกิดความผิดพลาดไป 0.0195 V หรือ 19.5 mV แต่การบอกค่าความเที่ยงตรงของวงจร ADC มักระบุเป็นจำนวนที่เทียบกับ VLSB ดังนั้นในวงจร ADC ขนาด 8 บิตที่ยกเป็นตัวอย่างนี้จึงมีค่าความเที่ยงตรง (หรือบางที่เรียกเป็นค่าความผิดพลาด)เป็น  $+1/2\text{LSB}$

### 3.6.2 ค่าเวลาในการแปลงสัญญาณ (Conversion time)

เป็นค่าของเวลาทั้งหมดที่วงจร ADC แบบวงจรมัลติเพล็กซ์และแบบซัคเซสซีฟ แอปพลิเคชันใช้ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลจนเสร็จสิ้น พารามิเตอร์ตัวนี้มักจะปรากฏในคุณสมบัติของไอซีที่ทำงานเป็นวงจร ADC เมื่อไอซีทำการแปลงสัญญาณเสร็จสิ้นลง จะส่งสัญญาณที่เรียกว่า EOC (End of conversion) ออกมา

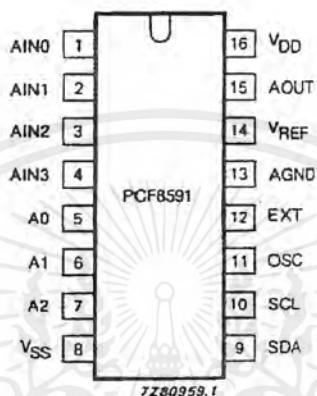
ค่าเวลาในการแปลงสัญญาณของวงจร ADC จะขึ้นอยู่กับจำนวนบิตของวงจร , ค่าความถี่ของสัญญาณนาฬิกาที่ใช้ในการแปลงสัญญาณและขนาดของสัญญาณอนาล็อกอินพุต

### 3.6.3 ข้อมูลเบื้องต้นของ PCF 8591

ในโครงการนี้จะใช้ไอซี ADC ที่มีความสามารถสูงเบอร์ PCF8591 เนื่องจากในตัวมันมีวงจร ADC แบบซัคเซสซีฟแอปพลิเคชันขนาด 8 บิตสูงถึง 4 ช่อง ทั้งยังมีวงจร DAC อีก 1 ช่องด้วยระบบการเชื่อมต่อเป็นแบบบัส I<sup>2</sup>C ทำให้ใช้สายสัญญาณเพียง 2 เส้น ทั้งยังสามารถต่อพ่วงกันได้สูงสุด 8 ตัว ทำให้ได้วงจร ADC รวมสูงถึง 32 ช่อง และวงจร DAC รวม 4 ช่อง ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวางมีรายละเอียดคุณสมบัติทางเทคนิคดังนี้

- ทำงานโดยใช้แหล่งจ่ายไฟชุดเดียว
- ทำงานที่แรงดัน 2.5 ถึง 6 V
- กินกระแสขณะที่อยู่ในสถานะแอสแตบิลค่า
- ติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านบัส I<sup>2</sup>C
- สามารถเลือกตำแหน่งแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์จากขา A0, A1, A2 ทำให้สามารถต่อพ่วงกันได้สูงสุด 8 ตัว
- อัตราการสุ่มข้อมูล(sampling) ขึ้นอยู่กับความเร็วบนสัญญาณนาฬิกาบนบัส I<sup>2</sup>C
- วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (ADC) สามารถรับสัญญาณอนาล็อกได้ 4 ช่อง ทั้งยังเลือกได้ว่าจะทำงานแบบแยกช่องหรือทำงานเป็นวงจรดิฟเฟอเรนเชียล
- การอ่านสามารถกำหนดให้เลื่อนช่องอินพุตเลื่อนช่องอินพุตโดยอัตโนมัติได้
- สัญญาณอนาล็อกมีระดับแรงดันตั้งแต่  $V_{SS}$  ไปจนถึง  $V_{DD}$
- วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบซัคเซสซีฟ แอปพลิเคชันขนาด 8 บิต
- มีวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาล็อกขนาด 8 บิต 1 ช่อง

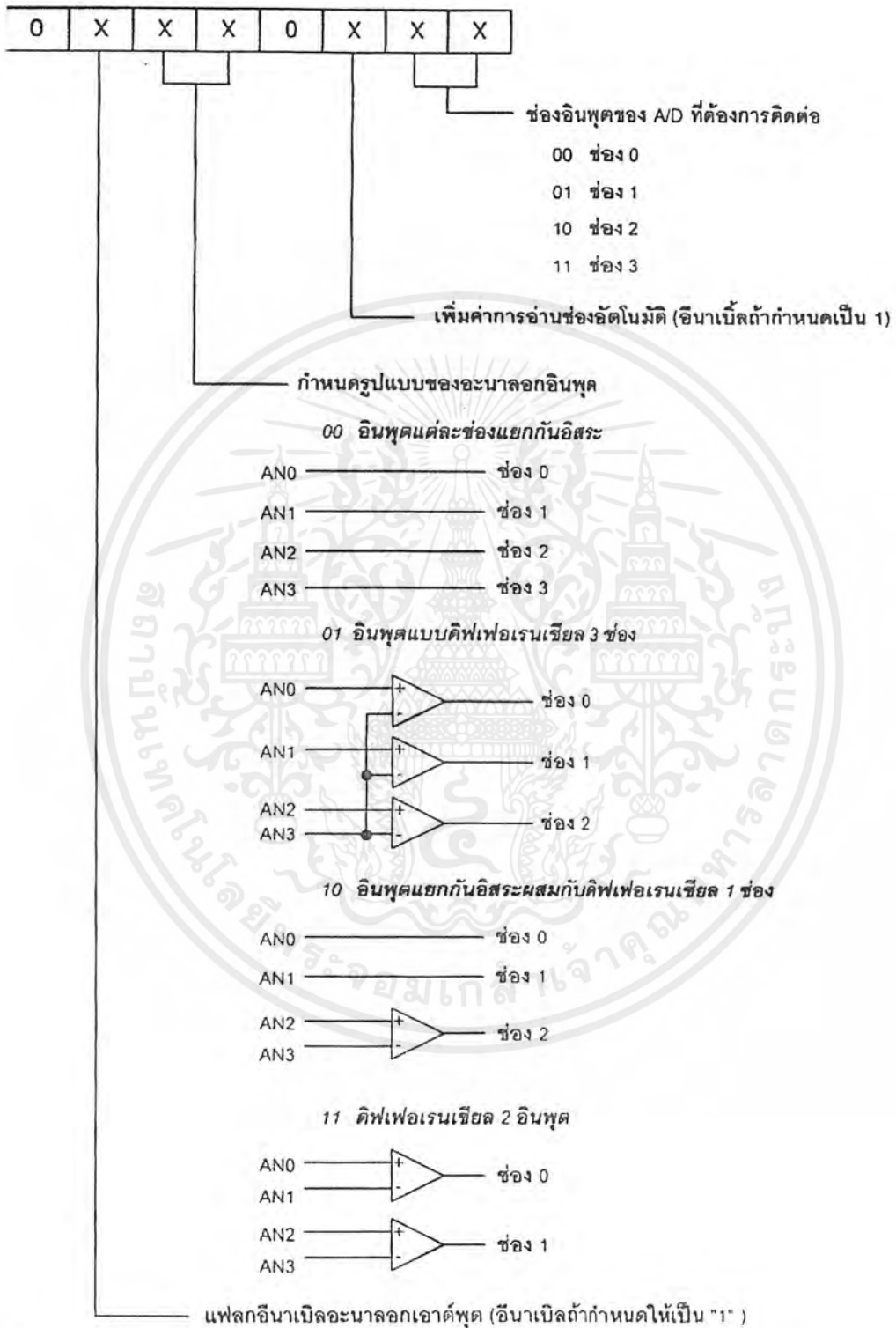
PCF8591 สามารถทำหน้าที่เป็นไอซีแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิตอลขนาด 8 บิต 4 ช่องและทำหน้าที่เป็นไอซีแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอกได้ในคราวเดียวกันด้วยการควบคุมผ่านระบบบัส I<sup>2</sup>C ทำให้สามารถต่อพวงไอซี PCF8591 ได้สูงสุดถึง 8 ตัว รองรับการอ่านสัญญาณอนาลอกอินพุตได้สูงสุดถึง 32 ช่อง และสามารถส่งสัญญาณอนาลอกเอาต์พุตสูงสุดได้ถึง 8 ช่องด้วยการกำหนดแอดเดรสจากขา A0, A1 และ A2 การจัดขาของ PCF8591 แสดงดังรูป 3.8 ส่วนรายละเอียดของขาต่างๆมีดังนี้



รูปที่ 3.6 การจัดขาของ ไอซี ADC/DAC ขนาด 8 บิตผ่านบัส I<sup>2</sup>C เบอร์ PCF8591

- ขา AN0-AN3 (ขา 1- 4) เป็นขาอินพุตสำหรับป้อนสัญญาณอนาลอกที่ต้องการแปลงค่า
- ขา A0-A2 (ขา 5-7) เป็นขาสำหรับกำหนดข้อมูลแอดเดรสทางฮาร์ดแวร์ ปกติต่อลงกราวด์แต่ถ้ามีการใช้งาน PCF8591 มากกว่า 1 ตัวต้องกำหนดการต่อขา A0-A2 ของ PCF8591 ให้ไม่ตรงกัน จึงทำให้สามารถต่อใช้งานร่วมกันได้สูงสุด 8 ตัว
- ขา Vss (ขา 8) เป็นขาต่อกราวด์
- ขา SDA, SCL (ขา 9 และ 10) เป็นขาเชื่อมต่อระบบบัส I<sup>2</sup>C
- ขา OSC (ขา 11) เป็นขาสำหรับต่อสัญญาณนาฬิกาภายนอกเมื่อขา EXT ต่อกับไฟ +5V และจะทำงานเป็นขาเอาต์พุตสัญญาณนาฬิกาถ้าขา EXT ต่อลงกราวด์
- ขา EXT (ขา 12) เป็นขาสำหรับเลือกแหล่งกำเนิดสัญญาณนาฬิกา ถ้าต่อไฟ +5V จะเป็นการเลือกใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอก โดยต่อสัญญาณนาฬิกาเข้าที่ขา OSC ถ้าต่อขานี้ลงกราวด์จะเป็นการเลือกใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายใน
- ขา AGND (ขา 13) เป็นขากราวด์ของแรงดันอ้างอิงปกติต่อลงกราวด์
- ขา V<sub>REF</sub> (ขา 14) เป็นขาสำหรับป้อนแรงดัน ปกติต่อเข้าไฟเลี้ยง +5V
- ขา AOUT (ขา 15) เป็นขาเอาต์พุตของวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นอนาลอก
- ขา V<sub>DD</sub> (ขา 16) เป็นขาต่อไฟเลี้ยง จ่ายได้ตั้งแต่ +2 ถึง +6 V ปกติใช้ +5V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 รายละเอียดข้อมูลควบคุมที่เขียนลงในรีจิสเตอร์ควบคุมภายใน ไอซี PCF8591

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7 รายละเอียดฟังก์ชันต่างๆของ PCF8591

#### 3.7.1 ตำแหน่งแอดเดรส

ในระบบบัส I<sup>2</sup>C การติดต่อกับอุปกรณ์แต่ละตัวต้องระบุแอดเดรสของอุปกรณ์เหล่านั้นอย่างชัดเจน ถ้าเป็นการอ้างถึงแบบ 7 บิต ข้อมูลกำหนดแอดเดรส 4 บิตบนจะเป็นค่าแอดเดรสเฉพาะของอุปกรณ์ตัวนั้นๆ ที่กำหนดมาจากผู้ผลิต ผู้ใช้งานไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ สำหรับไอซี PCF8591 จะมีค่าเท่ากับ  $1001_2$  ข้อมูล 3 บิตถัดมาจะเป็นค่าของแอดเดรสที่ผู้ใช้งานสามารถกำหนดได้ทางฮาร์ดแวร์เพื่อเลือกไอซี PCF8591 ที่ต้องการติดต่อกับในกรณีที่มีการต่อใช้งาน PCF8591 มากกว่า 1 ตัว ส่วนบิต LSB ใช้ในการกำหนดว่าต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับไอซีตัวนั้นๆ

#### 3.7.2 ข้อมูลควบคุม

หลังจากส่งข้อมูลแอดเดรสให้แก่ PCF8591 แล้วต้องส่งข้อมูลควบคุมตามไปด้วย เพื่อกำหนดคุณสมบัติของวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลและวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นอนาลอกภายใน PCF8591

บิต 6 ของข้อมูลควบคุมใช้สำหรับการอินทิเกรตเอาต์พุตเมื่อต้องการอินทิเกรต ต้องกำหนดขานี้ให้เป็น “1”

บิต 4 และบิต 5 ของข้อมูลควบคุมใช้สำหรับการกำหนดรูปแบบของสัญญาณอนาลอกอินพุตที่ป้อนให้แก่ PCF8591

บิต 2 ใช้สำหรับเลือกรูปแบบการอ่านข้อมูลจากขาอินพุตอนาลอกว่าจะเป็นการอ่านจากเพียงอินพุตเดียวหรืออ่านแบบเรียงลำดับทุกอินพุต ถ้าต้องการเลือกให้อ่านแบบเรียงลำดับต้องกำหนดให้บิตนี้เป็น “1”

บิต 0 และ บิต 1 ใช้สำหรับกำหนดช่องอินพุตอนาลอกที่ต้องการอ่าน ถ้ากำหนดให้บิต 2 เป็น “1” หลังจากอ่านค่าของบิต 0 และ บิต 1 แล้วในการอ่านค่าครั้งต่อไปจะเป็นการอ่านค่าอินพุตจากช่องที่ 1

ข้อมูลควบคุมทั้งหมดจะถูกเก็บไว้ในรีจิสเตอร์ควบคุมภายใน PCF8591 เมื่อจ่ายไฟให้แก่ PCF8591 ครั้งแรก บิตต่างๆ ของข้อมูลภายในรีจิสเตอร์ควบคุมจะเป็น “0”

### 3.7.3 ออสซิลเลเตอร์

วงจรรอสซิลเลเตอร์ภายใน PCF8591 จะสร้างสัญญาณนาฬิกาสำหรับการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล เมื่อต้องการใช้วงจรรอสซิลเลเตอร์ภายใน ขา EXT ต้องต่อลงกราวด์ ถ้าต้องการให้ออสซิลเลเตอร์จากภายนอกขา EXT ต้องต่อเข้ากับไฟบวก และป้อนสัญญาณนาฬิกาเข้าที่ขา OSC ของ PCF8591 โดยความถี่ของสัญญาณนาฬิกาสูงสุดที่ป้อนให้กับออสซิลเลเตอร์เท่ากับ 1.25 MHz

## 3.8 การอ่านค่าข้อมูลอินพุตอนาล็อกของ PCF8591

มีลำดับขั้นตอนดังนี้

- เตรียมข้อมูลกำหนดแอดเดรส โดยในที่นี้กำหนดแอดเดรสของ PCF8591 ไว้ที่ 000 (ขา A0, A1, A2 ต่อลงกราวด์ทั้งหมด) และให้ทำงานในโหมดเขียนข้อมูล (ป้อนข้อมูลลอจิก “0” ให้แก่บิต R/W)
- เรียกโปรแกรมย่อยการติดต่อข้อมูลกับอุปกรณ์สเลฟ
- ส่งข้อมูลควบคุมไปยัง PCF8591
- ส่งสัญญาณ Stop
- เรียกโปรแกรมย่อยการติดต่อกับอุปกรณ์สเลฟ
- ส่งข้อมูลกำหนดแอดเดรสอีกครั้ง โดยครั้งนี้กำหนดให้เป็นโหมดอ่านข้อมูล (ส่งลอจิก “1” ให้แก่บิต R/W) เพื่อเริ่มต้นอ่านค่าข้อมูลจากช่องสัญญาณอนาล็อกอินพุต
- อ่านค่าจากอินพุตของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลช่องที่ 1
- หากต้องการอ่านค่าในช่องต่อไปก็ให้เริ่มต้นการติดต่อใหม่ ดังนั้นการเขียนโปรแกรมเพื่ออ่านค่าต่อเนื่องทั้ง 4 ช่องหรือมากกว่าจึงต้องเขียนโปรแกรมลูปเพื่อกำหนดรอบการทำงาน 4 รอบหรือมากกว่า ก็จะสามารอ่านค่าได้ครบทุกช่อง

## อุปกรณ์ Sensor Transducer

ทรานสดิวเซอร์ ซึ่งใช้วัดแรงทอร์ค หรือ ความดันโดยทั่วไป ประกอบด้วยส่วนยืดหยุ่น หรือ การเปลี่ยนแปลงเป็นระยะโค้ง หรือ ความเครียด และเซ็นเซอร์โดยปกติ จะใช้เกจความเครียด (Strain Gage) อย่างไรก็ตาม บางครั้งอาจจะใช้ LTD หรือ โปเทนทิอมิเตอร์ (Potentiometers) สำหรับการวัดแบบสถิต (Static) หรือควอไซสแตติก (Quasi Static)

### 4.1 ทรานสดิวเซอร์แบบหลักการของแรง

#### (Force Transducer)

ทรานสดิวเซอร์ชนิดนี้ใช้หลักการเปลี่ยนแรงทางกายภาพให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าแรง สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ

1. แรงจลน์ เป็นแรงที่ทำให้วัตถุเปลี่ยนแปลงความเร็วในการเคลื่อนที่ เช่นแรงที่กระทำบน มือหุ่นยนต์เนื่องจากความเร่งของมวลของวัตถุในระหว่างการบังคับให้เคลื่อนที่
  2. แรงสถิต เป็นแรงที่กระทำบนวัตถุโดยไม่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ เช่นแรงที่กระทำโดยกริปเปอร์ (Gripper) ของหุ่นยนต์บนผิวของวัตถุในระหว่างการจัดการกับวัตถุ
- การวัดแรงทั่วไปทรานสดิวเซอร์จะเปลี่ยนพลังงานกลเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยการวัดการ "เปลี่ยนแปลงรูปร่างทางกายภาพของทรานสดิวเซอร์ ซึ่งแรงเป็นตัวการทำให้เกิดขึ้น"

### 4.2 ส่วนประกอบยืดหยุ่นในการวัดแรง

#### (Elastic Element For Force Measurements)

ส่วนยืดหยุ่นที่นิยมใช้สำหรับการแสดงขนาดของแรงที่กระทำโดยผ่านการวัดการกระจัด เช่น

1. สปริง ในกรณีแรงจะหาได้จาก

$$P = ky$$

(4-1)

เมื่อ  $k =$  ค่าคงที่ของสปริง

$y =$  ระยะกระจัดจากจุดสมดุล

2. แท่งวัสดุแรงที่วัดได้จะเป็นไปตามสมการ

$$P = (AE/L) * y$$

(4-2)

เมื่อ  $A$  = พื้นที่หน้าตัด

$E$  = ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่น

$L$  = ความยาว

คานยื่น (Cantilever Beam) การเบนไปของปลายคาน สัมพันธ์กับแรง  $P$  ที่กระทำโดย

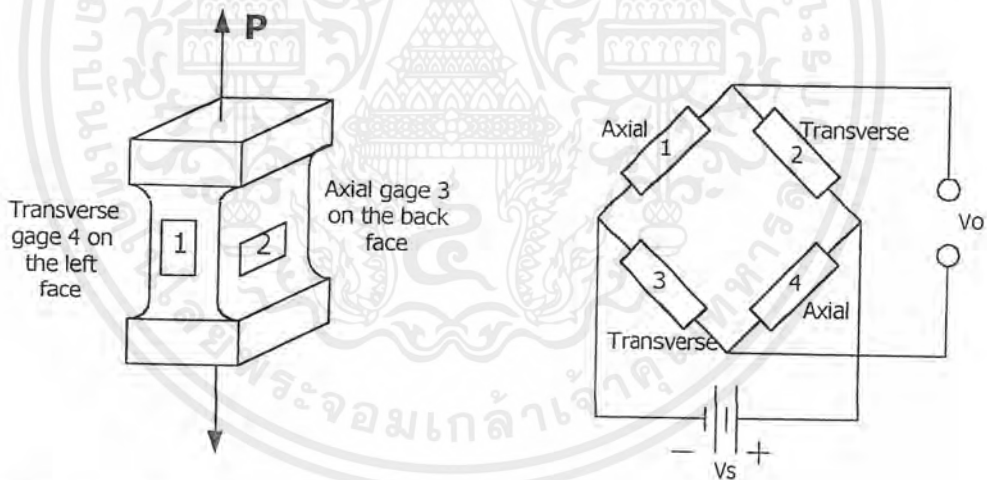
$$P = (3EI/L) * y$$

(4-3)

เมื่อ  $I$  = โมเมนต์ของความเฉื่อยของคานรอบแกนที่ผ่านศูนย์กลางในทิศทางของ

การเบน นอกจากนี้ยังมีริงค์ (Ring) และเว็บ (Webs) ซึ่งเป็นส่วนยืดหยุ่นที่ใช้ทำทรานสดิวเซอร์ และได้มีการแบ่งโหลดเซลล์ชนิดต่างๆดังนี้

(ก.) โหลดเซลล์แบบลิงค์  
(Link-Type Load Cell)



รูปที่ 4.1 โหลดเซลล์แบบลิงค์

โหลดเซลล์แบบลิงค์อย่างง่าย ประกอบด้วยเกจลิงค์และเกจความเครียด 4 อัน ดังแสดงในรูปการะ  $P$  สามารถเป็นไปได้ทั้งการะแรงดึง (Tensile Load) หรือการะแรงอัด (Compressive Load) เกจความเครียด 2 อัน ยึดติดกับลิงค์ในแนวแกน และอีก 2 อันในแนวขวางกับแกน

เกจความเครียดทั้ง 4 จะต่อแบบวีทสโตนบริดจ์ (Wheatstone Bridge) โดยเกจที่อยู่ในแกนต่ออยู่ในแกน 1 และ 3 เกจที่อยู่ในแนวขวางต่ออยู่ในแกน 2 และ 4 ดังรูป เมื่อการะ  $P$  กระทำต่อลิงค์ ความเครียดตามแนวแกน และตามแนวขวางแกนจะเกิดขึ้นในลิงค์และสัมพันธ์กับการะตาม สมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned} \epsilon_a &= P/AE \\ \epsilon_t &= -VP/AE \end{aligned} \quad (a)$$

เมื่อ  $A =$  พื้นที่หน้าตัดของลึงค์  
 $E =$  โมดูลัสของความยืดหยุ่นของวัสดุที่นำมาทำเป็นลึงค์  
 $V =$  อัตราส่วนปริมาตรของวัสดุที่ใช้ลึงค์

การตอบสนองของเกจต่อโหลด  $P$  ที่กระทำเป็นไปตามสมการ

$$\begin{aligned} \Delta R_1/R_1 = \Delta R_3/R_3 = S_g \epsilon_a = S_g P/AE \\ \Delta R_2/R_2 = \Delta R_4/R_4 = S_g \epsilon_t = -VS_g P/AE \end{aligned} \quad (b)$$

ถ้าสมมุติว่าเกจความเครียดทั้ง 4 ตัวบนลึงค์เหมือนกันทุกประการ ดังนั้นแรงดันออกจากวิทลโตนบริดจ์ หาได้จากการแทนค่าสมการ (b) ลงในสมการ

$$v_o = r/(1+r)^2 (\Delta R_1/R_1 - \Delta R_2/R_2 + \Delta R_3/R_3 - \Delta R_4/R_4) v_s$$

จะได้

$$v_o = [S_g P(1+U)/2AE] v_s \quad (4-4)$$

หรือ

$$P = 2AE/S_g(1+U)v_s = Cv_o \quad (4-5)$$

สมการ (4-2) แสดงว่าภาระ  $P$  เป็นสัดส่วนเชิงเส้นกับแรงดันออก  $v$  และค่าคงตัวสัดส่วนหรือค่าคงตัวเปรียบเทียบคือ

$$C = 2AE/S_g(1+U)v_s \quad (4-6)$$

เมื่อ  $C =$  ค่าคงตัวเปรียบเทียบ

ความไวของวิทลโตนบริดจ์คอมบิเนชัน (Load Cell-Wheatstone Bridge Combination) คือ

$$S = v_o/P = 1/C = [S_g(1+U)/2AE] v_s \quad (4-7)$$

จากสมการ (4-7) ข้างบนแสดงว่าความไวของโหลดเซลล์ขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดของลึงค์ (A) โมดูลัสของความยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้ทำลึงค์ (E) เกจแฟกเตอร์ (Gage Factor) (S) และแรงดันที่จ่ายให้กับบริดจ์ ( $v$ ) ช่วง (Range) ของแรงที่ให้กับโหลดเซลล์แบบลึงค์หาได้จาก พื้นที่หน้าตัดของลึงค์และความกล้าของวัสดุที่ใช้ทำลึงค์ โดย

$$P_{max} = S_g A \quad (4-8)$$

อัตราส่วนแรงดันที่ภาระสูงสุด (Maximum Load) ( $v_o/v_s$ )<sub>max</sub> สำหรับโหลดเซลล์แบบลึงค์หาได้จากการแทนสมการข้างบนลงใน (2-1) จะได้

$$[v_o/v_s]_{max} = S_g S_r(1+U)/2E \quad (4-9)$$

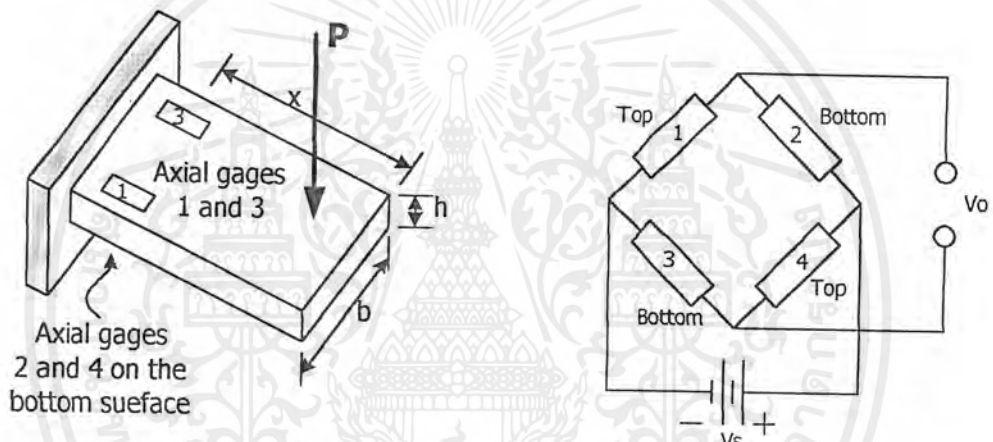
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหลดเซลล์แบบลิ้งค์เกือบทั้งหมดจะต้องมีการกำหนดค่าเต็มสเกลของภาระ ( $P = P_{\max}$ ) ที่  $(v_0/v_s)^* = 3\text{mV/V}$  ด้วยค่าเต็มสเกลเฉพาะของอัตราส่วนแรงดัน ( $v/v$ ) นี้ภาระ  $P$  บนโหลดเซลล์จะหาได้จาก

$$P = [(v_0/v_s)/(v_0/v_s)^*] P_{\max} \quad (4-10)$$

(ข.) โหลดเซลล์แบบคาน

(Beam-Type Load Cell)



รูปที่ 4.2 โหลดเซลล์แบบคาน

โหลดเซลล์แบบคาน ใช้วัฏระยะในกรณีที่ใช้ โหลดเซลล์แบบลิ้งค์ไม่ได้ รูปที่ (4.2) เป็นคานยื่น (Cantilever Beam) ซึ่งมีगेจความเครียด 2 อันติดอยู่ด้านล่าง (ทั้งหมดติดอยู่ในแนวขนานกับแกนของคาน) ซึ่งทำหน้าที่เป็นชิ้นส่วนยืดหยุ่นและเซนเซอร์สำหรับเซลล์ชนิดนี้คือ เกจที่ต่อกันเป็นวงจรวีทสโตนบริดจ์ ดังแสดงในรูป

ภาระ  $P$  ทำให้เกิดโมเมนต์  $M = PX$  ที่ตำแหน่ง  $X$  ทำให้ผลลัพธ์

$$\epsilon_1 = -\epsilon_2 = \epsilon_3 = -\epsilon_4 = \sigma M / Ebh^2 = \sigma P_x / Ebh^2 \quad (a)$$

เมื่อ  $b$  คือ ความกว้างของหน้าตัดของคาน

$h$  คือ ความหนาของหน้าตัดของคาน

การตอบสนองของगेจความเครียดหาได้จาก  $\frac{\Delta R}{R} = S_g \epsilon$  และสมการ (a) ดังนั้น

$$\frac{\Delta R_1}{R_1} = -\frac{\Delta R_2}{R_2} = \frac{\Delta R_3}{R_3} = \frac{\Delta R_4}{R_4} = \frac{\sigma S_g P_x}{Ebh^2} \quad (b)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงดันออก  $v$  จากวิศโตนบริดจ์ซึ่งเป็นผลมาจากการกระทำของภาระ  $P$  หาได้โดยแทนสมการ (b) ลงในสมการ

$$v_0 = \frac{r}{(1+r)^2} \left[ \frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right] v_s$$

และสมมติว่าเกรดความเครียดทั้ง 4 เหมือนกันทุกประการ จะได้

$$v_0 = \frac{\sigma S P_x v_s}{Ebh} \quad (4-11)$$

หรือ

$$P = \frac{Ebh^2}{\sigma S_g X v_s} v_0 = C v_0 \quad (4-12)$$

จากสมการด้านบนแสดงว่าภาระ  $P$  เป็นสัดส่วนกับแรงดันออก  $v$  และค่าคงตัวสัดส่วนและค่าคงตัวเปรียบเทียบ (Calibration constant)  $C$  คือ

$$C = \frac{Ebh^2}{\sigma S_g X v_s} \quad (4-13)$$

ความไวของการรวมระหว่างโหลดเซลล์กับวิศโตนบริดจ์กำหนดโดยสมการ  $S = v/P$  ดังนั้น

$$S = \frac{v_0}{P} = \frac{1}{C} = \frac{\sigma S_g X v_s}{Ebh^2} \quad (4-14)$$

จากสมการ (4-14) แสดงว่าความไวของโหลดเซลล์แบบคานขึ้นอยู่กับรูปร่างหน้าตาของคาน ( $b, h$ ) โมดูลัสของความยืดหยุ่นของวัสดุที่ใช้ทำคาน ( $E$ ) ตำแหน่งของภาระเทียบกับแกน ( $x$ ) แกนแพกเตอร์ ( $S$ ) และแรงดันที่ป้อนให้กับวงจรมอดูลัส ( $v_s$ ) ช่วงของโหลดที่ใช้กับโหลดเซลล์แบบคานขึ้นอยู่กับรูปร่างหน้าตาของคานตำแหน่งที่ภาระกระทำ และความถี่ของวัสดุที่ใช้ทำคานถ้าสมมติว่าแกนติดอยู่ที่ตำแหน่งใกล้กับตัวรองรับ (Beam Support) จะได้

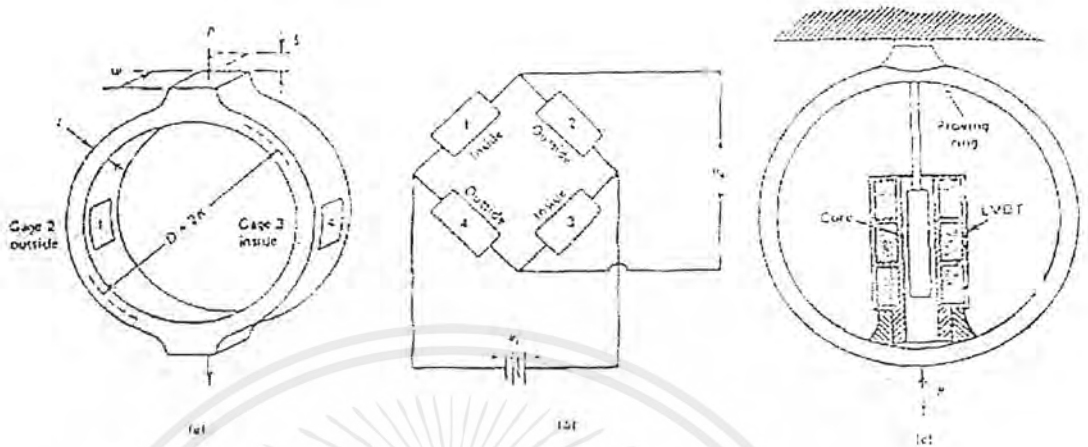
$$M_{gage} = M_{Max} \quad \text{และ} \quad P_{Max} = \frac{S_f b h^2}{\sigma X} \quad (4-15)$$

อัตราส่วนแรงดันที่ภาระสูงสุด  $(v/v)_{max}$  ได้จากการแทนสมการ  $P_{max}$  ลงในสมการ (4-11) ดังนั้น

$$\left( \frac{v_0}{v_s} \right)_{max} = \frac{S_g S_f}{E} \quad (4-16)$$

โหลดเซลล์แบบคาน ที่มีขายในท้องตลาดมีอัตราส่วนแรงดัน  $(v/v)$  ที่ภาระเต็มสเกลระหว่าง 4 ถึง 5 mV/V

(ค.) โหลดเซลล์แบบวงแหวน  
(Ring-type Load Cell)



รูปที่ 4.3 โหลดเซลล์แบบวงแหวน

ส่วนประกอบของโหลดเซลล์แบบวงแหวนหรือวงรีริงคิง (Proving Ring) เป็นส่วนยืดหยุ่น และมีเซ็นเซอร์ที่ใช้ได้ทั้งเกจความเครียดและ LVDT

ถ้าใช้ LVDT วัดระยะการกระจัดอันเนื่องจากการอัด หรือ ดึงในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของวงแหวนความสัมพันธ์ระหว่างการกระจัดกับภาระ P จะเป็นไปตามสมการ (4-17)

$$\delta = \frac{1.79PR^3}{Ewt^3} \quad (4-17)$$

เมื่อ E = ค่าโมดูลัสที่ใช้ทำวงแหวน

w = ความหนา

t = ความหนาของวงแหวน

แรงดันออก  $v_0$  ของ LVDT สามารถแสดงได้โดยสมการ

$$v_0 = S\delta v_s \quad (4-18)$$

เมื่อ S = ความไวของ LVDT

$v_s$  = แรงดันที่ป้อนเข้ากับขดลวดปฐมภูมิของ LVDT

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันออก  $v_0$  และภาระ P หาได้จากแทนสมการ (4-17) ลงในสมการ (4-18) จะได้

$$v_0 = 1.79 \frac{SPR^3}{Ewt^3} v_s \quad (4-19)$$

$$\text{หรือ} \quad P = 0.56 \frac{Ewt^3}{SR^3 v_s} v_0 = C v_0 \quad (4-20)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{โดย } C = 0.56 \frac{Ewt^3}{SR^3 v_s} \quad (4-21)$$

เมื่อ C คือ ค่าปรับเทียบ

ความไวของแอลวีดีที่คอมบิเนชัน (Ring-LVDT Combination)  $S_t$  คือ

$$S_t = \frac{v_0}{P} = \frac{1}{C} = 1.79 \frac{SR^3}{Ewt^3} v_s \quad (4-22)$$

ช่วงภาระของโหนดเซลล์แบบวงแหวนจะถูกควบคุมด้วย ความแข็งแรงของวัสดุต่างๆ ถ้า โหนดเซลล์ใช้วัสดุโหนดที่กระทำเป็นจังหวะ (Cyclic Load) ความล้า (Fatigue) S เป็นสิ่งสำคัญที่ต้อง พิจารณาความเค้นสูงสุดในชิ้นส่วนวงแหวน อยู่ที่ผิวด้านในของวงแหวนตรงที่เส้นผ่านศูนย์กลาง ตั้งฉากกับแนวโหนดค่าประมาณของความเค้นที่ตำแหน่งนี้คือ

$$\sigma_\theta = 1.09 \frac{PR}{Wt^2} \quad (4-23)$$

จากสมการ (4-23) สำหรับการวัด โหนดที่กระทำเป็นจังหวะจะได้

$$P_{\max} = 0.92 \frac{SR^2}{Et} S_f \quad (4-24)$$

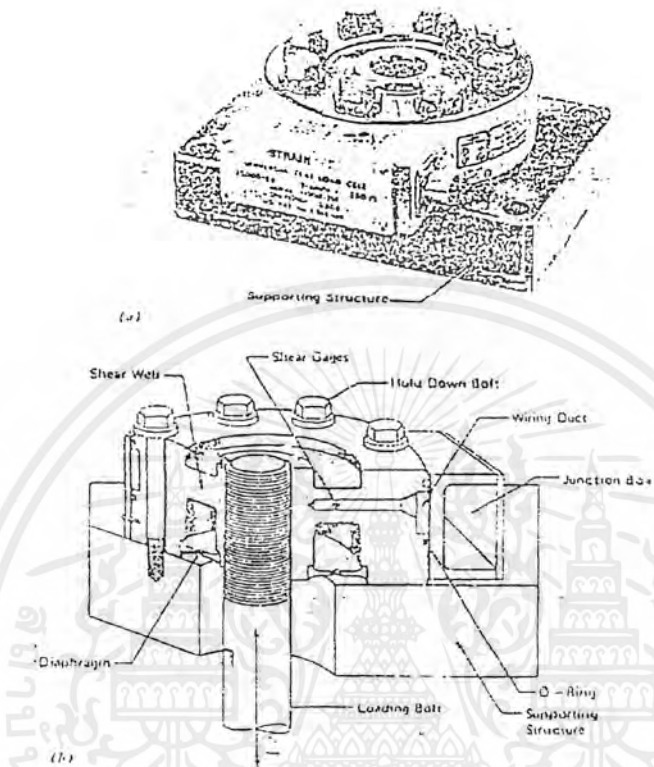
อัตราส่วนแรงดันที่โหนดสูงสุด  $(v_0/v_s)_{\max}$  จะเป็น

$$\left( \frac{v_0}{v_s} \right)_{\max} = 1.64 \frac{SR^2}{Et} S_f \quad (4-25)$$

ถ้ารู้อัตราส่วนแรงดันเต็มสเกล  $(v_0/v_s)^*$  และภาระสูงสุด  $P_{\max}$  สำหรับโหนดเซลล์เฉพาะ สามารถกำหนดโหนดที่สอดคล้องกับ  $v$  ที่ถูกวัด โดยสมการ

$$P = \frac{\left( \frac{v_0}{v_s} \right)}{\left( \frac{v_0}{v_s} \right)^*} P_{\max} \quad (4-26)$$

(ง.) โหลดเซลล์แบบแรงเฉือน  
(Shear-Web Type Load Cell)



รูปที่ 4.4 โหลดเซลล์แบบแรงเฉือน

โหลดเซลล์ชนิดนี้เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าแฟลทโหลดเซลล์ (Flat Load Cell) มีประโยชน์ในการใช้งานเมื่อที่ว่างแนวโหลดกระทำมีจำกัด

โหลดเซลล์แบบแรงเฉือนประกอบด้วยอินเนอร์โหลดคิงส์ฮับ (Inner Loading Hub) และเฮ้าเตอร์ซัพพอร์ตริงคิงส์แฟรงค์ (Outer Supporting Flange) ซึ่งต่อกันด้วยเชียร์เว็บ (Shear Web) ดังรูป เกจความเครียดแบบเชียร์ติคตั้งอยู่ในรูเล็กๆ ที่ถูกเจาะเข้าไปในเชียร์เว็บ แฟลทโหลดเซลล์มีขนาดเล็กกระทัดรัดสามารถใช้ได้กับการประยุกต์แบบเคลื่อนที่ (Dynamics Application) โดยเฉพาะเมื่อต้องการวัดโหลดในขณะที่มีการสั่นที่ความถี่สูง ฟอสคาปาซิตี (Force Capacity) ที่วัดได้จากแฟลทโหลดเซลล์หาได้จากการวัดความถี่ธรรมชาติของโหลดเซลล์

$$f_n = 3.13 \sqrt{\left( \frac{k}{(w_e + w_x)} \right)}$$

เมื่อ  $f_n$  คือ ความถี่ธรรมชาติของทรานควิสต์เซอร์ (Hz)

$k$  คือ ค่าคงตัวของสปริง หรือ สติฟเนส (Stiffness) ของ โหลดเซลล์ (lb/in)

$w_e$  คือ น้ำหนักประสิทธิผลของส่วนแยกที่ฟของ โหลดเซลล์ (lb)

$w_x$  คือ น้ำหนักภายนอกที่ติดกับฮับ (lb)

เมื่อได้ค่า  $f_n$  แล้วนำมาเทียบในตารางของแฟลทโหลดเซลล์ (Mechanical Properties Of Flat Load Cells)

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าของแฟลทโหลดเซลล์

ความจุแรง (P)(lb)	K (lb/in)	We (lb)	$f_n$ (kHz)
250	920,000	0.028	18.0
1,000	1,200,000	0.023	22.8
5,000	6,600,000	0.135	22.0
10,000	8,500,000	0.340	15.7

ความถี่ธรรมชาติที่แสดงในตาราง คำนวณภายใต้สมมุติฐานว่าไม่มีน้ำหนัก ( $w_x$ ) ติดกับ โหลดเซลล์

## ระบบนิวเมติกส์ (Pneumatic System)

อุปกรณ์นิวเมติกส์ที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมทั่วไป และทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานลมอัดเป็นพลังงานกลเรียกว่า อุปกรณ์นิวเมติกส์ ซึ่งเปลี่ยนรูปของพลังงานลมอัดเป็นพลังงานกลในแนวเส้นตรงหรือในทิศทางการหมุนก็ได้ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ๆคือ กระบอกสูบชนิดต่างๆและอุปกรณ์ทำงานในลักษณะการหมุน

### 5.1 กระบอกสูบ



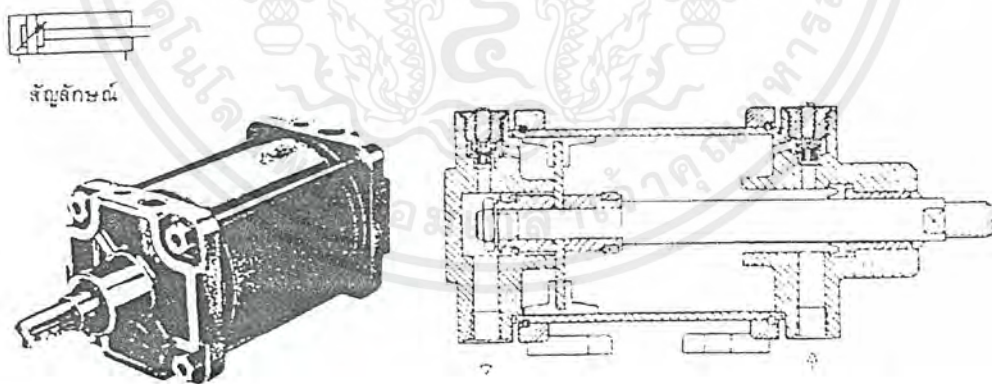
รูปที่ 5.1 แสดงรูปจริงของกระบอกสูบ

กระบอกสูบลมจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานลมเป็นพลังงานกล ซึ่งลักษณะการเคลื่อนที่เป็นแบบเชิงเส้น ในสมัยก่อนที่กระบอกสูบจะเข้ามามีบทบาทในทางอุตสาหกรรมยังใช้กลไกทางกลและทางไฟฟ้า ซึ่งมีความยุ่งยากในการควบคุม และมีปัญหาของช่วงชักกลับจำกัด ดังนั้นในสมัยใหม่จึงใช้ลูกสูบลมมาใช้งานจนถึงปัจจุบัน

ตัวกระบอกสูบลมมักจะทำด้วยท่อ ไม่มีตะเข็บเช่น เหล็ก อลูมิเนียม ทองเหลือง สแตนเลส ขึ้นอยู่กับลักษณะงานที่นำไปใช้ ภายในท่อต้องเจียรนัยให้เรียบเพื่อลดการสึกหรอของซีลที่จะเกิดขึ้น และยังลดแรงเสียดทานที่จะเกิดขึ้นในกระบอกสูบอีกด้วย ตัวฝาสูบทั้งสองด้านนิยมหล่อขึ้นรูป บางแบบอาจใช้การอัดขึ้นรูป ส่วนการยึดกระบอกสูบลมกับฝาสูบอาจใช้เกลียวขัน เหมาะสำหรับกระบอกสูบที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางต่ำกว่า 25 มิลลิเมตรลงมา ถ้าโตกว่านั้นนิยมใช้สกรูขันยึด

ทั้งหัวท้ายไว้ สำหรับก้านสูบอาจทำด้วยสแตนเลส หรือ เหล็กชุบผิวโครเมียม ที่เกี่ยวข้องกับก้านสูบจะนิยมทำด้วยกรรมวิธีรีดขึ้นรูป

การทำงานของกระบอกสูบลมตามรูป เป็นกระบอกสูบแบบมี ระบบลมกันกระแทก ซึ่งส่วนใหญ่จะนิยมใช้กระบอกสูบดังกล่าวในงานอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก อาจมีด้านเดียวหรือ 2 ด้านก็ตาม เพื่อช่วยลดความเร็วหรือหน่วงเวลาช่วงชักกลับของกระบอกสูบสุตระยะชักเป็นการป้องกันการกระแทกที่เกิดขึ้นระหว่างลูกสูบกับกระบอกสูบโดยใช้วาล์วเข็ม (Needle Valve) กับวาล์วกันกลับ (Check Valve) ทำให้เกิดเบาะลมขึ้นระหว่างลูกสูบกับกระบอกสูบ ลมที่มีความดันสูงก็จะทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่กลับด้วยความยากลำบากและเป็นการหน่วงความเร็วของลูกสูบตอนปลายระยะชักของลูกสูบ ทำให้ไม่เกิดการกระแทกซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายของกระบอกสูบเกิดขึ้นได้ โดยทั่วไประยะกันกระแทกอยู่ระหว่าง 15 ถึง 20 มิลลิเมตรขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบตามตารางของแต่ละผู้ผลิต ที่ตัวกระบอกสูบจะมีวาล์วเข็มเมื่อลูกสูบเคลื่อนไปถึงช่องกันกระแทกลมที่อยู่หน้าลูกสูบไม่สามารถผ่านออกไปได้อย่างอิสระ จะต้องผ่านออกไปทางวาล์วเข็มเท่านั้น ความเร็วของกระบอกสูบก็จะถูกลดลงจนใกล้สุตระยะชักในขณะที่ลูกสูบเคลื่อนออก ลมส่วนหนึ่งจะผ่านวาล์วกันกลับเข้ามาได้ ทำให้ลมไปกระทำกับหน้าตัดของกระบอกสูบได้เต็มที่ ลูกสูบจะเคลื่อนที่ไปอย่างรวดเร็ว แต่พอใกล้สุตระยะชัก คือช่วงที่ใกล้ถึงเบาะลม ลูกสูบก็จะเคลื่อนที่ช้าลงอีกทีหนึ่งเช่นเคย การกระทำให้เกิดแรงกระแทกมากน้อยกระทำได้โดยปรับวาล์วเข็มที่อยู่ปลายกระบอกสูบนั่นเอง



รูปที่ 5.2 ลักษณะ โครงสร้างของกระบอกสูบ

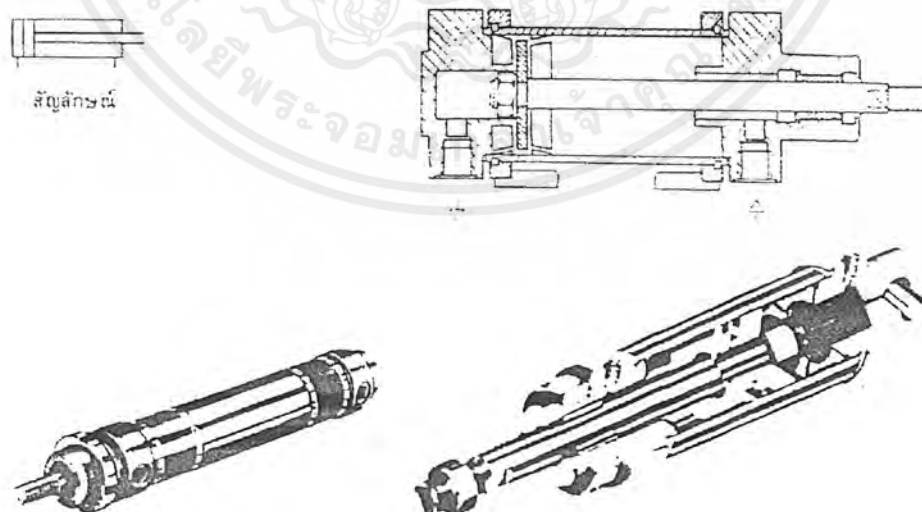
### 5.1.1 ระบายออกสูบลมชนิดทำงานสองทาง

จะใช้ลมดันหัวลูกสูบทั้งตอนเคลื่อนที่ออกและตอนเคลื่อนที่เข้าทำให้ได้แรงทั้งสองทิศทางซึ่งจะเหมาะสำหรับใช้งานที่ต้องการแรงทั้งสองตอนระบายออกสูบลมกลับและตอนระบายออกสูบลมเข้ารวมทั้งลักษณะงานที่ต้องการช่วงชักมาก ปัญหาที่เกิดขึ้นกรณีช่วงชักยาวเกินไปจะทำให้ก้านสูบเกิดการโก่งงอได้ นอกจากนี้ปัญหาดังกล่าวถ้าระบายออกสูบลมมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตเกินไปจะทำให้เกิดความสิ้นเปลืองลมมาก

ลักษณะของระบายออกสูบลมชนิดทำงานสองทางที่ใช้งานในวงการอุตสาหกรรมมีอยู่หลายชนิด เช่น

(1.) ระบายออกสูบลมชนิดที่ไม่มีเบาะลมกันกระแทกนั้นจะมีลักษณะระบายออกสูบลมซึ่งเห็นดังรูป เป็นระบายออกสูบลมที่มี ราคาถูกเหมาะกับงานที่ใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ไม่มากนัก ถ้านำไปใช้กับงานที่เคลื่อนที่เร็วซึ่งมักจะทำให้ตอนช่วงชักกลับสุดของระบายออกสูบลมเกิดการกระแทกกับผนังช่วงของระบายออกสูบลมทำให้เกิดความเสียหายขึ้นมาได้

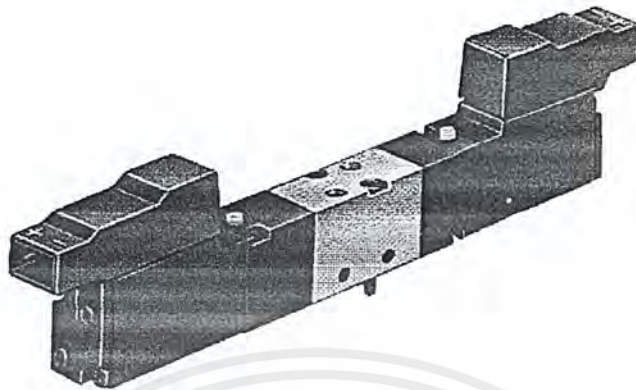
(2.) ระบายออกสูบลมชนิดที่มีเบาะลมกันกระแทกมีลักษณะตามรูป ถูกสร้างขึ้นเพื่อแก้ปัญหาของระบายออกสูบลมชนิดที่ไม่มีเบาะลมกันกระแทก (ดูรูปที่) เบาะลมกันกระแทกมีไว้เพื่อใช้ลดความเร็วหรือลดอัตราเร่งของลูกสูบเมื่อสุดระยะชัก เป็นการป้องกันการกระแทกระหว่างลูกสูบกับผนังหัวท้ายของระบายออกสูบลม โดยปรับสกรูกันกระแทกที่ติดตั้งไว้หัวท้ายของระบายออกสูบลม เมื่อลูกสูบเคลื่อนที่เข้าถึงเบาะกันกระแทกลมที่ถูกระบายทิ้งจะผ่านออกไปได้ยากมากโดยจะต้องผ่านออกทางรูเข็มที่ตรงหัวท้ายของปลายระบายออกสูบลมเท่านั้นโดยที่เราสามารถปรับให้ลมระบายออกได้มากหรือน้อยได้โดยการขันสกรูปรับ



รูปที่ 5.3 ลักษณะของระบายออกสูบลมแบบสองทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 โซลินอยด์ (Solenoid)



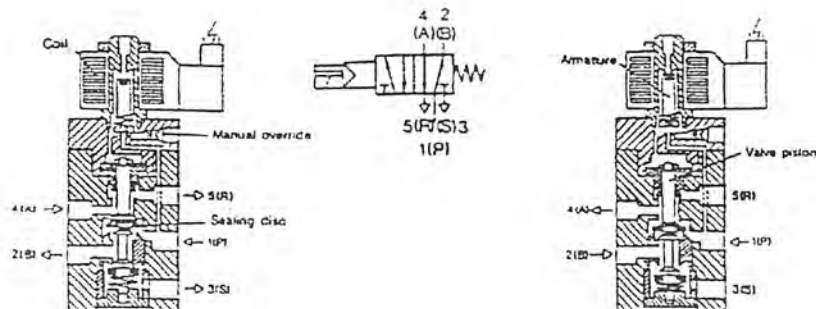
รูปที่ 5.4 แสดงรูปจริงของโซลินอยด์

ในการควบคุมอุปกรณ์นิวแมติกส์ให้ทำงานตามต้องการนั้น จะมีอุปกรณ์ที่สำคัญที่จะทำให้อุปกรณ์เปลี่ยนตำแหน่งนั้นคือวาล์ว ซึ่งในการเลื่อนวาล์วควบคุมนั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเลื่อนวาล์วโดยใช้กล้ามเนื้อ การเลื่อนโดยใช้กลไก การเลื่อนโดยใช้ลมควบคุม การเลื่อนโดยใช้ไฟฟ้าควบคุมหรือวิธีใดวิธีหนึ่งรวมกันอยู่ ซึ่งในที่นี้ขอกล่าวถึงวาล์วที่ใช้ไฟฟ้าเป็นตัวควบคุมในการเปลี่ยนตำแหน่ง หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าโซลินอยด์วาล์ว

### 5.2.1 โครงสร้างและหลักการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว

โครงสร้างของวาล์วควบคุมโดยทั่วไปซึ่งในที่นี้หมายถึง โซลินอยด์วาล์วด้วย สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ วาล์วแบบนั้งบ่า และวาล์วแบบลูกสูบเลื่อน โดยที่วาล์วแต่ละประเภทมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน

(ก.) วาล์ว 5/2 ใช้โซลินอยด์และลมเป็นเลื่อนวาล์วกลับสู่สภาพเดิมด้วยแรงสปริง



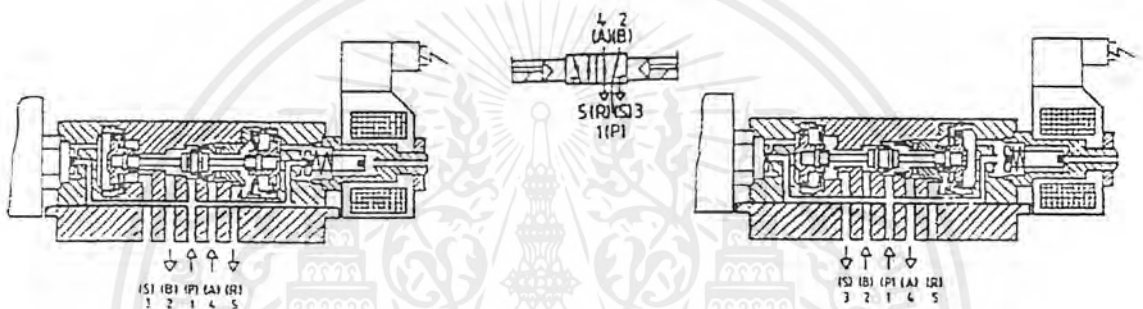
รูปที่ 5.5 โซลินอยด์วาล์วชนิดกระตุ้นด้วยไฟฟ้าถอยกลับด้วยสปริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาวะปกติ : เมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดโซลินอยด์ โซลินอยด์จะยังไม่มีอำนาจแม่เหล็กแรงสปริงจะดันลิ้นเล็กด้านบนปิดทางลมจาก P ลิ้นใหญ่จะไม่ถูกเลื่อน เป็นผลทำให้รู P ต่อถึงรู B รู A ต่อถึงรู R ส่วนรู S จะถูกปิด

สภาวะทำงาน : เมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดโซลินอยด์ จะทำให้โซลินอยด์เกิดอำนาจแม่เหล็กลิ้นเล็กด้านบนเปิดทางลมจากรู P จะผ่านลิ้นเล็กด้านบนไปเลื่อนลิ้นใหญ่ ทำให้แรงดันลมจาก P เปลี่ยนทิศทาง คือ รู P จะต่อรู A รู B จะต่อรู S ส่วนรู R จะถูกปิด

(ข.) วาล์ว 5/2 โซลินอยด์ปิดทางลมและลมเป็นตัวเลื่อนวาล์วทั้งสองด้าน



รูปที่ 5.6 โซลินอยด์วาล์วชนิดกระตุ้นด้วยไฟฟ้าทั้งสองด้าน

สภาวะปกติ : เมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวด โซลินอยด์ด้านซ้ายมือ ทำให้โซลินอยด์เกิดแรงดูดจากอำนาจแม่เหล็กเลื่อนลิ้นเล็กด้านซ้ายมือให้เปิดทางลม ลมจาก P จะไหลผ่านลิ้นเล็กไปเลื่อนให้วาล์วหลักเลื่อนไปทางขวามือ เป็นผลทำให้แรงดันลมจาก P ต่อถึง B และ A จะต่อถึง R ส่วนรู S จะถูกปิด

สภาวะทำงาน : เมื่อไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดโซลินอยด์ด้านขวามือซึ่งจะมีผลให้โซลินอยด์เกิดแรงดูดจากอำนาจแม่เหล็กเลื่อนลิ้นเล็กด้านขวามือให้เปิดทางลม ลมจาก P จะไหลผ่านลิ้นเล็กไปเลื่อนให้วาล์วหลักเลื่อนไปทางซ้ายมือ เป็นผลทำให้แรงดันลมจาก P เปลี่ยนทิศทาง การไหลคือรู P ต่อถึง A และ B จะต่อถึง S ส่วนรู R จะถูกปิด

## บทที่ 6

# การเขียนโปรแกรมด้วย Visual Basic (Visual Basic Programming)

### 6.1 คอนโทรลภายในของ Visual Basic

Visual Basic เป็นเครื่องมือที่ช่วยพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับวินโดวส์ตัวแรกที่ประสบความสำเร็จเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากแนวความคิดที่จะนำเอาความสามารถของคอนโทรลมาใช้ในการออกแบบโปรแกรมนี้เอง เพราะคอนโทรลเป็นเครื่องมือที่ช่วยลดความซับซ้อนในการเขียนโค้ดลงไปได้มากที่สุด และนอกจากนี้คอนโทรลยังมีส่วนที่แสดงผล เพื่อสื่อความหมายของการทำงานระหว่างคอนโทรลและผู้ใช้ได้อีกด้วย ส่วนการใช้งานก็ไม่มี ความซับซ้อนเพียงแต่ผู้อ่านทำการเชื่อมต่อคอนโทรลเข้ากับสภาพแวดล้อมของ visual basic จากนั้นก็สามารถที่จะนำมาเพิ่มลงในฟอร์มได้ทันที สำหรับ visual basic ได้มีการแบ่งคอนโทรลออกเป็น 4 กลุ่มหลักๆดังนี้

#### 6.1.1 คอนโทรลภายใน (Intrinsic Control)

เช่น ComboBox , CommandButton หรือ PictureBox เป็นต้น ซึ่งเป็นคอนโทรลที่ถูกสร้างลงในสภาพแวดล้อมของ vb.exe ดังนั้นที่ทุกครั้งที่ ผู้อ่านโหลด Visual Basic คอนโทรลเหล่านี้ก็ออกมาจากแถบกล่องเครื่องมือได้เลย ดังนั้นจึงจัดได้ว่าเป็นคอนโทรลมาตรฐาน ( Standard Control ) กลุ่มหนึ่งของ Visual Basic

#### 6.1.2 คอนโทรลมาตรฐาน (Standard Control)

เป็นคอนโทรล ActiveX ที่ถูกสร้างเป็นไฟล์ .OCX ที่แยกออกมาต่างหาก เช่น Dbgrid (Apex data-bound grid), MSFlexGrid หรือ CommonDialog เป็นต้น ดังนั้นก่อนที่จะสามารถใช้งานคอนโทรลในกลุ่มนี้ได้เราต้องทำการเชื่อมต่อไฟล์ .OCXเหล่านี้เข้ากับสภาพแวดล้อมของ visual basic เสียก่อน โดยใช้คำสั่ง Components ในเมนู Project เช่นเดียวกัน

#### 6.1.3 คอนโทรลร่วมวินโดวส์ ( Windows Common Control )

เป็นคอนโทรล ActiveX ที่ถูกสร้างเป็นไฟล์ .OCX ที่ต้องใช้ร่วมกับไฟล์ .DLL ของวินโดวส์ เช่น RichTextBox , Slider หรือ Statusbar เป็นต้น เช่นเดียวกับคอนโทรลมาตรฐาน เพียงแต่คอนโทรล ในกลุ่มนี้ได้ถูกจัดเป็นคอนโทรลพื้นฐานของวินโดวส์ 95 โดยที่คอนโทรลร่วมกับวินโดวส์จะถูกจัดเก็บลงในไฟล์ conctl32.ocx และ conctl232.ocx เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 6.1.4 คอนโทรล ActiveX รุ่นมืออาชีพ (Professional ActiveX Control)

เป็นคอนโทรล ActiveX ที่ถูกสร้างเป็นไฟล์ .OCX เช่นเดียวกับคอนโทรลมาตรฐาน เช่น ส่วนแสดงของ MSComm (Communication) , MapiMessages ( MAPI message ) หรือ MMControl (Multimedia MCI ) เป็นต้น แต่คอนโทรลในกลุ่มนี้ได้ถูกสร้างและแจกจ่ายมากับ Visual Basic รุ่น Professional และ Enterprise เท่านั้นคุณสมบัติแสดงค่าของคอนโทรลที่สำคัญ ที่ได้นำมาใช้กับโครงการนี้

คอนโทรลทั้งหมดที่มากับ Visual Basic ไม่ว่าจะเป็นคอนโทรลภายในหรือ ActiveX จะมีคุณสมบัติตัวหนึ่งที่ถูกใช้สำหรับการกำหนดค่า (Value) หรืออ่านจากค่าคอนโทรล และคุณสมบัตินี้ ได้ถูกกำหนดให้เป็นคุณสมบัติปกติ (Default) ของคอนโทรล โดยในการเขียนโค้ดเราสามารถใส่เพียงชื่อของคอนโทรล (Control Name) โดยไม่ต้องกำหนดคุณสมบัติปกติของทุกๆคอนโทรลได้ โดยไม่เกิดข้อผิดพลาด เช่น คอนโทรล TextBox ก็จะมีคุณสมบัติ Text เป็นคุณสมบัติปกติของคอนโทรล สำหรับคุณสมบัติปกติของคอนโทรลที่สำคัญที่ใช้กับโครงการนี้มีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 6.1 แสดงคุณสมบัติของคอนโทรลต่างๆ

คอนโทรล	คุณสมบัติ
CommandButton	Value
Data	Caption
DBGrid (Data-Bound Grid)	Text
Label	Caption
TextBox	Text
Timer	Enable

การแบ่งกลุ่มของคอนโทรลภายในเราจะแยกตามวัตถุประสงค์ของการใช้งานได้ทั้งหมด 4 กลุ่มดังนี้

คอนโทรลภายในทั่วไป ประกอบด้วยคอนโทรลที่แสดงผลในลักษณะของการเลือกตอบ หรือเลือกรายการ เช่น CheckBox , OptionBox หรือ ListBox เป็นต้น

คอนโทรลภายในด้านระบบไฟล์ ประกอบด้วยคอนโทรลที่ทำหน้าที่ติดต่อ หรือ แสดงผลระบบไฟล์ ( รวมทั้งไครฟ์ และ ไดรฟ์คอร์ดด้วย ) ของวินโดวส์ เช่น FileListBox หรือ DirListBox เป็นต้น

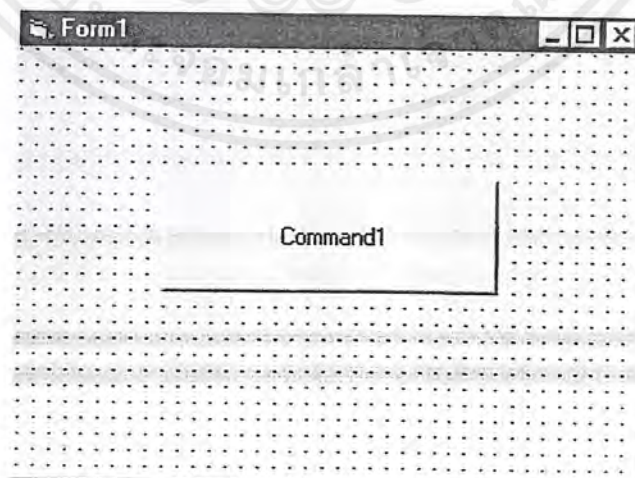
1. คอนโทรลภายในด้านกราฟฟิก ประกอบด้วยคอนโทรลที่ทำหน้าที่ด้านการแสดงผลกราฟฟิกด้วยวิธีกราฟฟิกคอนโทรล หรือ ฟังก์ชันวินโดวส์ API หรือ ไฟล์กราฟฟิกในรูปแบบต่างๆ เช่น PictureBox , Shape หรือ Image เป็นต้น
2. คอนโทรลภายในด้านเวลา ซึ่งจะมีอยู่คอนโทรลเดียวได้แก่ Timer ซึ่งมีหน้าที่สร้างเหตุการณ์ที่ตอบสนองเป็นครั้งๆตามช่วงเวลาที่ถูกกำหนด

## 6.2 คอนโทรลภายใน

คอนโทรลภายใน ก็จะเป็นคอนโทรลพื้นฐานที่ถูกนำไปใช้งานมากที่สุด เพราะจะเป็นกลุ่มของคอนโทรลที่ช่วยในการสื่อสาร แบบสองทางหรือรับเลือกเงื่อนไขจากผู้ใช้ ดังเช่น ทุกๆแอปพลิเคชันจะใช้คอนโทรล CommandButton สำหรับให้ผู้ใช้เลือกที่ยอมรับ (OK) ยกเลิก (Cancel) หรือ อื่นๆตามข้อกำหนดของแต่ละแอปพลิเคชันเป็นต้น ซึ่งคอนโทรลภายในทั่วไปจะประกอบไปด้วยคอนโทรลต่างๆดังต่อไปนี้ คอนโทรล CommandButton

### 6.2.1 คอนโทรล CommandButton

คอนโทรล CommandButton จะเป็นคอนโทรลที่ถูกนำไปใช้งานมากที่สุด เพราะในการกำหนดให้ผู้ใช้งานเลือก OK หรือ Cancel นั้นเรามักจะใช้คอนโทรล CommandButton เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นจึงถือว่าเป็นคอนโทรลที่พื้นฐานที่สุดของ Visual basic เนื่องจากคอนโทรลนี้เป็นปุ่มสำคัญที่ใช้งานในรูปแบบของการคลิกเพื่อยืนยัน ดังนั้นจึงอาจเรียกคอนโทรล CommandButton ได้อีกอย่างว่า PushButton ในขณะที่ออกแบบคอนโทรล CommandButton ที่วางลงบนฟอร์มจะมีลักษณะดังตัวอย่างในรูปนี้



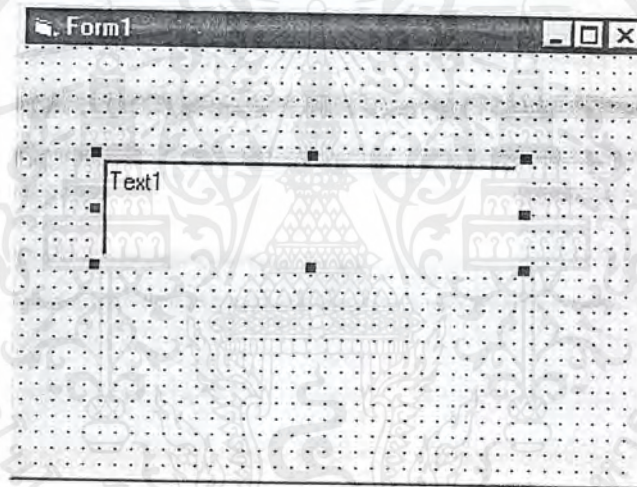
รูปที่ 6.1 แสดงคอนโทรล ControlButton ในขณะออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราสามารถแก้ไขข้อความที่แสดงผลในคอนโทรลนี้ได้ โดยการแก้ไขข้อความในคุณสมบัติCaption ของคอนโทรลในหน้าต่างคุณสมบัติหรือแก้ไขโค้ดในแอปพลิเคชันก็ได้

### 6.2.2 คอนโทรล TextBox

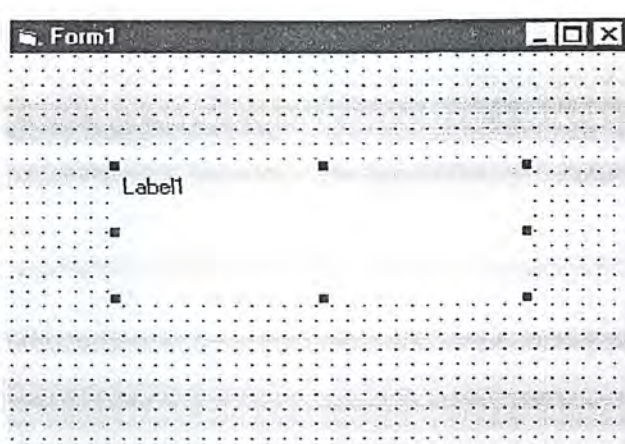
คอนโทรล TextBox มักจะถูกนำไปใช้ทุกๆ ฟอรัมที่มีการรับการกรอกข้อความจากผู้ใช้นี้เนื่องจากคอนโทรลนี้ทำหน้าที่แสดงข้อมูล (โดยผ่านทางคุณสมบัติ Text ) ในคอนโทรล และยังอนุญาตให้ผู้ใช้สามารถแก้ไขตัวอักษรต่างๆ ของคุณสมบัตินี้ได้ด้วยเช่นกัน นอกจากนี้แล้วคอนโทรล TextBox ยังได้รวมเอาความสามารถหลายๆ ด้านของคอนโทรล Label มาใช้ เช่น สามารถแสดงข้อความได้มากกว่า 1 บรรทัด ความสามารถด้าน DDE (Dynamic Data Exchange) และนอกจากนี้ยังสามารถถูกนำไปใช้ในลักษณะของการกรอกรหัสผ่าน (Password) ได้อีกด้วยดังรูป



รูปที่ 6.2 แสดงคอนโทรล TextBox

### 6.2.3 คอนโทรล Label

คอนโทรล Label เป็นคอนโทรลในลักษณะของกราฟฟิกที่ถูกใช้งานด้านการแสดงผลข้อความบนฟอรัม เหมือนกับผู้อ่านได้นำป้ายข้อความอย่างหนึ่งไปวางไว้บนฟอรัม เพื่อใช้ในการสื่อข้อความกับผู้ใช้และคอนโทรลนี้ผู้ใช้ไม่สามารถแก้ไขได้โดยตรงด้วยวิธีการคีย์หรือใช้เมาส์ในขณะที่รันแอปพลิเคชัน นอกเสียจากภายในแอปพลิเคชันจะมีการเขียนโค้ดสำหรับแก้ไขข้อความในคอนโทรลโดยการแก้ไขค่าคุณสมบัติ Caption เท่านั้น และนอกจากนี้ Label ยังเป็นคอนโทรลที่มีความสามารถด้าน DDE ( Dynamic Data Exchange ) อีกด้วย ในขณะที่ออกแบบเราสามารถเพิ่มคอนโทรลลงในฟอรัม หรือตัวบรรจุนั้นๆก็จะปรากฏหน้าต่างของคอนโทรลดังรูป

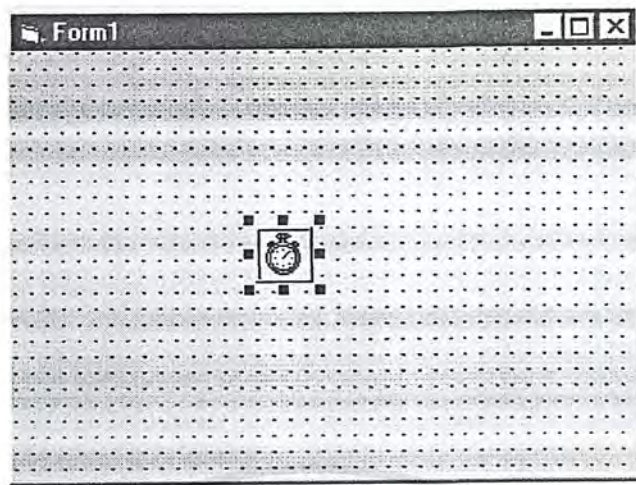


รูปที่ 6.3 แสดงคอนโทรล Label

ในการควบคุมพฤติกรรมของคอนโทรล เราสามารถกระทำได้โดยการกำหนดค่าต่างๆ ให้กับคุณสมบัติของคอนโทรล ซึ่งการแก้ไขของคุณสมบัติเราสามารถกระทำได้ในขณะออกแบบโดยการแก้ไขค่าในหน้าต่างคุณสมบัติ และรับแอปพลิเคชัน โดยการเขียนโค้ดเพื่อแก้ไขค่าของคุณสมบัติแต่ก็มีบางคุณสมบัติที่ไม่สามารถแก้ไขได้ในขณะรันแอปพลิเคชัน เช่น Name เป็นต้น

#### 6.2.4 คอนโทรล Timer

คอนโทรล Timer เป็นคอนโทรลที่ใช้ในการควบคุมและจัดการเหตุการณ์ด้านเวลา ซึ่งเทียบได้กับประโยค ON TIME GOTO ของ QuickBasic โดยเราสามารถเขียนโค้ดเพื่อทำงานใดๆเมื่อช่วงเวลาผ่านไปตามค่าที่กำหนด เช่น ทำการปรับการแสดงผลของฟอร์มทุกๆ 1 นาที เป็นต้น โดยที่คอนโทรลนี้จะตอบสนองเหตุการณ์เพียงเหตุการณ์เดียวเท่านั้น แต่เราสามารถกำหนดให้แต่ละฟอร์มมีคอนโทรล Timer มากกว่า 1 คอนโทรล เนื่องจากคอนโทรล Timer เป็นคอนโทรลที่ทำงานตามนาฬิกาของระบบ ดังนั้นมันจึงถูกควบคุมโดยตัวของระบบเอง สำหรับ วินโดวส์ 95 และ NT ในทางปฏิบัติจะไม่มีกัการจำกัดจำนวนของคอนโทรล Timer ในแต่ละฟอร์ม ดังนั้นเราจึงสามารถใช้งานคอนโทรล Timer พร้อมๆ กันครั้งละหลายๆคอนโทรล ได้อย่างไม่จำกัด



รูปที่ 6.4 แสดงคอนโทรล Timer

ในขณะที่ออกแบบคอนโทรล Timer ที่วางลงบนฟอร์มให้กับฟอร์ม ก็จะมีลักษณะดังรูปที่ 6.4 และเมื่อรันแอปพลิเคชัน คอนโทรลนี้จะไม่ถูกแสดงผล แต่จะมีการทำให้เกิดเหตุการณ์ Timer ทุกครั้งที่ช่วงเวลาครบตามค่าที่ได้กำหนดให้กับคุณสมบัติ Interval ของคอนโทรล Timer

### 6.3 คอนโทรลด้านฐานข้อมูล

แอปพลิเคชันที่ใช้กับโครงงานนี้จะต้องมีการเข้าถึงไฟล์ฐานข้อมูล ดังนั้นตัวแปลภาษาที่เหมาะสมกับการสร้างแอปพลิเคชันเหล่านี้ จึงต้องมีเครื่องมือที่สนับสนุนการจัดการฐานข้อมูลอย่างง่ายและมีประสิทธิภาพ ซึ่งเราจึงเลือกใช้ Visual Basic เป็นตัวแปลภาษาที่มีการสนับสนุนระบบจัดการฐานข้อมูลในรูปแบบ Microsoft Access โดยอาศัย JET Database Engine ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ให้โปรแกรมเมอร์สามารถจัดการกับฐานข้อมูลได้ 2 วิธีดังนี้

#### 6.3.1 คอนโทรลด้านฐานข้อมูล (Data Control)

การเข้าถึงฐานข้อมูลด้วยคอนโทรลด้านฐานข้อมูล จะเป็นวิธีที่ง่ายที่สุดในการเขียนโปรแกรมเพราะเราเพียงแต่กำหนดไฟล์ฐานข้อมูลฟิลด์สำหรับแต่ละคอนโทรล และคอนโทรล Data เท่านั้น คอนโทรลเหล่านี้จะจัดการสร้าง การแสดงผล การแก้ไขฟิลด์ต่างๆ ของฐานข้อมูลให้โดยอัตโนมัติ หรือตามที่ถูกกำหนดในคุณสมบัติต่างๆ สำหรับความสามารถโดยทั่วไปของคอนโทรลด้านฐานข้อมูลมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- สามารถสร้างตัวแปร Recordset โดยอ้างอิงกับตัวแปร Recordset ที่สนับสนุนโดยคอนโทรลด้านฐานข้อมูล
- แก้ไขโครงสร้างของฐานข้อมูล เช่นการแก้ไขตาราง (Table) ฟิลด์ (Field) หรือ ดัชนี (Index) เป็นต้น
- ค้นหาหรือสืบค้นข้อมูลจากฟิลด์ที่ถูกกำหนดของฐานข้อมูล

คอนโทรลที่สนับสนุนการติดต่อกับฐานข้อมูล (Bound Control) นั้น เราสามารถสังเกตได้จากคอนโทรลที่มีคุณสมบัติ Datafield , Datatchange หรือ DataSource เป็นต้น ซึ่งคอนโทรลที่มีคุณสมบัติเหล่านี้ก็จะเป็นคอนโทรลด้านฐานข้อมูลทั้งสิ้น เช่น CheckBox , PictureBox , Data , ProgressBar , RichTextBox หรือ MaskedEdit เป็นต้น

### 1. Data Access Object (DAO)

DAO เป็น โมเดลของคลาสของออบเจกต์ที่สนับสนุนการจัดการฐานข้อมูล ในระบบ relational Database ซึ่งก็จะประกอบด้วยคุณสมบัติ โปรซีเจอร์เหตุการณ์และกัวิธี เพื่อช่วยในการสร้าง แก้ไข จัดเก็บค้นหาและลบฐานข้อมูล โดยในการจัดการกับฐานข้อมูลในทางปฏิบัติ Visual Basic ก็จะอาศัยความสามารถของ JET Database Engine (JET) ซึ่งเป็นเอนจินท์ที่ช่วยในการจัดการฐานข้อมูลด้วยภาษา สำหรับ Visual Basic ฐานข้อมูลในรูปแบบ Microsoft Access จะถูกกำหนดให้เป็นฐานข้อมูลแม่แบบ (Native Database Format) ที่ถูกจัดการโดย JET ซึ่งกลุ่มชนิดของฐานข้อมูลที่ Visual Basic สนับสนุนโดยผ่านทาง DAO และ JET สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มดังนี้

- ฐานข้อมูลของ Visual Basic หมายถึง ฐานข้อมูลในรูปแบบของ Microsoft Access (.mdb) ซึ่ง JET สามารถที่จะจัดการได้โดยตรง ดังนั้นจึงเป็นรูปแบบของฐานข้อมูลที่เอนจินท์ JET สามารถจัดการได้รวดเร็วที่สุด
- ฐานข้อมูลภายนอก หมายถึง ฐานข้อมูลในรูปแบบ Indexed Sequential Access Method (ISAM) ซึ่งเป็นรูปแบบฐานข้อมูลสำหรับโปรแกรมด้านฐานข้อมูลระดับเดสก์ทอปในปัจจุบันนั่นเอง เช่น dBase IV , Foxpro , Paradox เป็นต้น ซึ่งผู้อ่านสามารถจัดการกับฐานข้อมูลในรูปแบบ ISAM ได้โดยตรงจาก VisualBasic เท่านั้น
- ฐานข้อมูล ODBC หมายถึง ฐานข้อมูลที่ทำกรติดต่อดโดยผ่านทาง Open Database Connectivity (ODBC) ซึ่งเป็นมาตรฐานการจัดการกับฐานข้อมูลในรูปแบบที่แตกต่างกันของไมโครซอฟท์ เช่น ฐานข้อมูลชนิด ไคลเอนต์ เซิร์ฟเวอร์ Microsoft SQL Server เป็นต้น ดังนั้นเราจึงสามารถที่จะสร้าง แอปพลิเคชัน ชนิด ไคลเอนต์ เซิร์ฟเวอร์ ด้านฐานข้อมูลได้โดยตรงจาก VisualBasic โดยอาศัยมาตรฐาน ODBC นี้เอง

### 6.3.2 Microsoft JET Database Engine

ในการเขียนโปรแกรมเพื่อจัดการกับฐานข้อมูลของ Visual Basic นั้น เราสามารถใช้อินเตอร์เฟซของ DAO ในการกำหนดวิธีการจัดการกับฐานข้อมูลที่ต้องการ แต่ในทางปฏิบัติจริงๆ DAO ก็จะต้องมีการส่งคำสั่งต่อเนื่องไปยัง JET ที่มากับ Visual Basic 6.0 ก็จะเป็นเวอร์ชัน 3.5 ซึ่งจะเป็นเอ็นจินที่ระดับ 32 บิตที่ทำงานภายใต้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 32 บิตเท่านั้น โดยจะมีความเสถียร ประสิทธิภาพและสมรรถนะในการประมวลผลได้รวดเร็วกว่า JET เวอร์ชันที่ผ่านมา

- User Interface ผู้อ่านต้องเขียนโค้ดโดยอาศัย DAO หรือ คอนโทรลด้านฐานข้อมูล เพื่อจัดการกับฐานข้อมูลที่ต้องการ โดยแสดงผลฟิลด์ต่างๆ ของฐานข้อมูลนั้น ผู้อ่านก็ต้องกระทำโดยอาศัยคอนโทรล หรือ ฟอर्मสำหรับการสร้าง แก้ไข ลบทิ้ง จัดเก็บ หรือ ค้นหาข้อมูลในฐานข้อมูล Visual Basic ก็กระทำผ่านทางเอ็นจินที่ JET อีกทอดหนึ่ง
- Database Engine JET เป็นไฟล์ไลบรารี (.DLL) ที่ประกอบด้วย ฟังก์ชันที่ช่วยในการจัดเก็บกับไฟล์ฐานข้อมูลในระดับกายภาพ ซึ่งในการทำงาน JET จะแปลงการร้องขอจาก Visual Basic เพื่อที่จะดำเนินการกับฟิลด์ต่างๆ ของไฟล์ฐานข้อมูล และรายงานข้อมูลกลับไปยังโค้ดส่วนที่ร้องขอ ( ถ้าหากมี ) และนอกจากนี้ JET ยังสนับสนุนการค้นหาหรือประมวลผลฐานข้อมูลโดยอาศัยภาษา SQL ( Structured Query Language ) อีกด้วย
- Data Store ไฟล์ที่จัดเก็บฐานข้อมูลและรายละเอียดทั้งหมดของฐานข้อมูล โดยที่ไฟล์ข้อมูลแม่แบบของ Visual Basic ก็จัดเก็บในรูปแบบของ Microsoft Access โดยมีนามสกุล .mdb โดยที่ข้อมูลที่จัดเก็บในไฟล์ฐานข้อมูลจะถูกจัดระเบียบโดยรูปแบบของฐานข้อมูลแต่ละประเภท ซึ่งเอ็นจินที่ JET จะทำหน้าที่จัดการกับข้อมูลให้โดยอัตโนมัติ ซึ่งเราสามารถที่จะจัดการกับฐานข้อมูลหลากหลายชนิดโดยไม่จำเป็นต้องทราบถึงโครงสร้างของไฟล์ฐานข้อมูลชนิดนั้นๆ เลย ซึ่งก็เป็นจุดเด่นอีกประการของระบบฐานข้อมูลของ Visual basic

## 6.4 ชนิดของคอนโทรลด้านฐานข้อมูล

คอนโทรลด้านฐานข้อมูลเป็นคอนโทรลที่ใช้ในการเข้าถึงฐานข้อมูล ซึ่งหลักๆ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มดังนี้

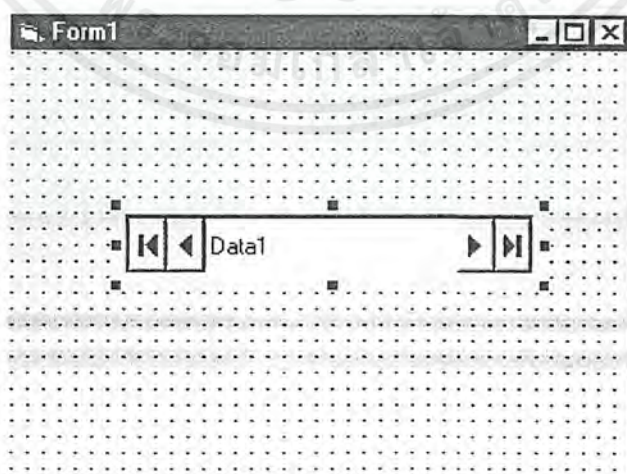
1. คอนโทรล Data เป็นคอนโทรลหลักที่ใช้ในการควบคุมการติดต่อระหว่างคอนโทรลด้านฐานข้อมูลกับฐานข้อมูล โดยที่คอนโทรล Data จะทำหน้าที่ควบคุมการเข้าถึงฐานข้อมูล เช่น การเคลื่อนที่ไปยังเรคคอร์ด การเปิดปิด การจัดเก็บฐานข้อมูล เป็นต้น

2. คอนโทรลภายใน Data-Aware เป็นคอนโทรลภายในของ visual basic ที่สนับสนุนคุณสมบัติการแสดงผลข้อมูลของฟิลด์ต่างๆของฐานข้อมูล เช่น CheckBox , PictureBox หรือ TextBox เป็นต้น ซึ่งคอนโทรลภายใน Data-Aware จะแตกต่างกับคอนโทรล Data-Bound ตรงที่คอนโทรลภายใน Data-Awareจะสามารถเชื่อมต่อเข้ากับฟิลด์ของฐานข้อมูลคอนโทรลละ 1 ฟิลด์เท่านั้น

3. คอนโทรล Data-Bound เป็นคอนโทรล ActiveX ที่ถูกออกแบบพิเศษเพื่อให้สามารถเชื่อมต่อกับ Record ( ประกอบด้วยตั้งแต่ 1 ฟิลด์ขึ้นไป ) ของฐานข้อมูล เช่น Dblist , DbCombo , DbGrid และ MSFlexGrid ซึ่งคอนโทรล Data-Bound จะสามารถเชื่อมต่อกับหลายๆเรคคอร์ดได้ในเวลาเดียวกันทั้งนี้เพื่อขยายขีดความสามารถในการจัดการฐานข้อมูลนั่นเอง

#### 6.4.1 คอนโทรล Data

คอนโทรล data เป็นคอนโทรลที่ใช้เข้าถึงฐานข้อมูล และทำการเชื่อมต่อการแสดงผลข้อมูลของแต่ละฟิลด์ ในฐานข้อมูลเข้ากับคอนโทรลด้านฐานข้อมูล ( Data-Bound or Data-Aware Control) โดยเมื่อมีการเคลื่อนที่ไปยังเรคคอร์ดใดๆในฐานข้อมูลด้วยคอนโทรล Data ข้อมูลที่ถูกแก้ไขในคอนโทรลด้านฐานข้อมูลที่เชื่อมต่อกับคอนโทรล Data ซึ่งเป็นเรคคอร์ดปัจจุบันในขณะนั้น ก็จะถูกจัดเก็บลงในฐานข้อมูลโดยอัตโนมัติ แล้วจึงเคลื่อนที่ไปยังเรคคอร์ดถัดไปทันที แต่เนื่องจากคอนโทรล Data สามารถที่จะจัดเก็บข้อมูลที่ถูกแก้ไขให้โดยอัตโนมัติ ดังนั้นถ้าหากเราต้องการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลก่อนที่จะถูกจัดเก็บโดยคอนโทรล Data ก็ยังสามารถกระทำได้โดยการเขียนโค้ด เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลในโพธิ์เซอร์ของเหตุการณ์ Validate ในขณะออกแบบคอนโทรล Data ที่วางลงบนฟอร์มจะมีลักษณะดังรูป

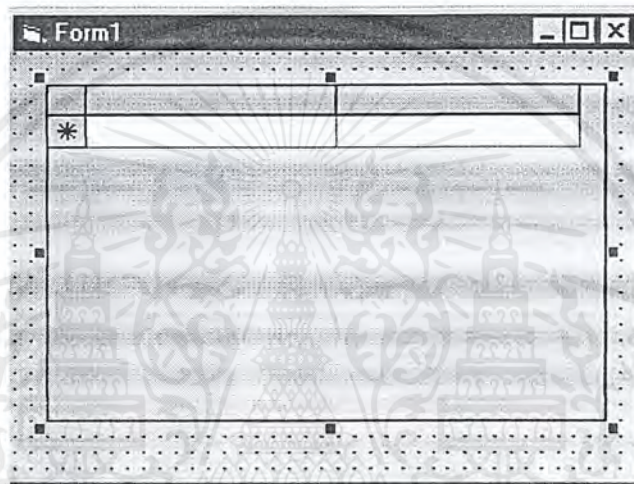


รูปที่ 6.5 แสดงคอนโทรล Data

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 6.4.2 คอนโทรล DBGrid (Apex Data-Bound Grid)

คอนโทรล DBGrid ทำหน้าที่แสดงผลเรคคอร์ดในรูปแบบของตาราง (Grid) โดยที่เราต้องการกำหนดชื่อของคอนโทรล Data ให้กับคุณสมบัติ DataSource ของคอนโทรล DBGrid ซึ่งข้อมูลทั้งหมดของเรคคอร์ดจะถูกแสดงผลภายในคอนโทรล DBGrid โดยอัตโนมัติ โดยปกติคอนโทรล DBGrid สามารถแสดงผลจำนวนคอลัมน์ได้มากที่สุดเท่ากับ 1,700 คอลัมน์ ส่วนจำนวนแถวก็แสดงผลได้มากเท่าที่ทรัพยากรของระบบจะอำนวย และในการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งใดๆของคอนโทรล DBGrid ด้วยวิธี Move เราก็ควรจะเขียนโค้ดเพื่อเรียกใช้วิธี Refresh ให้ทำการวาดคอนโทรลใหม่อีกครั้ง โดยในขณะที่ออกแบบคอนโทรลก็จะมีลักษณะดังรูป



รูปที่ 6.6 แสดงคอนโทรล DBGrid

#### 6.5 พอร์ตอนุกรม (Serial Port)

เนื่องจากในปัจจุบันมีการใช้งานตามมาตรฐานการเชื่อมต่อแบบ RS 232C กันอย่างแพร่หลาย ซึ่งเป็นมาตรฐานถูกกำหนดโดย EIA ซึ่งเป็นองค์กรอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ของสหรัฐอเมริกา โดยแบ่งการเชื่อมต่อออกเป็น 2 ลักษณะ คือ DTE (Data Terminal Equipment) และ DCE (Data Communication Equipment ซึ่งโดยปกติ DTE จะต้องต่อเข้ากับ DCE เสมอ เช่น การต่อเครื่องคอมพิวเตอร์ (อุปกรณ์ DTE) เข้ากับอุปกรณ์โมเด็ม (อุปกรณ์ DCE) เป็นต้น

พอร์ตอนุกรม RS 232C จะเป็นพอร์ตของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีขาต่อ (Connector) ทั้งประเภท 9 และ 25 ขาและเราเรียกกันว่า พอร์ต COM1: และ COM2: นั่นเอง ในความจริงพอร์ตอนุกรมไม่ได้ถูกควบคุมโดยตรงจาก CPU บนเมนบอร์ด แต่การสื่อสารทั้งหมดจะถูกเก็บโดยชิป UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) อีกทีหนึ่ง ซึ่งในปัจจุบันเบอร์ที่ใช้กันมากที่สุดก็คือ เบอร์ 16550C ซึ่งเป็นเวอร์ชันที่ได้รับการแก้ไขข้อผิดพลาดแล้ว ซึ่งชิป UART นี้จะทำหน้าที่ในการรับและส่งข้อมูลดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### การส่งข้อมูล( Data transmission)

- รับตัวอักษรจากเครื่องคอมพิวเตอร์
- แปลงตัวอักษรให้เป็นสายข้อมูลแบบบิต (เราเรียกว่าขบวนการ Serialization )
- สร้างเฟรมข้อมูลโดยการเพิ่มบิตที่จำเป็นสำหรับการสื่อสารและการตรวจสอบ เช่น บิต Start , Stop และ Parity เป็นต้น
- ส่งผ่านเฟรมข้อมูลที่สร้างขึ้นมาจากขั้นตอนที่ผ่านมา ด้วยความเร็วของโมเด็ม หรือพอร์ตอนุกรม(Baud Rate)
- แสดงสถานะความพร้อมที่จะรับข้อมูลตัวอักษรถัดไปให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์

### การรับข้อมูล ( Data Reciever )

- รับตัวอักษรจากตัวอินเตอร์เฟส
- ตรวจสอบความถูกต้องของเฟรมข้อมูลตามมาตรฐานเฟรมที่กำหนด โดยถ้าหากเฟรมข้อมูลมีรูปแบบที่ผิด ก็จะมีการแจ้งข้อผิดพลาดทันที
- ตรวจสอบความถูกต้องของพาริตี
- แปลงสายข้อมูลแบบบิตให้เป็นตัวอักษร
- ส่งตัวอักษรให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์
- แสดงสถานะความพร้อมที่รับข้อมูลตัวอักษรถัดไปให้กับอินเตอร์เฟส

## 6.6 คอนโทรล MSComm (Communication)

คอนโทรล MSComm เป็นคอนโทรลตัวหนึ่งซึ่งช่วยในการติดต่อกับพอร์ตอนุกรม (Serial Port) ซึ่งผู้อ่านสามารถรับส่งข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรมได้ด้วยคอนโทรลนี้ เช่น การติดต่อผ่านทางโมเด็ม หรือ ติดต่อโดยตรงกับบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์ เป็นต้น ซึ่งคอนโทรล MSComm ที่มากับ VisualBasic จะเป็นคอนโทรลที่ทำงานโดยมีการตอบสนองต่อเหตุการณ์แบบ Event-Driven นั่นก็คือ คอนโทรลจะทำหน้าที่ตรวจสอบการเกิดขึ้นหรือร้องขอให้เกิดเหตุการณ์ต่างๆ กับพอร์ตอนุกรมโดยอัตโนมัติ และจะมีการแจ้งเตือนให้ผู้อ่านได้รับทราบโดยผ่านโพธิ์เซอร์เหตุการณ์ เช่นเดียวกับคอนโทรลทั่วไปของ Visual Basic นั่นเอง ดังนั้นในการเขียนโค้ดเราจึงไม่จำเป็นต้องสร้างโพธิ์เซอร์ที่ทำหน้าที่คอยตรวจสอบเหตุการณ์ต่างๆ ของพอร์ตอนุกรมซึ่งจะทำให้ง่ายต่อการทำงานเป็นอย่างมาก คอนโทรล MSComm จะมีหน้าที่มาตรฐานหลักๆ สำหรับการสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม 3 ประการ ดังต่อไปนี้

- หมุนหมายเลขติดต่อกับโทรศัพท์ปลายทางที่กำหนด
- ตรวจสอบการเข้ามาของข้อมูลยังพอร์ตอนุกรมโดยอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

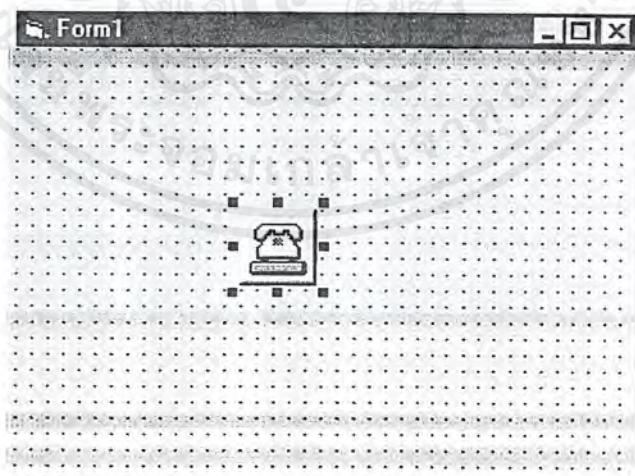
- ส่งข้อมูลตามที่กำหนดจากโปรแกรมไปยังพอร์ตอนุกรม

ในความจริงคอนโทรล MSComm ไม่ได้ทำหน้าที่ติดต่อกับพอร์ตอนุกรมโดยตรง แต่มันจะทำหน้าที่เรียกใช้ฟังก์ชันวินโดวส์ API ซึ่งวินโดวส์จะทำการส่งหรือรับข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมโดยอาศัย ไดรเวอร์ Comm.drv อีกทอดหนึ่ง ดังนั้นจึงสามารถสรุปสั้นๆ ได้ว่าทุกครั้งที่เรามีการเรียกใช้คอนโทรล Mscomm ก็หมายถึงเรียกใช้ฟังก์ชันวินโดวส์ API ซึ่งจะถูกตีความอีกทอดหนึ่งโดยไดรเวอร์ Comm.drv จากนั้นก็จะส่งผ่านข้อมูลที่ถูกจัดรูปแบบตามมาตรฐานการสื่อสาร (ทั้งนี้ขึ้นกับอุปกรณ์ที่ต่อเข้ากับพอร์ตอนุกรม) ให้กับดีไวซ์ไดรเวอร์อีกทอดหนึ่งนั่นเอง

การกำหนดคุณสมบัติของคอนโทรล MSComm ในขณะออกแบบเราสามารถกระทำได้อย่างสะดวกโดยการคลิกที่ปุ่มของรายการ (Custom) ในหน้าต่างคุณสมบัติ ซึ่งก็จะปรากฏไคอะล็อกบ็อกซ์ Property Pages เพื่อให้เราได้ปรับแต่งค่าของคุณสมบัติของคอนโทรล MSComm สนับสนุน ซึ่งปุ่มต่างๆของไคอะล็อกบ็อกซ์ Property Pages มีความหมายดังนี้

- ปุ่มคำสั่ง OK           ยอมรับการแก้ไขคุณสมบัติของคอนโทรล MSComm
- ปุ่มคำสั่ง Cancel       ยกเลิกการแก้ไขคุณสมบัติของคอนโทรลMSComm
- ปุ่มคำสั่ง Apply       อัปเดตคุณสมบัติที่ถูกแก้ไขของคอนโทรล MSComm
- ปุ่มคำสั่ง Help         แสดงผล Help ของคอนโทรล MSComm

สำหรับฟอร์มต่างๆ เราสามารถเพิ่มได้หลายๆ คอนโทรลMSComm ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการของเราในการติดต่อกับพอร์ตอนุกรมใดบ้าง สำหรับวินโดวส์ 95 และ NT 4.0 เราสามารถติดตั้งพอร์ตอนุกรมได้มากกว่า 4 พอร์ต โดยเราสามารถเพิ่มคอนโทรล MSComm ลงในฟอร์ม ก็ จะปรากฏดังรูป



รูปที่ 6.7 แสดงคอนโทรล MSComm

### 6.7 คอนโทรล MSChart

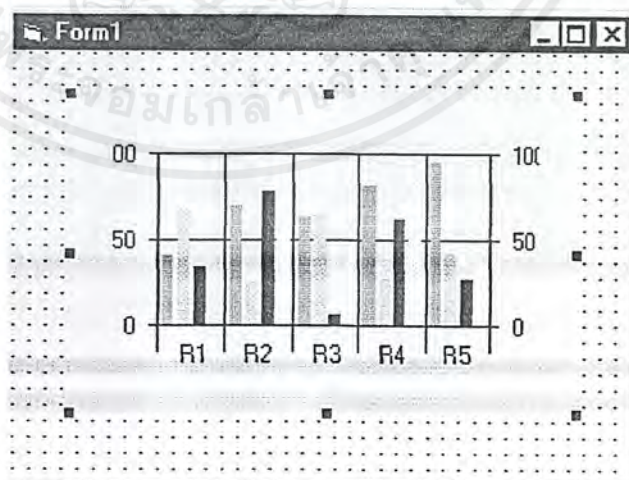
คอนโทรลMSChart เป็นคอนโทรลที่ทำหน้าที่สร้างกราฟในรูปแบบต่างๆ เช่น กราฟแท่ง ( BarChart ) , กราฟเส้น ( Line Chart ) หรือ กราฟพาย ( Pie Chart ) เส้นข้อมูลสถิติ เช่น เส้นค่าเฉลี่ย หรือ เส้นสมการถดถอยเชิงเส้นตรง ( Linear Regression ) เป็นต้น และนอกจากนี้ยังสนับสนุนคุณสมบัติอื่นๆที่สำคัญดังต่อไปนี้

- แสดงผลกราฟในรูปแบบ 3 มิติ
- สนับสนุนกราฟสำคัญที่ใช้ในวงการธุรกิจทั้งหมด
- สร้างประชากรข้อมูลโดยการสุ่มหรือโคเนอาร์เรย์

สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการสร้างกราฟนั้นคอนโทรลMSChart จะดึงมาจากออบเจกต์ DataGrid ซึ่งถูกกำหนดเป็นตารางสำหรับการจัดเก็บข้อมูลทั้งหมด โดยที่เราสามารถแบ่งกำหนดได้เป็นหลายๆ กลุ่มสำหรับการนำไปสร้างเป็นกราฟที่ต้องการเปรียบเทียบหรือแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแต่ละกลุ่มข้อมูล เป็นต้น

การกำหนดคุณสมบัติของคอนโทรล MSChart ในขณะที่การออกแบบ เราสามารถกระทำได้อย่างสะดวกโดยการคลิกที่ปุ่มของรายการ (Custom) ในหน้าต่างคุณสมบัติ ซึ่งก็จะปรากฏไดอะล็อกบ็อกซ์ Property Pages เพื่อให้เราได้ปรับแต่งค่าของคุณสมบัติของคอนโทรล MSChart สนับสนุน ซึ่งส่วนปุ่มคำสั่งต่างๆของไดอะล็อกบ็อกซ์ PropertyPages มีความหมายดังนี้

- ปุ่มคำสั่ง OK                   ยอมรับการแก้ไขคุณสมบัติของคอนโทรล MSChart
- ปุ่มคำสั่ง Cancele           ยกเลิกการแก้ไขคุณสมบัติของคอนโทรลMSChart
- ปุ่มคำสั่ง Apply               อัปเดตคุณสมบัติที่ถูกแก้ไขของคอนโทรล MSChart
- ปุ่มคำสั่ง Help                แสดงผล Help ของคอนโทรล MSChart



รูปที่ 6.8 แสดงคอนโทรล MSChart

## 6.8 การติดต่อกับฐานข้อมูลด้วย Visual Basic

ในการติดต่อกับฐานข้อมูลโดยปกติแล้ว VB จะเชื่อมโยงผ่านทาง Database Engine ที่เรียกว่า JET Engine หรือจะกล่าวได้ว่า JET Engine เป็นไครเวอร์ชนิดหนึ่ง ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมโยงให้ VB สามารถติดต่อกับฐานข้อมูลได้ โดยที่ฐานข้อมูลหลักที่ VB รู้จักเป็นอย่างดีคือ MS Access แต่ Visual Basic สามารถติดต่อกับฐานข้อมูลได้ทุกชนิดโดยอาศัยเทคโนโลยีหลายๆ อย่าง

การติดต่อกับฐานข้อมูลใน Visual Basic จะแยกเป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ คือ

### 6.8.1 ติดต่อโดยอาศัยคอนโทรลด้านฐานข้อมูล

มีศัพท์เรียกกลุ่มคอนโทรลกลุ่มนี้โดยเฉพาะว่า Bound Controls ส่วนใหญ่คือ คอนโทรลมาตรฐานที่ใช้กันโดยทั่วไปนั่นเอง เช่นคอนโทรล TextBox, PictureBox, Image, ListBox, ComboBox เป็นต้น โดยใช้คอนโทรล Data (Data control) เป็นตัวเชื่อมโยงระหว่างฐานข้อมูลกับกลุ่ม Bound Controls

ยังมีคอนโทรลอีกกลุ่มที่เรียกว่า ActiveX Bound Controls หมายถึงกลุ่มของคอนโทรลที่มีคุณสมบัติที่ขึ้นต้นด้วยคำว่า Data.... แต่มีข้อแตกต่างจากคอนโทรลในกลุ่ม Bound controls คือกลุ่ม ActiveX Bound Controls อาจมาจากผู้ผลิตรายอื่นๆ ซึ่งเป็นคอนโทรลที่ไม่ได้อยู่ในแถบเครื่องมือมาตรฐานของ Visual Basic โดยที่คุณต้องเพิ่มคอนโทรลกลุ่มนี้เข้ามาในแถบเครื่องเอง

### 6.8.2 ติดต่อโดยใช้ออบเจกต์ Data Access Object (DAO)

ถือว่าเป็นวิธีที่ล้ำสมัยแล้ว โดยมีแนวคิดในการติดต่อหรือเข้าถึงข้อมูลในฐานข้อมูลผ่านทางองค์ประกอบต่างๆ ของฐานข้อมูลเช่นฟิลด์ (Field) , เร็คคอร์ด (Record), ความสัมพันธ์ระหว่างตาราง (Relation) เป็นต้น โดยจะแทนแต่ละองค์ประกอบเหล่านั้นด้วยออบเจกต์ และควบคุมการใช้ออบเจกต์ต่างๆ เหล่านี้โดยการเขียนโค้ด

แม้จะทำงานได้ดีกว่าอิสระกว่า แต่มีความยุ่งยากในการเขียนโปรแกรมด้วยเช่นกัน อีกทั้งยังเป็นเทคโนโลยีที่เก่าแก่มากแล้วคือเน้นเฉพาะระบบฐานข้อมูลที่ เป็นตาราง แต่ว่าการเก็บข้อมูลในปัจจุบันถูกจัดเก็บอยู่ในสภาพแวดล้อมแตกต่างกันมากมาย เช่น รูปภาพ ข้อความ และรูปแบบอื่นๆ อีกมากมายทำให้ต้องสร้างออบเจกต์ใหม่ ๆ ขึ้นมาเรื่อย ๆ แต่นั่นไม่ใช่สิ่งที่ทำง่าย ๆ กลายเป็นข้อจำกัดที่สำคัญของ DAO ตัวอย่างของออบเจกต์ในกลุ่มนี้ เช่น ออบเจกต์ RecordSet, ออบเจกต์ TableDef เป็นต้น

### 6.8.3 ติดต่อผ่าน ODBC โดยตรง (ODBC Direct)

เป็นการติดต่อฐานข้อมูลแบบ 32 บิตที่สนับสนุนมาตรฐาน ODBC (Open Database Connectivity) ที่ JET Engine ไม่สามารถจัดการได้ เช่นฐานข้อมูลของ Oracle, ฐานข้อมูลของ Microsoft SQL Server เป็นต้น ซึ่งเป็นการติดต่อเฉพาะฐานข้อมูลที่มีการเก็บข้อมูลในรูปแบบตารางเท่านั้น

ไมโครซอฟท์เองได้สร้างออบเจกต์ขึ้นมาอีกชุดหนึ่งเรียกว่า Remote Data Object หรือเรียกสั้นๆว่า RDO เพื่อใช้สำหรับติดต่อกับฐานข้อมูลแบบเครือข่าย ซึ่งเป็นไปตามสถาปัตยกรรม n-Tier เช่น Client/Server โดยอาศัยมาตรฐาน ODBC ในการเชื่อมโยงที่เกี่ยวข้องกับ Visual Basic คือ

- คอนโทรล Remote Data
- ออบเจกต์ Remote Data

### 6.8.4 เข้าถึงข้อมูลโดยอาศัยเทคโนโลยี OLEDB

เป็นรูปแบบการติดต่อกับฐานข้อมูลผ่านทางกลุ่มออบเจกต์ในโมเดล ADO ซึ่งใช้ OLEDB Provider เป็นกลไกในการเข้าถึงข้อมูลในฐานข้อมูลแทน JET Engine โดยเปลี่ยนจากมุมมองการติดต่อฐานข้อมูลแบบเดิมๆ ที่ต้องกำหนดชนิดของฐานข้อมูล มาเป็นมองที่รูปแบบการเชื่อมต่อเข้ากับฐานข้อมูล

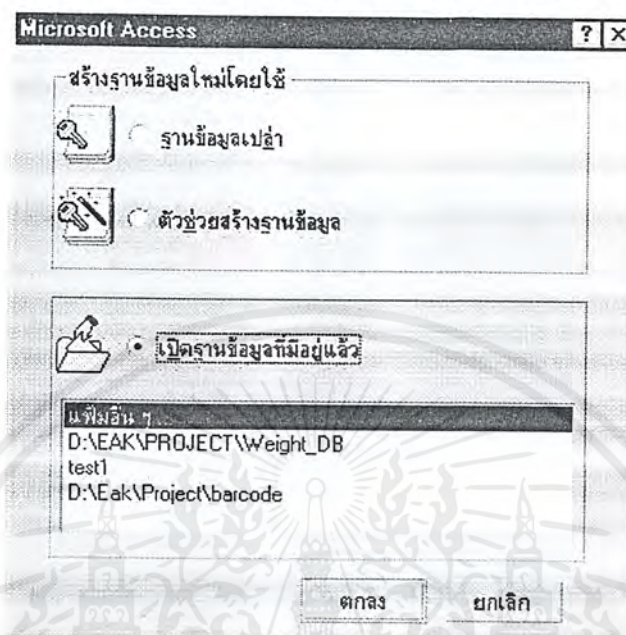
OLEDB เป็นเทคโนโลยีล่าสุดที่ไมโครซอฟท์วางตำแหน่งให้เป็นยุคต่อไป ในการเข้าถึงข้อมูลในฐานข้อมูลที่มีรูปแบบการเก็บข้อมูลสารพัดรูปแบบ ซึ่งไม่ได้จำกัดตัวเองเฉพาะตาราง โดย OLEDB เป็นส่วนหนึ่งของสถาปัตยกรรม Universal Data Access (UDA) ของไมโครซอฟท์

ใน Visual Basic สามารถใช้ OLEDB ได้ 2 แบบคือ

- คอนโทรล ADO Data ร่วมกับกลุ่มของ ActiveX Bound Controls ซึ่งสังเกตจากชื่อของคอนโทรลที่มีคำว่า OLEDB ต่อท้าย เช่นคอนโทรล DataGrid, DataList, FlexGrid เป็นต้น
- ชุดออบเจกต์ ActiveX Data (ActiveX Data Object – ADO) โดยการเขียนโปรแกรมควบคุม

## 6.9 การสร้างฐานข้อมูลใน Microsoft Access

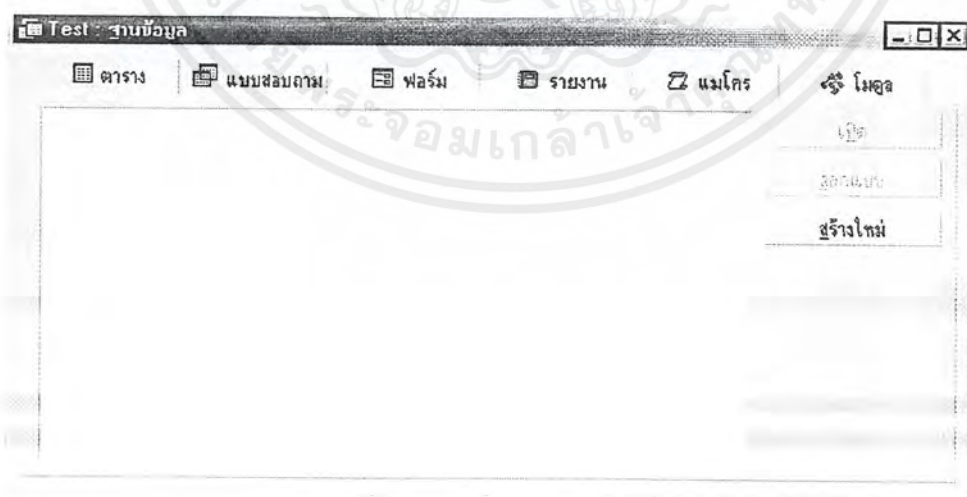
หลังจากที่เปิดโปรแกรม Microsoft Access หากต้องการสร้างฐานข้อมูลใหม่ให้เลือก



สร้างฐานข้อมูลใหม่

รูปที่ 6.9 การเริ่มต้นสร้างฐานข้อมูลของ Microsoft Access

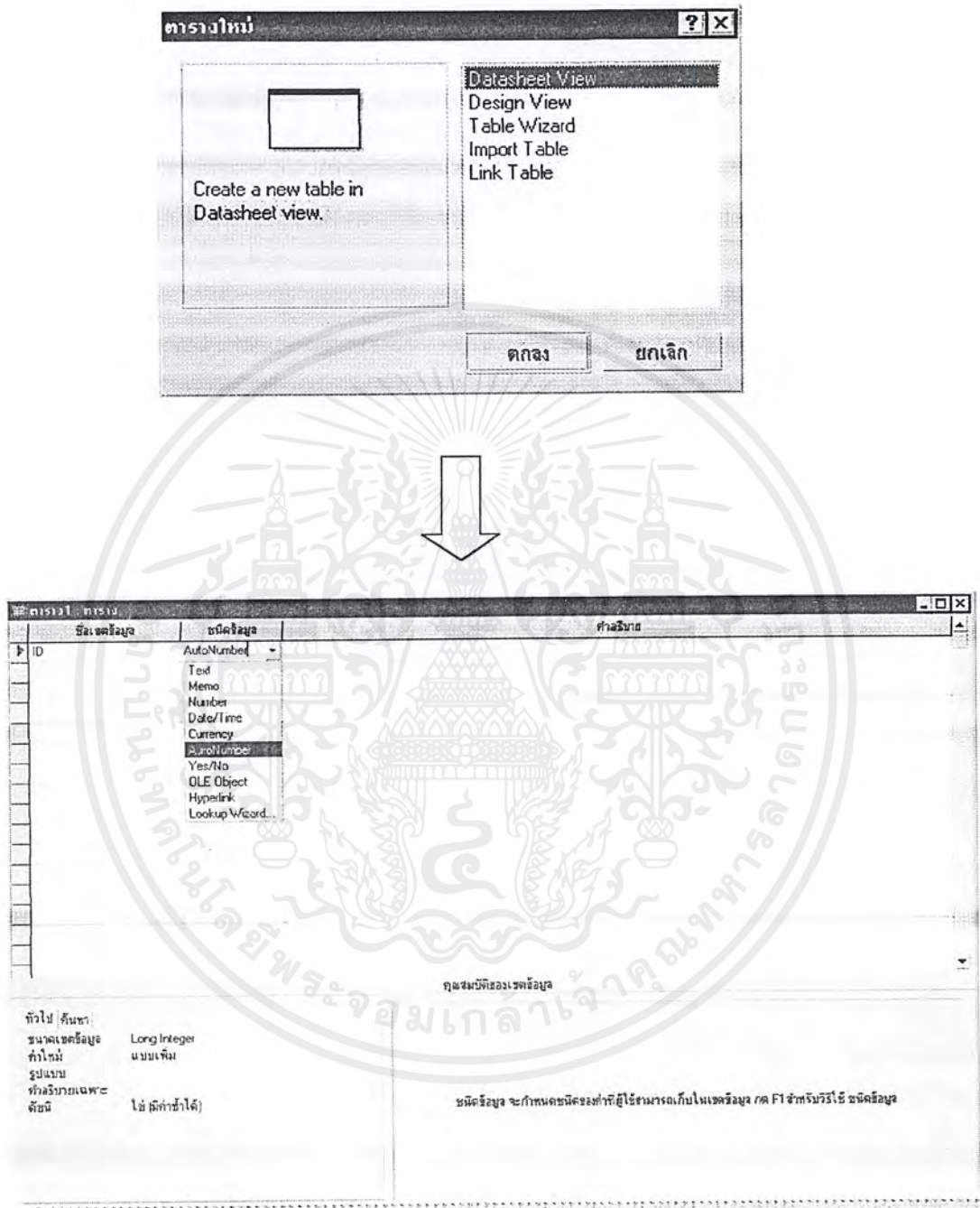
เมื่อเลือกสร้างฐานข้อมูลใหม่แล้วจะขึ้นหน้าต่างดังรูป



รูปที่ 6.10 หน้าหลักของการสร้างฐานข้อมูลด้วย Microsoft Access

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่ต้องกำหนดรายละเอียดต่างๆ ในตารางเองเช่นชื่อฟิลด์ ชนิดของข้อมูลใน แต่ละฟิลด์ รวมถึงข้อกำหนดอื่นๆ



รูปที่ 6.11 การสร้างตารางใหม่ของ Microsoft Access

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 7

### วงจรและการทำงานของระบบ

#### 7.1 ภาพรวมของระบบ

Hard ware ของระบบสามารถที่จะแยกส่วนได้ดังนี้

- ส่วนจ่ายสินค้าจากสต็อก มีกระบอกสูบ 1 ตัว ทำหน้าที่ส่งสินค้าจากสต็อกเข้าสู่สายพานลำเลียง
- สายพานลำเลียง ขับเคลื่อนด้วย DC Motor ขนาด 12 V.
- ส่วนตรวจสอบน้ำหนักผลิตภัณฑ์ จะมีส่วนย่อยๆประกอบด้วยโพลลเซลล์ เพื่อรับค่าน้ำหนักผลิตภัณฑ์แล้วส่งให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ และชุดคัตแยกสินค้าซึ่งมีกระบอกสูบ 2 ตัว ทำหน้าที่คัตแยกผลิตภัณฑ์ที่ผ่านและไม่ผ่านการตรวจสอบค่าน้ำหนักออกจากกัน
- ชุดกำหนดหมายเลขผลิตภัณฑ์ ประกอบด้วยกระบอกสูบ 2 ตัว ใช้กำหนดหมายเลขผลิตภัณฑ์เพื่อใช้สำหรับติดบาร์โค้ดค่าน้ำหนัก
- แผงควบคุม จะประกอบด้วยวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ วงจรรีเลย์ และโซลินอยด์วาล์วควบคุมกระบอกสูบ

#### 7.2 รูปแบบการทำงานของระบบ

ระบบควบคุมน้ำหนักผลิตภัณฑ์แบบเลือกค่าน้ำหนักได้จะแยกส่วนควบคุมระบบออกเป็น 3 ส่วนใหญ่ๆด้วยกันคือ

- ระบบนิวเมติกส์
- ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์
- ระบบคอมพิวเตอร์

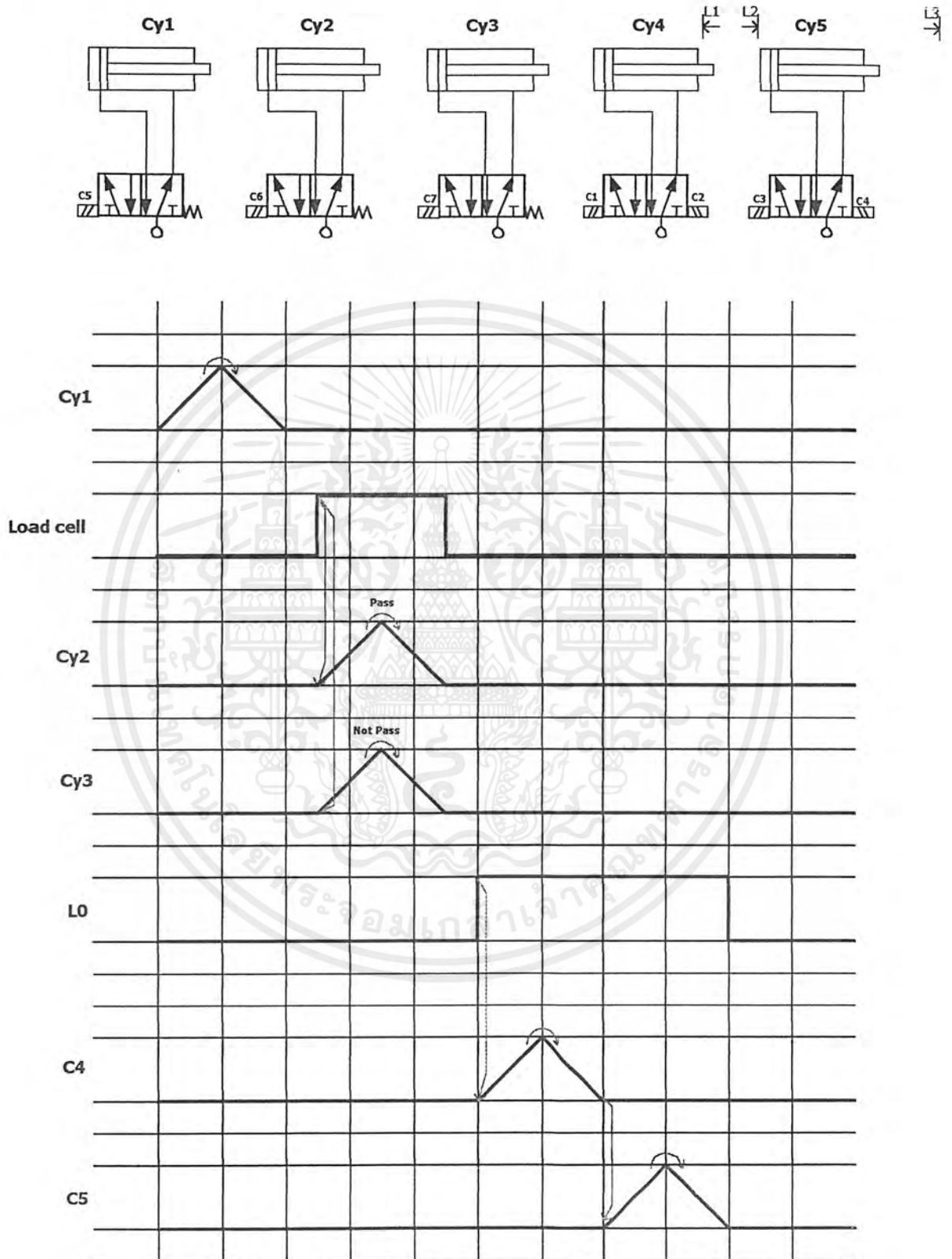
##### 7.2.1 ระบบนิวเมติกส์

ระบบควบคุมน้ำหนักผลิตภัณฑ์จะประกอบด้วย กระบอกสูบทั้งหมด 5 ตัวด้วยกันมีรายละเอียดดังนี้

- Cy1 ส่งผลิตภัณฑ์จากสต็อกเข้าสู่สายพานลำเลียง
- Cy2 คัตแยกผลิตภัณฑ์ส่วนที่ผ่านการตรวจสอบค่าน้ำหนัก
- Cy3 คัตแยกผลิตภัณฑ์ส่วนที่ไม่ผ่านการตรวจสอบค่าน้ำหนัก
- Cy4 กำหนดหมายเลขสินค้าที่ผ่านการตรวจสอบแล้ว
- Cy5 นำสินค้าที่กำหนดหมายเลขแล้วออกจากระบบ

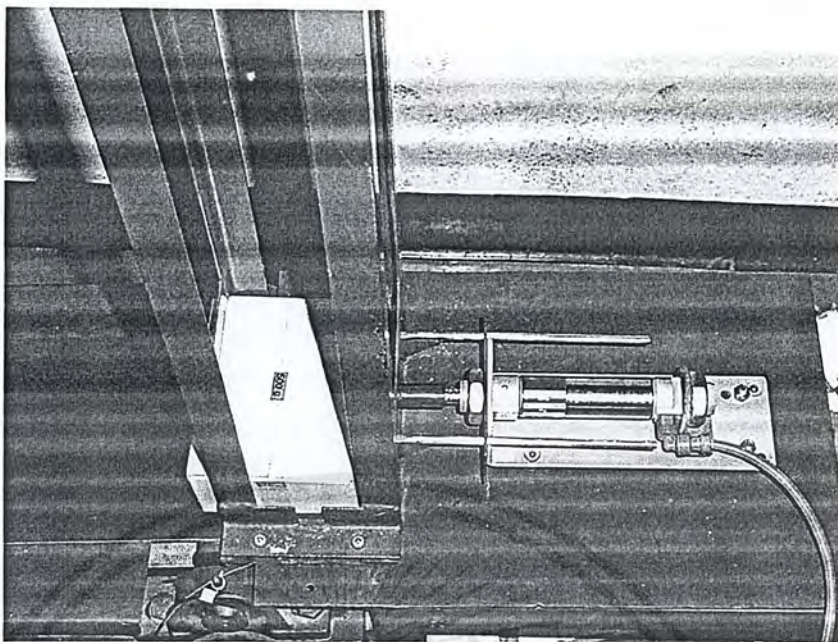
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของระบบทดสอบทั้งหมดเป็นไปตาม Timing รูปที่ 7.1

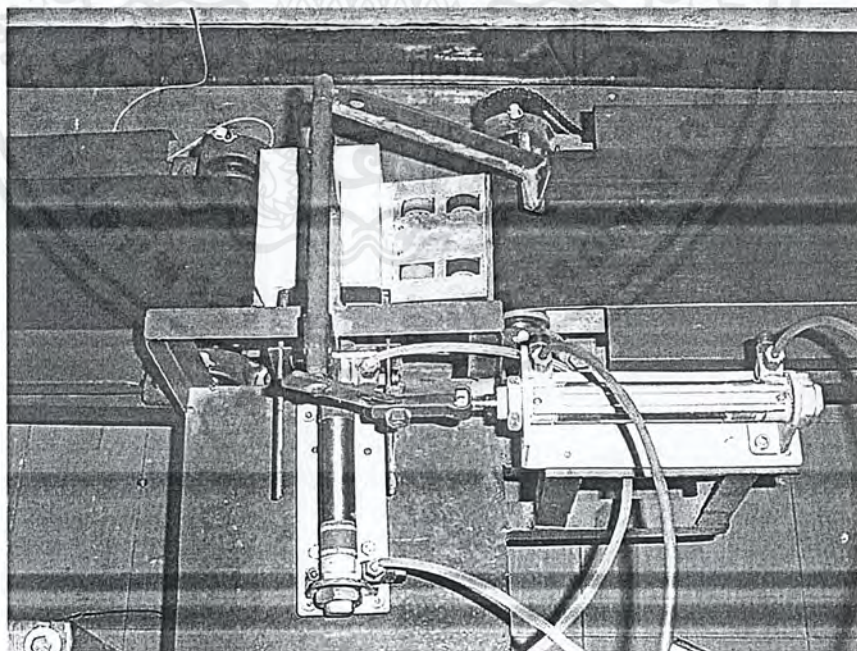


รูปที่ 7.1 Timing Diagram ของระบบนิวมेटริกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

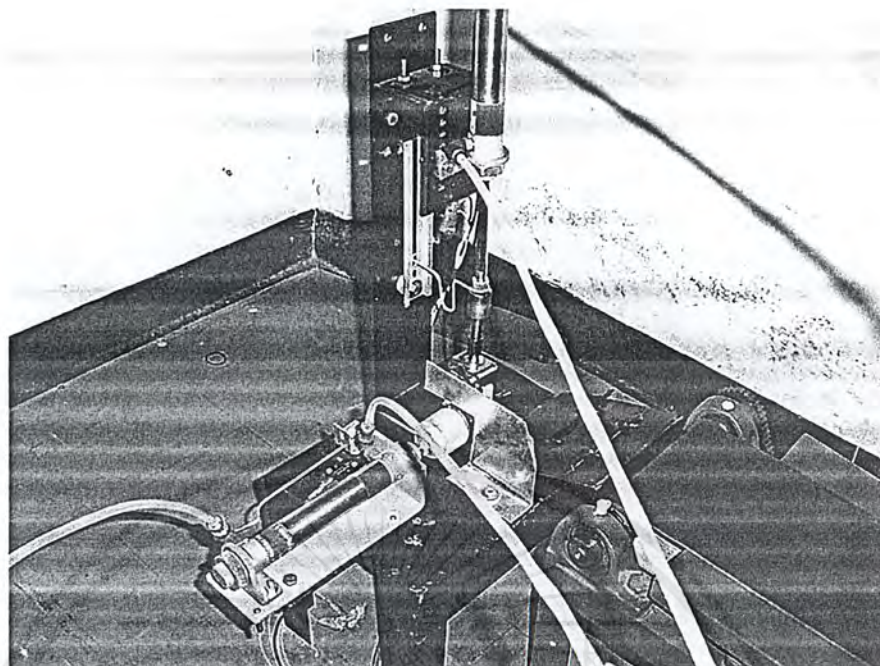


รูปที่ 7.2 กระบอกลูบ Cy1 ส่งสินค้าจากสต็อกเข้าสายพานลำเลียง

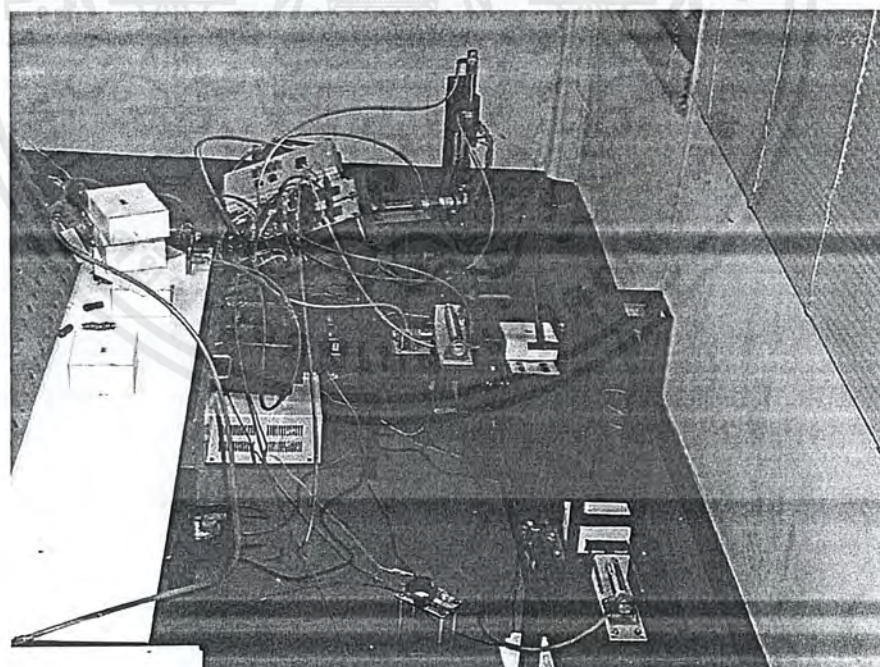


รูปที่ 7.3 กระบอกลูบ Cy2 และ Cy3 สำหรับคัดแยกน้ำหนักสินค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.4 ครอบบอกสูบ Cy4 และ Cy5 กำหนดหมายเลขสินค้าที่นำหนักผ่านตามที่กำหนด



รูปที่ 7.5 รูปรวมของระบบ

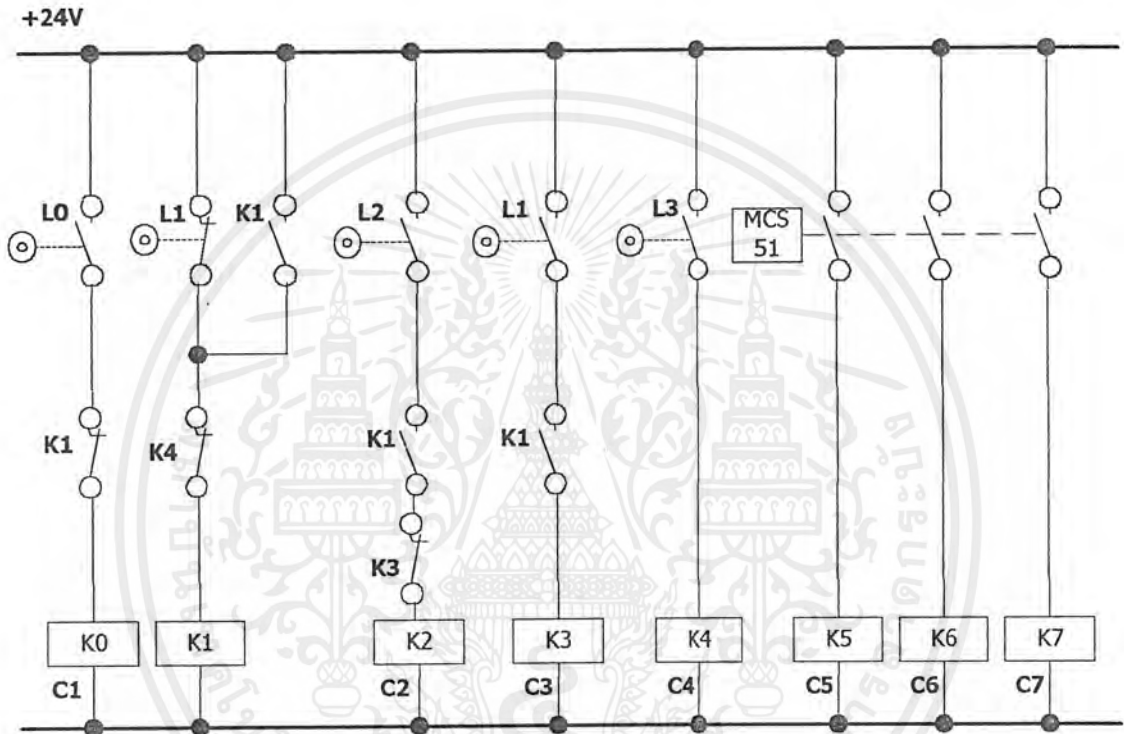
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 7.2.2 วงจรรีเลย์

ใช้สำหรับตัดต่อโซลินอยด์วาล์วควบคุมควบคุมกระบอกสูบ ประกอบด้วยรีเลย์

ทั้งหมด 8 ตัวด้วยกัน

- K0-K4 รีเลย์ควบคุมโซลินอยด์วาล์วกระบอกสูบชุดกำหนดหมายเลขผลิตภัณฑ์
  - K5-K8 รีเลย์ควบคุมโซลินอยด์วาล์วกระบอกสูบ จ่ายสินค้าและคัดแยกผลิตภัณฑ์
- วงจรการทำงานของรีเลย์ดังรูปที่ 7.2



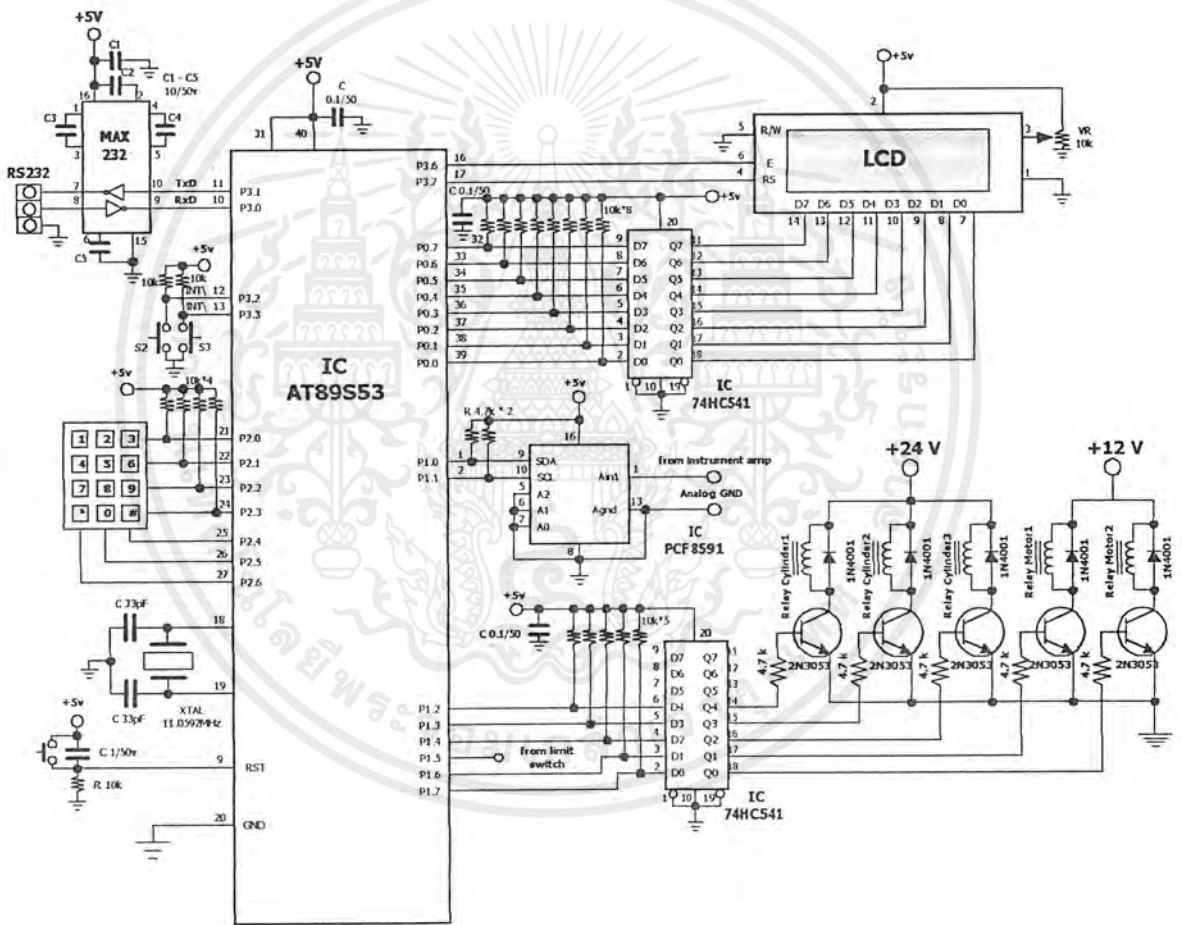
รูปที่ 7.6 วงจรรีเลย์ควบคุมโซลินอยด์กระบอกสูบ

เมื่อเริ่ม Start ระบบ ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะตั้งให้ รีเลย์ K5 ทำงาน กระบอกสูบ Cy1 จะเคลื่อนตัวออก เพื่อส่งสินค้าออกจากสต็อก เมื่อผลิตภัณฑ์ผ่านสายพานลำเลียงมาถึง โหลดเซลล์ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับค่าน้ำหนักจากโหลดเซลล์เพื่อส่งค่าให้คอมพิวเตอร์ตัดสินใจ จากนั้นก็จะส่งค่าที่ตัดสินใจมาที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อควบคุมกระบอกสูบ CY2 หรือ CY3 ทำงาน โดยที่ CY2 ทำงานเมื่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ผ่านการตรวจสอบ ส่วน CY3 ทำงานเมื่อน้ำหนักผลิตภัณฑ์ไม่ผ่านการตรวจสอบ

จากสินค้าที่ผ่านการตรวจสอบ จะผ่านสายพานลำเลียงเข้าสู่ชุดกำหนดหมายเลขผลิตภัณฑ์ ทำให้ลิimitswitch L0 ต้องวงจรทำให้ K0 และ K1 ทำงาน ระเบิดอกสูบ Cy4 จะเคลื่อนที่มากำหนดค่าหมายเลขที่ผลิตภัณฑ์ และทำให้ลิimitswitch L2 ต้องวงจร Cy4 จะเคลื่อนที่กลับเมื่อ Cy4 เคลื่อนที่กลับทำให้ลิimitswitch L1 ต้องวงจร รีเลย์ K3 จะทำงาน ระเบิดอกสูบ Cy5 จะเคลื่อนที่ออกเพื่อค้นผลิตภัณฑ์ออกจากระบบ ก็ทำให้ลิimitswitch L3 ต้องวงจร รีเลย์ K4 จะทำงานให้ระเบิดอกสูบ CY5 เคลื่อนที่กลับ

### 7.2.3 ระบบไมโครคอนโทรลเลอร์และวงจรอิเล็กทรอนิกส์

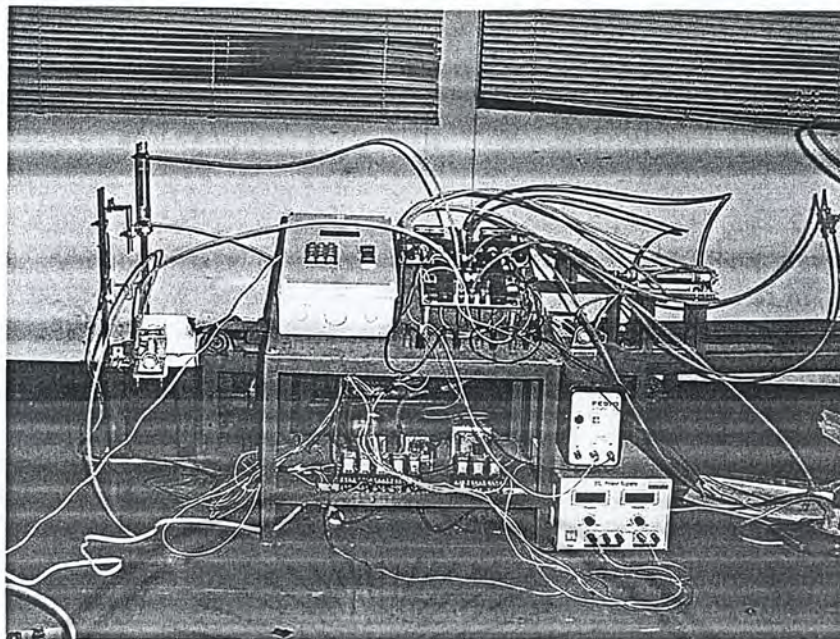
วงจรของชุดไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นดังรูปที่ 7.7



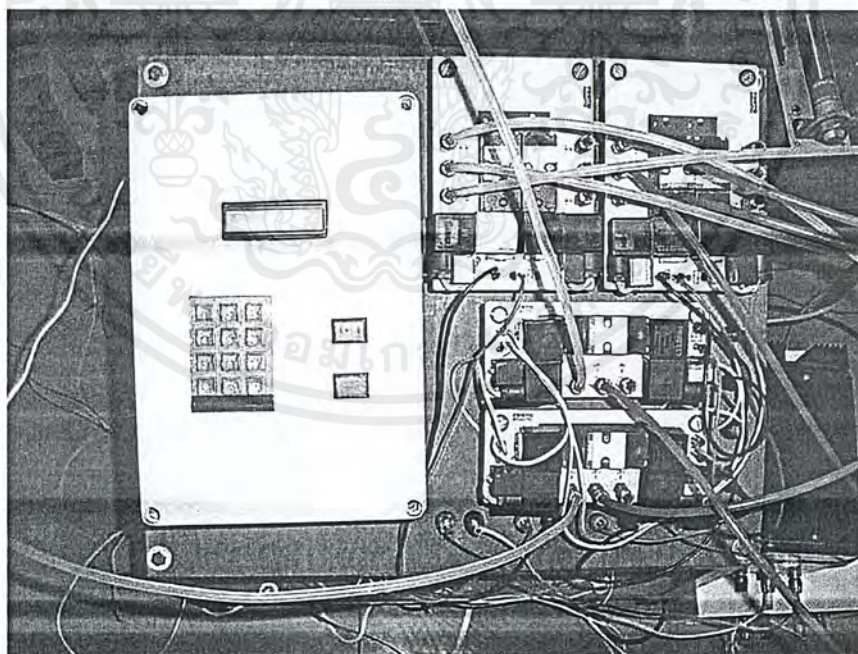
รูปที่ 7.7 วงจรไมโครคอนโทรลเลอร์ของระบบ

การทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์จะเป็นไปตาม Flow Chart รูปที่ 7.8





รูปที่ 7.9 รูปรวมของแผงควบคุมการทำงาน

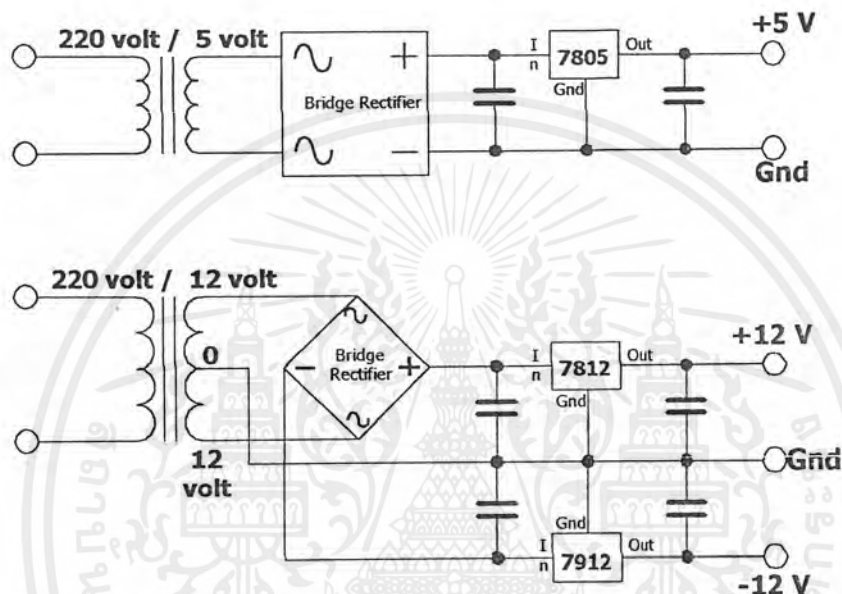


รูปที่ 7.10 แผงควบคุมการทำงาน

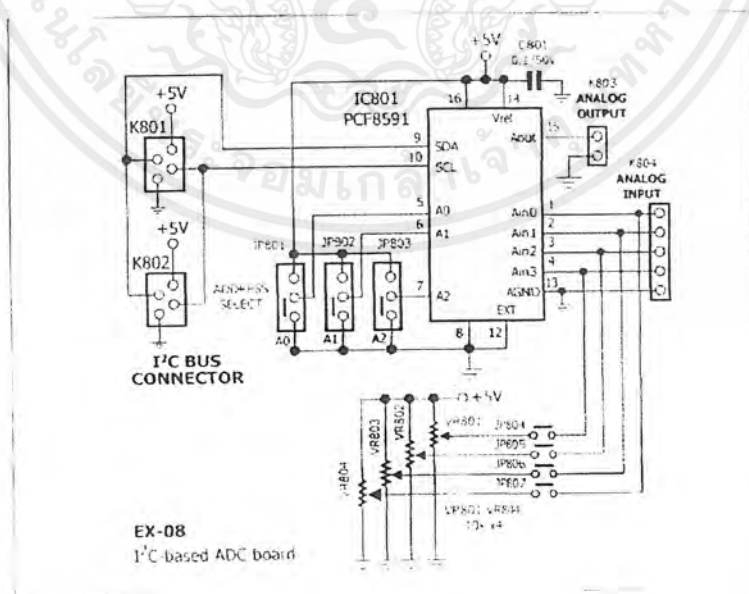
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรอื่นๆซึ่งประกอบร่วมกับชุดไมโครคอนโทรลเลอร์ ได้แก่

- Power Supply
- A/D Converter
- Instrument Amp.
- ชุด Drive ควบคุมรีเลย์และมอเตอร์

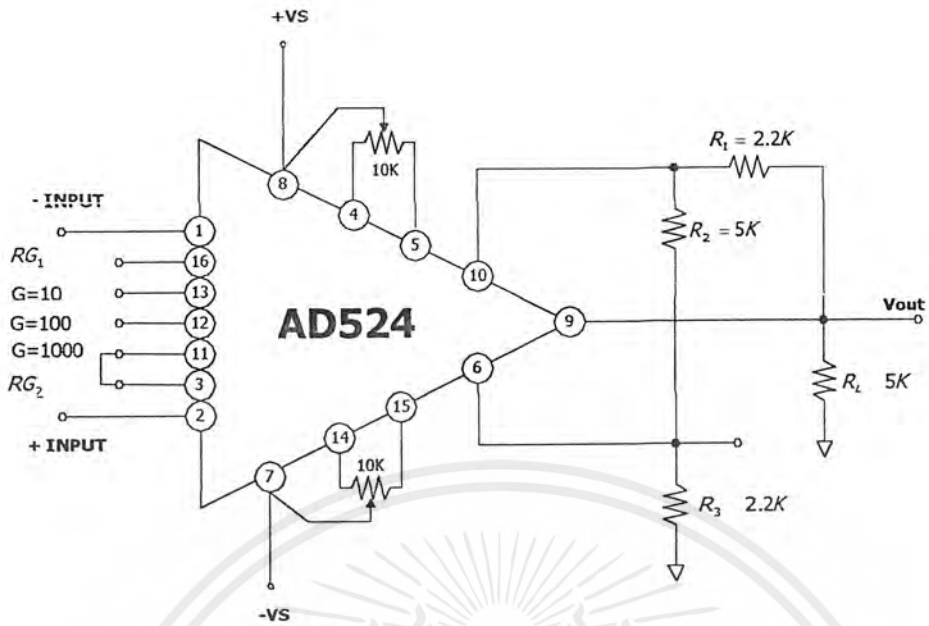


รูปที่ 7.11 วงจรจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 7.12 วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล แบบ I<sup>2</sup>C Bus

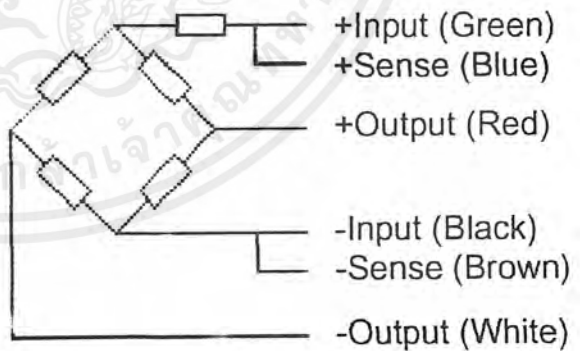
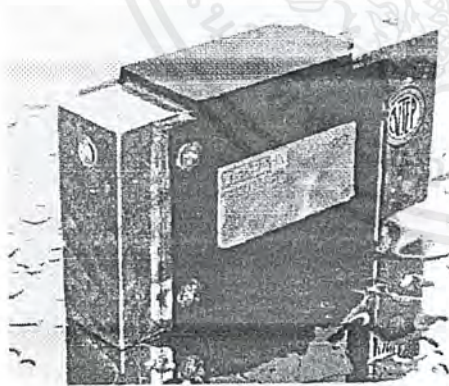
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



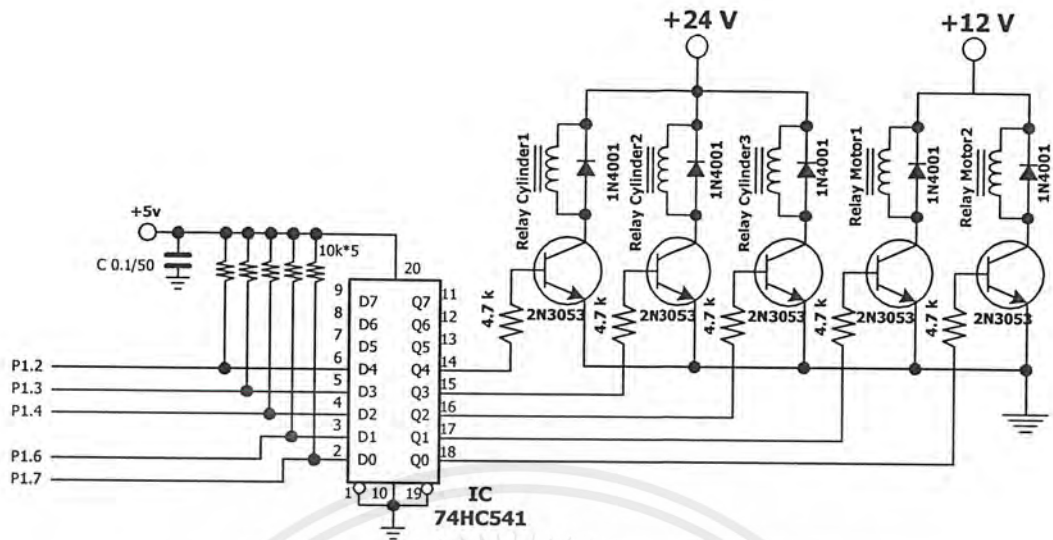
วงจร Instrument Amplifier

รูปที่ 7.13 วงจรขยายสัญญาณ (Instrument Amp.)

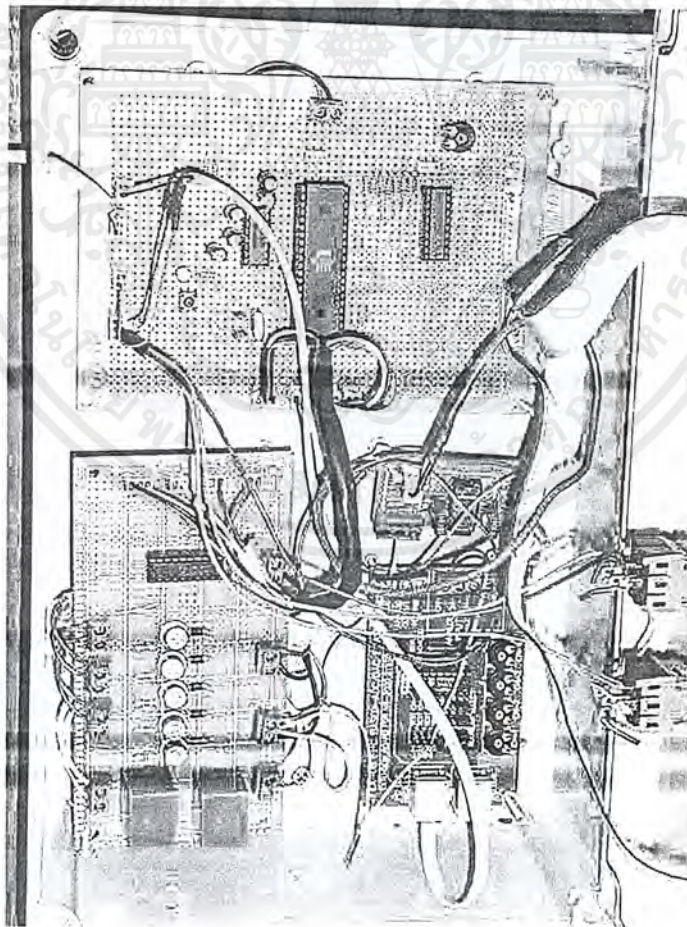
วงจรขยายสัญญาณจะรับสัญญาณจาก โหลดเซลล์มาขยายสัญญาณ ให้มีขนาดมากพอที่จะแปลงสัญญาณได้ วงจรการต่อโหลดเซลล์เข้า Instrument Amp. เป็นดังรูปที่ 7.14



รูป 7.14 แสดงการต่อวงจรเข้ากับ Load cell



รูปที่ 7.15 วงจรชุดขับรีเลย์และมอเตอร์



รูปที่ 7.16 วงจรทั้งหมดภายในแผงควบคุม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 7.2.4 ระบบคอมพิวเตอร์

ระบบตรวจสอบผลิตภัณฑ์แบบเลือกค่าน้ำหนักได้

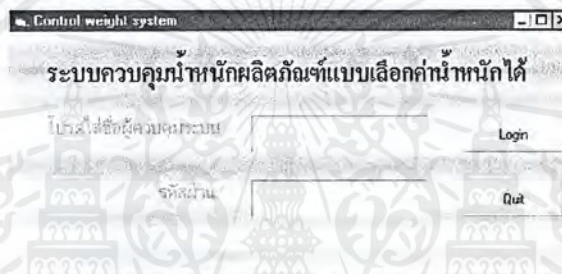
จะมีโปรแกรม

คอมพิวเตอร์ เพื่อควบคุมการทำงาน ซึ่งจะใช้โปรแกรม Visual Basic 6.0 เพื่อออกแบบโปรแกรม หน้าต่างต่างๆของโปรแกรมพอจะแยกเป็นส่วนๆดังนี้

- รับค่าน้ำหนักจากไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อตรวจสอบค่าน้ำหนักตามที่ตั้งไว้
- นำค่าน้ำหนักที่ได้ทั้งหมดเก็บอยู่ในรูปของฐานข้อมูลเพื่อใช้ควบคุมคุณภาพ
- สร้างรหัสแท่ง (Barcode) ให้กับผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการตรวจสอบน้ำหนัก

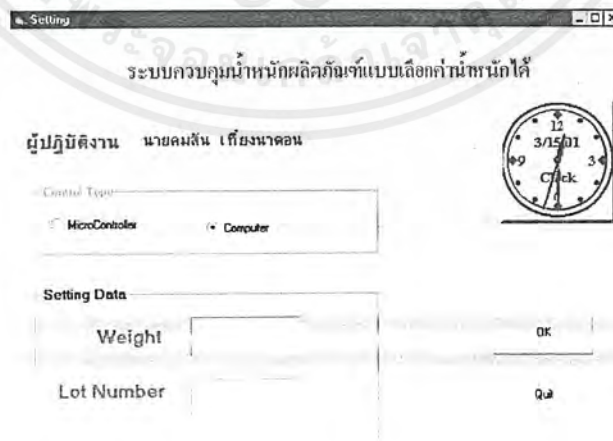
การใช้งานโปรแกรมจะมีการทำงานเป็นขั้นตอนดังนี้

- เมื่อเปิดโปรแกรมจะขึ้นหน้าต่างแรกเพื่อใส่ชื่อผู้ควบคุมระบบและรหัสผ่าน เพื่อจำกัด ผู้ที่สามารถควบคุมระบบและตั้งค่าน้ำหนักผลิตภัณฑ์ได้



รูปที่ 7.17 ป้อนค่า Login และ Password ให้กับโปรแกรม

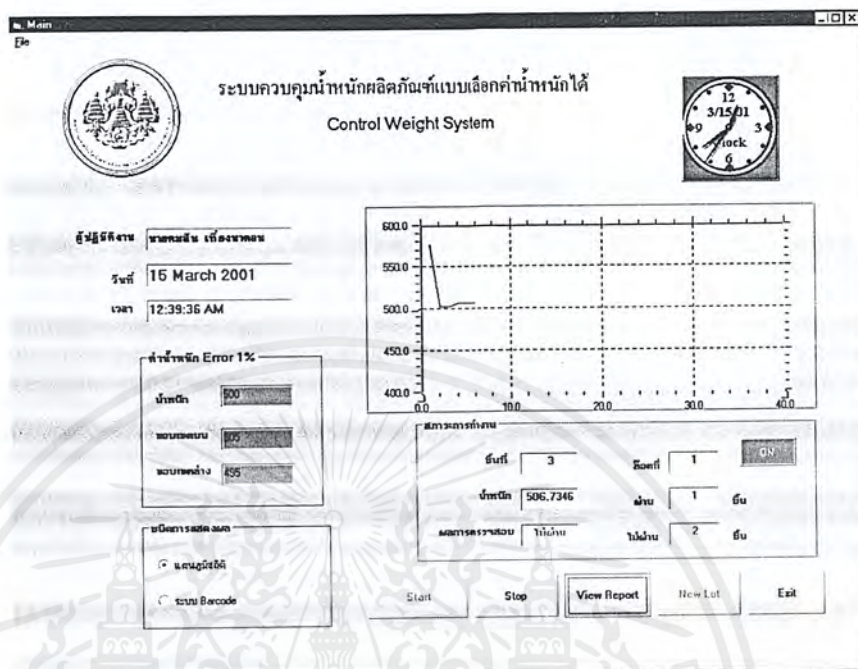
- โปรแกรมจะรอรับคำสั่งจากไมโครคอนโทรลเลอร์ว่าจะตั้งค่าน้ำหนักผลิตภัณฑ์จากไมโครคอนโทรลเลอร์หรือคอมพิวเตอร์



รูปที่ 7.18 หน้าต่าง Setting ตั้งค่าน้ำหนักและหมายเลขล็อตสินค้า

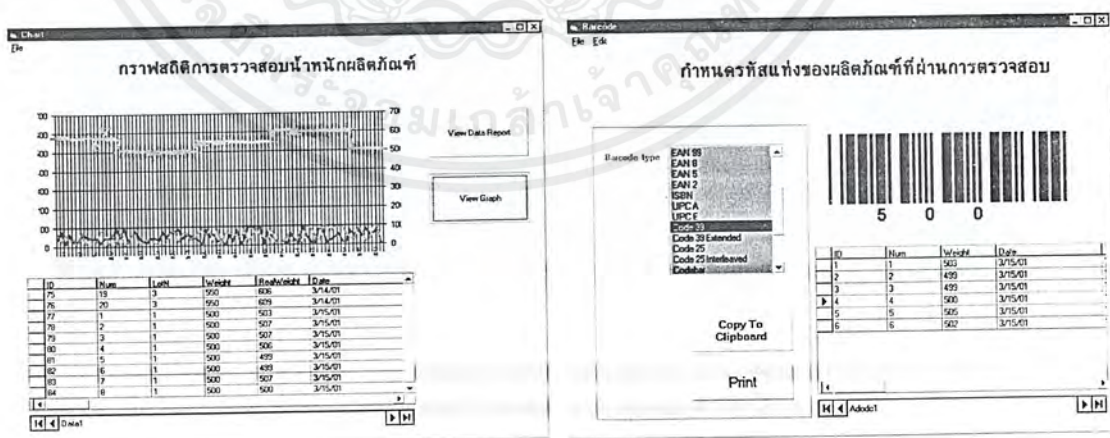
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อตั้งค่าน้ำหนักแล้ว โปรแกรมจะเข้ามาที่หน้าหลัก เพื่อรอรับค่าน้ำหนักที่ส่งมาจากไมโครคอนโทรลเลอร์และเก็บเป็นสถิติเพื่อใช้สำหรับการควบคุมคุณภาพ



รูปที่ 7.19 หน้าต่างหลักของโปรแกรมควบคุม

- ข้อมูลที่ทำการตรวจสอบแล้ว เราสามารถดูค่าได้จากปุ่ม View Report เพื่อดูข้อมูลที่เก็บไว้ใน Data base และ ระบบบาร์โค้ดของสินค้าที่ผ่านการตรวจสอบแล้ว



รูปที่ 7.20 การรายงานผลเป็นค่าสถิติและบาร์โค้ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 8

### ผลการทดสอบการทำงานของระบบ

ตารางการทดลองที่ 8.1 ทำการทดลองวัดค่าจาก Instrument Amp ขณะที่มีการชั่งน้ำหนักที่ค่าน้ำหนักต่าง ๆ โดยการป้อนแรงดันที่ค่าแรงดัน 12 V. ที่ 2 สถานะการทำงาน คือขณะที่มอเตอร์ไม่หมุน และขณะที่มอเตอร์หมุนเปรียบเทียบค่ากัน

ตารางที่ 8.1 ค่าแรงดันที่ได้จาก Instrument Amp

น้ำหนัก (กรัม)	แรงดันขณะมอเตอร์ไม่หมุน (โวลต์)	แรงดันขณะมอเตอร์หมุน (โวลต์)
0	0.405	0.385
300	1.533	1.485
350	1.729	1.668
400	1.857	1.853
450	2.047	2.036
500	2.23	2.226
550	2.423	2.414
600	2.616	2.603

น้ำหนักที่วัดได้จาก วงจรขยายสัญญาณ เป็นค่าแรงดัน DC ที่ได้จากการวัดจาก คิจิตอลมัลติมิเตอร์ ช่วงค่าน้ำหนักที่วัดคือ 300 – 600 เป็นช่วงย่านการตรวจสอบน้ำหนักของระบบ โดยมีการเผื่อช่วงน้อยกว่าและสูงกว่าด้วย เนื่องจากช่วงการตรวจสอบน้ำหนักของระบบมีช่วง 450 – 550 กรัมเท่านั้น ระดับแรงดันที่สถานะมอเตอร์ทั้ง 2 แบบแตกต่างกันเนื่องจากในสถานะที่มอเตอร์หมุน โหลดเซลล์เกิดการสั่นตัวทำให้ค่าที่แรงดันที่ออกมาเกิดการเปลี่ยนแปลงค่า

ตารางที่ 8.2 แสดงผลการตรวจสอบน้ำหนักซึ่งแสดงค่าจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์  
ที่ค่าน้ำหนัก 450 กรัม

Num	LotN	Weight	RealWeight	Date	Time
1	1	450	456	15/3/01	9:33:12
2	1	450	402	15/3/01	9:33:28
3	1	450	460	15/3/01	9:33:44
4	1	450	500	15/3/01	9:34:00
5	1	450	460	15/3/01	9:34:16
6	1	450	457	15/3/01	9:34:31
7	1	450	500	15/3/01	9:34:47
8	1	450	500	15/3/01	9:35:02
9	1	450	500	15/3/01	9:39:58
10	1	450	458	15/3/01	9:40:12

ตารางที่ 8.3 แสดงผลการตรวจสอบน้ำหนักซึ่งแสดงค่าจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์  
ที่ค่าน้ำหนัก 500 กรัม

Num	LotN	Weight	RealWeigh	Date	Time	Effect
1	2	500	500	15/3/01	10:04:06	ผ่าน
2	2	500	500	15/3/01	10:04:22	ผ่าน
3	2	500	500	15/3/01	10:04:38	ผ่าน
4	2	500	500	15/3/01	10:04:54	ผ่าน
5	2	500	500	15/3/01	10:05:09	ผ่าน
6	2	500	500	15/3/01	10:05:25	ผ่าน
7	2	500	504	15/3/01	10:05:41	ผ่าน
8	2	500	552	15/3/01	10:05:57	ไม่ผ่าน
9	2	500	500	15/3/01	10:06:13	ผ่าน
10	2	500	500	15/3/01	10:06:29	ผ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 8.4 แสดงผลการตรวจสอบน้ำหนักซึ่งแสดงค่าจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์  
ที่ค่าน้ำหนัก 550 กรัม

Num	LotN	Weight	RealWeight	Date	Time	Effect
1	1	550	557	15/3/01	11:35:57	ไม่ผ่าน
2	1	550	548	15/3/01	11:36:11	ผ่าน
3	1	550	553	15/3/01	11:36:24	ผ่าน
4	1	550	551	15/3/01	11:36:38	ผ่าน
5	1	550	553	15/3/01	11:36:52	ผ่าน
6	1	550	549	15/3/01	11:37:06	ผ่าน
7	1	550	552	15/3/01	11:37:19	ผ่าน
8	1	550	550	15/3/01	11:37:33	ผ่าน
9	1	550	551	15/3/01	11:37:47	ผ่าน
10	1	550	549	15/3/01	11:38:01	ผ่าน

ข้อมูลจากตารางที่ 8.2 – 8.4 เป็นข้อมูลที่ได้มาจาก Database ของโปรแกรมที่ทำการ  
ทดลอง ค่า Error ที่ทำการตรวจสอบค่าอยู่ในช่วง  $\pm 1\%$  ชั่งน้ำหนักที่แตกต่างจากค่าชั่งน้ำหนัก  
นี้ระบบจะถือว่าไม่ผ่านการตรวจสอบและคัดแยกสินค้าออกจากระบบ

## บทที่ 9

# สรุปและวิจารณ์

### 9.1 สรุป

ในการตรวจสอบน้ำหนักของผลิตภัณฑ์เพื่อให้ได้มาตรฐานนั้น สามารถนำเอาคอมพิวเตอร์มาใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิตเพื่อคัดแยกผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐาน ออกจากผลิตภัณฑ์ที่ได้มาตรฐานด้วยโปรแกรม Visual Basic โดยใช้ค่าน้ำหนักที่วัดได้จากโหลดเซลล์เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจเปรียบเทียบกับน้ำหนักมาตรฐานของผลิตภัณฑ์ ที่ได้จากการบรรจุภัณฑ์โดยขั้นตอนในการเปรียบเทียบนั้น ไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับสัญญาณเอาท์พุทที่ได้จาก โหลดเซลล์มาทำการประมวลผลและตัดสินใจว่าน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ที่ตรวจวัดได้นั้น มีมาตรฐานตามต้องการหรือไม่ หลังจากทำการตัดสินใจแล้วไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณเอาต์พุทต่อไปยังรีเลย์เพื่อทำการควบคุมการทำงานของโซลินอยด์วาล์ว โดยที่โซลินอยด์วาล์วจะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของกระบอบอกสูบ ซึ่งกระบอบอกสูบจะเป็นตัวคัดแยกระหว่างผลิตภัณฑ์ที่ได้มาตรฐานกับผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐานออกจากกัน เมื่อทำการคัดแยกผลิตภัณฑ์แล้วผลิตภัณฑ์ที่ได้มาตรฐานจะถูกถูกสูบคั้นให้ไปยังจุดประทับหมายเลขผลิตภัณฑ์ (Stamp Zone) หลังจากนั้น ถูกสูบก็จะคั้นผลิตภัณฑ์ไปยังที่เก็บ ในส่วนของการประทับหมายเลขนี้จะใช้ลิวิตสวิทช์กับรีเลย์เป็นตัวควบคุมการทำงานของชุดกระบอบอกสูบ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้มาตรฐานนั้น จะถูกนำไปบรรจุภัณฑ์ใหม่ ซึ่งสามารถที่จะตรวจสอบข้อมูลและเรียกค่าน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ได้โดยผ่านทางคอมพิวเตอร์ อีกทั้ง การเก็บข้อมูลในคอมพิวเตอร์นี้จะแสดงการเก็บข้อมูลของผลิตภัณฑ์เป็นแบบบาร์โค้ด (Bar Code) อีกด้วย ซึ่งจะทำให้เรามีความสะดวกอย่างมากในการคัดแยกตรวจนับหรือตรวจสอบผลิตภัณฑ์เมื่อผลิตภัณฑ์นั้นมีจำนวนมากหรือมีหลายชนิดปะปนกันอยู่

## 9.2 วิจารณ์

จากการทดลองการทำงานของระบบนั้น จะพบว่าค่าน้ำหนักที่ทำการวัดมานั้นจะมีค่าความผิดพลาดอยู่พอสมควรเนื่องจากโพลลเชลล์นั้นได้ถูกคิดตั้งคืดกับสายพานลำเลียง เมื่อมอเตอร์ทำการหมุนก็จะทำให้เกิดการสั่นสะเทือนผ่านสายพานลำเลียงมายังโพลลเชลล์ จึงทำให้สภาวะแรงดันที่ออกมาจากโพลลเชลล์นั้นไม่คงที่ส่งผลให้เกิดค่าความผิดพลาดเกิดขึ้น การแก้ไขของระบบต่อไปจากนี้ก็คือจะต้องคิดตั้งตัวโพลลเชลล์ ให้ออกจากสายพานลำเลียงและกระบอกสูบ เพื่อไม่ให้เกิดการสั่นสะเทือน สาเหตุของความผิดพลาดจากการวัดอีกประการหนึ่งก็คือ อัตราขยายของวงจรมินิโวลต์แอมป์ที่ใช้มีค่าเท่ากับ 2,000 เป็นผลให้ค่าความผิดพลาดนั้นก็ถูกขยายในอัตราที่สูงขึ้นเช่นกัน ดังนั้นจึงควรที่จะใช้อัตราขยายที่มีขนาดพอสมควรเพื่อลดค่าความผิดพลาดให้น้อยลง และกำหนดย่านการวัดให้เป็นช่วงที่แคบลงเพื่อลดค่าความผิดพลาดให้น้อยลงด้วย

แนวทางการพัฒนาในอนาคต สามารถที่จะนำระบบดิคบาร์โวลต์มาเพิ่มเติมได้เนื่องจากในส่วนของซอฟต์แวร์นั้นได้มีส่วนของการบันทึกค่าน้ำหนักให้อยู่ในรูปของบาร์โวลต์ไว้แล้ว และในส่วนของซอฟต์แวร์นั้นสามารถที่จะพัฒนาเพิ่มเติมในรูปของบัญชี ซึ่งเกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์สินค้าที่ได้ทำการผลิตขึ้นมาได้ หรืออาจจะให้มีการตั้งงานและตรวจสอบผ่านระบบอินเตอร์เน็ตก็ได้

## บรรณานุกรม

- [1] ศุภชัย สมพานิช , Database Programming กับ Visual Basic ฉบับมืออาชีพ.กรุงเทพฯ :อินโฟเพรส , 2543
- [2] ฉันทวุฒิ พีชผล , คู่มือเรียน Visual Basic 6 . กรุงเทพฯ ฯ : โปรวิชัน , พิมพ์ครั้งที่ 3 , 2543
- [3] ชัยวัฒน์ ถิมพรจิตวิไล , วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล, เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS51, กรุงเทพฯ ฯ : บริษัท อินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด , 2542
- [4] พรจิต ประทุมสุวรรณ , แมคคาทรอนิกส์ เล่ม1 . กรุงเทพฯ ฯ , 2537
- [5] พรจิต ประทุมสุวรรณ , การควบคุมนิวเมติกส์ . กรุงเทพฯ ฯ , 2521
- [6] ขวัญชัย สันทิพย์สมบูรณ์ , ปานเพชร ชินันทร , นิวเมติกอุตสาหกรรม . กรุงเทพฯ ฯ : บริษัท ซีอีเคยูเคชั่น จำกัด
- [7] กฤษดา ใจเย็น,อรรถพล บุญยะโกศา , ชัยวัฒน์ ถิมพรจิตวิไล , เรียนรู้และปฏิบัติการเชื่อมต่อกอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม . กรุงเทพฯ ฯ : บริษัท อินโนเวทีฟ เอ็กเพอริเมนต์ จำกัด , 2542



ภาคผนวก

รายละเอียดข้อมูลของ โหลดเซลล์และไอซีเบอร์ที่ใช้ในโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Model 1010

## Single Point Load Cells

### Features

- ◆ Capacities: 3—90 kg (6.6—198 lbs)
- ◆ Performance: NTEP 5000 Approved
- ◆ Construction: Anodized aluminum
- ◆ Platform Capability: 400 mm x 400 mm (15.75 inch x 15.75)
- ◆ Electrical: 6 Wire sense circuit
- ◆ Adjustable overload protection



Model 1010 is a single point load cell designed for direct mounting of low cost, low capacity weighing platforms.

Its use in large platforms, combined with its high accuracy and low cost, makes this load cell ideally suited for a large range of weighing applications, including bench scales, counting and process weighing.

A special humidity resistant protective coating is available which assures long term reliability.

Model 1010's built-in overload stop can provide mechanical protection against overloading.

The two additional sense wires feed back the voltage reaching the load cell. Complete compensation of changes in lead resistance due to temperature change and / or cable extension, is achieved by feeding this voltage into the appropriate electronics.

#### Also Available from Tedeia-Huntleigh

A balanced bridge version of the model 1010 is available, designated model 1015. A complete range of single point load cells from 1 kg to 2 tons is available from Tedeia-Huntleigh. Component approvals cover the world's most important and influential markets. For further details please contact Tedeia-Huntleigh or your local distributor.

**TEDEA**  
**HUNTLEIGH**  
EXCELLENCE IN LOAD CELLS

#### Contact Info

E-mail  
sales@tedea-huntleigh.com  
Website  
www.tedeia-huntleigh.com

7800 DEERING AVE.  
P.O. BOX 7964  
CANOGA PARK CA 91309-7964  
USA

TEL: 800.626.2616  
FAX: 818.340.1175

#### Europe

Tedeia-Huntleigh Europe  
Ltd.  
37 Portmanmoor Road  
Cardiff  
CF24 SHE  
United Kingdom  
Tel: +44(0)29-20460231  
Fax: +44(0)29-20462173

#### International

Tedeia-Huntleigh International  
Ltd.  
2 Hozoran St.  
New Industrial Zone  
P.O. Box 8381, Netanya 42506  
Israel  
Tel: +972-9-863-8888  
Fax: +972-9-863-8800

#### China

Beijing Tedeia-Huntleigh  
No. 16 Hong Da Bei Lu  
Da Xing County, Beijing Eco-  
nomic & Technology Develop-  
ment Area,  
Beijing 100176  
Tel: +86-10-67881604-09  
Fax: +86-10-67881576

#### Germany

Tedeia-Huntleigh GmbH.  
Mumlingweg 18  
D-64297  
Darmstadt-Eberstadt  
Germany  
Tel: +49-6151-94460  
Fax: +49-6151-944640

#### France

SEEA sa  
16 Rue Francis Vovelle  
28000 Chartres  
France  
Tel: +33-237-33-3120  
Fax: +33-237-3129

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษารวบรวมข้อมูลเท่านั้น มิใช่เพื่อใช้ในการตัดสินใจซื้อขายสินค้าและบริการใดๆ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Model 1010

## Single Point Load Cells

GRADE	E	F	G***	UNITS
Rated Capacities	3, 5, 7, 10, 15, 20, 30, 50**, 90 ***			kg
Rated Output	2.0 ± 10%			mV/V
Total Error*	0.030	0.020	0.020	±% of Applied Load
Zero Return after 30 mins	0.050	0.025	0.017	±% of Applied Load
Temperature Effect:: On Output	0.003	0.0014	0.001	±% of Applied Load /°C
Temperature Effect:: On Zero	0.010	0.0060	0.004	±% of Rated Load Output /°C
Eccentric Loading Error	0.0074	0.0074	0.0049**	±% of Applied Load / cm
Zero Balance		10.0		±% of Rated Output
Temperature Range: Operating	-30 to +70			°C
Temperature Range: Compensated	-10 to +40			°C
Safe Overload	150			% of Rated Capacity
Ultimate Overload	300			% of Rated Capacity
Excitation: Recommended	10			Volts AC or DC
Excitation: Maximum	15			Volts AC or DC
Input Impedance	415 ± 15			Ohms
Output Impedance	350 ± 3			Ohms
Insulation Impedance	>5000			Mega Ohms
Deflection at Rated Capacity	< 0.4			mm
Weight	0.4			kg
Construction	Anodized Aluminum			
Environmental Protection	IP54 (IP67 Optional)			
Cable	1 Meter (Standard), 6 Wire, PVC Jacket, Floating Screen			
Approvals	NTEP, Factory Mutual			

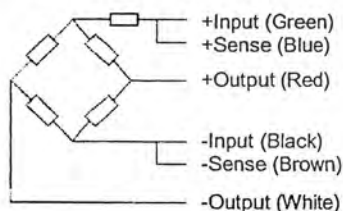
\*Total Error—According to OIML R60

\*\*50kg Eccentric loading error 0.0057 (35x35cm platform)

\*\*\*90kg available in E&amp;F grades only

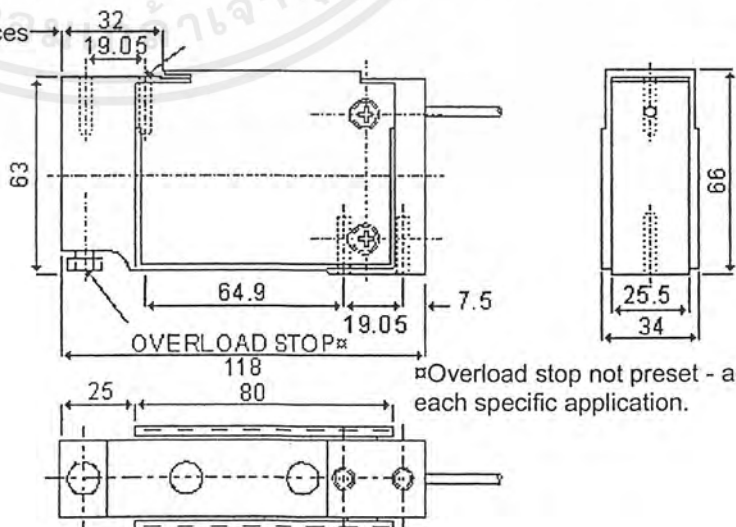
### Wiring Schematic Diagram

(1010 unbalanced bridge configuration)



### Outline Dimensions All Capacities (in mm)

Both mounting faces



‡Overload stop not preset - adjust for each specific application.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



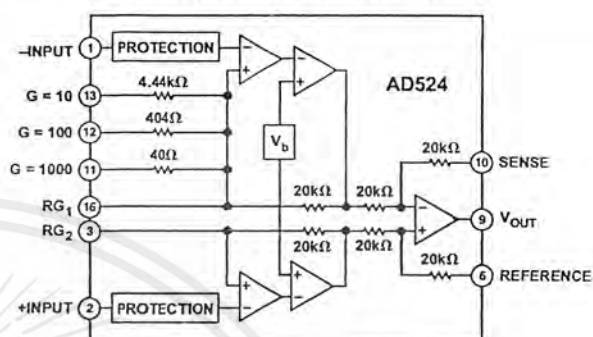
# Precision Instrumentation Amplifier

## AD524

### FEATURES

**Low Noise:** 0.3  $\mu\text{V}$  p-p 0.1 Hz to 10 Hz  
**Low Nonlinearity:** 0.003% ( $G = 1$ )  
**High CMRR:** 120 dB ( $G = 1000$ )  
**Low Offset Voltage:** 50  $\mu\text{V}$   
**Low Offset Voltage Drift:** 0.5  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$   
**Gain Bandwidth Product:** 25 MHz  
**Pin Programmable Gains of 1, 10, 100, 1000**  
**Input Protection, Power On–Power Off**  
**No External Components Required**  
**Internally Compensated**  
**MIL-STD-883B and Chips Available**  
**16-Lead Ceramic DIP and SOIC Packages and**  
**20-Terminal Leadless Chip Carriers Available**  
**Available in Tape and Reel in Accordance**  
**with EIA-481A Standard**  
**Standard Military Drawing Also Available**

### FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



### PRODUCT DESCRIPTION

The AD524 is a precision monolithic instrumentation amplifier designed for data acquisition applications requiring high accuracy under worst-case operating conditions. An outstanding combination of high linearity, high common mode rejection, low offset voltage drift and low noise makes the AD524 suitable for use in many data acquisition systems.

The AD524 has an output offset voltage drift of less than 25  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ , input offset voltage drift of less than 0.5  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ , CMR above 90 dB at unity gain (120 dB at  $G = 1000$ ) and maximum non-linearity of 0.003% at  $G = 1$ . In addition to the outstanding dc specifications, the AD524 also has a 25 kHz gain bandwidth product ( $G = 1000$ ). To make it suitable for high speed data acquisition systems the AD524 has an output slew rate of 5 V/ $\mu\text{s}$  and settles in 15  $\mu\text{s}$  to 0.01% for gains of 1 to 100.

As a complete amplifier the AD524 does not require any external components for fixed gains of 1, 10, 100 and 1000. For other gain settings between 1 and 1000 only a single resistor is required. The AD524 input is fully protected for both power-on and power-off fault conditions.

The AD524 IC instrumentation amplifier is available in four different versions of accuracy and operating temperature range. The economical "A" grade, the low drift "B" grade and lower drift, higher linearity "C" grade are specified from  $-25^\circ\text{C}$  to  $+85^\circ\text{C}$ . The "S" grade guarantees performance to specification over the extended temperature range  $-55^\circ\text{C}$  to  $+125^\circ\text{C}$ . Devices are available in 16-lead ceramic DIP and SOIC packages and a 20-terminal leadless chip carrier.

### PRODUCT HIGHLIGHTS

1. The AD524 has guaranteed low offset voltage, offset voltage drift and low noise for precision high gain applications.
2. The AD524 is functionally complete with pin programmable gains of 1, 10, 100 and 1000, and single resistor programmable for any gain.
3. Input and output offset nulling terminals are provided for very high precision applications and to minimize offset voltage changes in gain ranging applications.
4. The AD524 is input protected for both power-on and power-off fault conditions.
5. The AD524 offers superior dynamic performance with a gain bandwidth product of 25 MHz, full power response of 75 kHz and a settling time of 15  $\mu\text{s}$  to 0.01% of a 20 V step ( $G = 100$ ).

### REV. E

Information furnished by Analog Devices is believed to be accurate and reliable. However, no responsibility is assumed by Analog Devices for its use, nor for any infringements of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of Analog Devices.

One Technology Way, P.O. Box 9106, Norwood, MA 02062-9106, U.S.A.  
 Tel: 781/329-4700 World Wide Web Site: <http://www.analog.com>  
 Fax: 781/326-8703 © Analog Devices, Inc., 1999

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# AD524—SPECIFICATIONS (@ $V_S = \pm 15\text{ V}$ , $R_L = 2\text{ k}\Omega$ and $T_A = +25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Model	AD524A			AD524B			AD524C			AD524S			Units
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
<b>GAIN</b>													
Gain Equation (External Resistor Gain Programming)	$\left[ \frac{40,000}{R_G} + 1 \right] \pm 20\%$			$\left[ \frac{40,000}{R_G} + 1 \right] \pm 20\%$			$\left[ \frac{40,000}{R_G} + 1 \right] \pm 20\%$			$\left[ \frac{40,000}{R_G} + 1 \right] \pm 20\%$			
Gain Range (Pin Programmable)	1 to 1000			1 to 1000			1 to 1000			1 to 1000			
Gain Error <sup>1</sup>													
G = 1			±0.05			±0.03			±0.02			±0.05	%
G = 10			±0.25			±0.15			±0.1			±0.25	%
G = 100			±0.5			±0.35			±0.25			±0.5	%
G = 1000			±2.0			±1.0			±0.5			±2.0	%
Nonlinearity													
G = 1			±0.01			±0.005			±0.003			±0.01	%
G = 10,100			±0.01			±0.005			±0.003			±0.01	%
G = 1000			±0.01			±0.01			±0.01			±0.01	%
Gain vs. Temperature													
G = 1			5			5			5			5	ppm/°C
G = 10			15			10			10			10	ppm/°C
G = 100			35			25			25			25	ppm/°C
G = 1000			100			50			50			50	ppm/°C
<b>VOLTAGE OFFSET (May be Nulled)</b>													
Input Offset Voltage vs. Temperature			250			100			50			100	μV
Output Offset Voltage vs. Temperature			2			0.75			0.5			2.0	μV/°C
Offset Referred to the Input vs. Supply			5			3			2.0			3.0	mV
G = 1	70			75			80			75			dB
G = 10	85			95			100			95			dB
G = 100	95			105			110			105			dB
G = 1000	100			110			115			110			dB
<b>INPUT CURRENT</b>													
Input Bias Current vs. Temperature			±50			±25			±15			±50	nA
Input Offset Current vs. Temperature			±100			±100			±100			±100	pA/°C
Input Offset Current vs. Temperature			±35			±15			±10			±35	nA
<b>INPUT</b>													
Input Impedance													
Differential Resistance			10 <sup>9</sup>			10 <sup>9</sup>			10 <sup>9</sup>			10 <sup>9</sup>	Ω
Differential Capacitance			10			10			10			10	pF
Common-Mode Resistance			10 <sup>9</sup>			10 <sup>9</sup>			10 <sup>9</sup>			10 <sup>9</sup>	Ω
Common-Mode Capacitance			10			10			10			10	pF
Input Voltage Range													
Max Differ. Input Linear ( $V_{DI}$ ) <sup>2</sup>	±10			±10			±10			±10			V
Max Common-Mode Linear ( $V_{CM}$ )			$12\text{ V} - \left( \frac{G}{2} \times V_D \right)$			$12\text{ V} - \left( \frac{G}{2} \times V_D \right)$			$12\text{ V} - \left( \frac{G}{2} \times V_D \right)$			$12\text{ V} - \left( \frac{G}{2} \times V_D \right)$	V
Common-Mode Rejection dc to 60 Hz with 1 kΩ Source Imbalance													
G = 1	70			75			80			70			dB
G = 10	90			95			100			90			dB
G = 100	100			105			110			100			dB
G = 1000	110			115			120			110			dB
<b>OUTPUT RATING</b>													
$V_{OUT}$ , $R_L = 2\text{ k}\Omega$			±10			±10			±10			±10	V
<b>DYNAMIC RESPONSE</b>													
Small Signal - 3 dB													
G = 1			1			1			1			1	MHz
G = 10			400			400			400			400	kHz
G = 100			150			150			150			150	kHz
G = 1000			25			25			25			25	kHz
Slew Rate			5.0			5.0			5.0			5.0	V/μs
Settling Time to 0.01%, 20 V Step													
G = 1 to 100			15			15			15			15	μs
G = 1000			75			75			75			75	μs
<b>NOISE</b>													
Voltage Noise, 1 kHz													
R.T.I.			7			7			7			7	nV/√Hz
R.T.O.			90			90			90			90	nV/√Hz
R.T.I., 0.1 Hz to 10 Hz													
G = 1			15			15			15			15	μV p-p
G = 10			2			2			2			2	μV p-p
G = 100, 1000			0.3			0.3			0.3			0.3	μV p-p
Current Noise													
0.1 Hz to 10 Hz			60			60			60			60	pA p-p

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่การณใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## AD524

Model	AD524A			AD524B			AD524C			AD524S			Units
	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
SENSE INPUT													
$R_{IN}$		20			20			20			20		$k\Omega \pm 20\%$
$I_{IN}$		15			15			15			15		$\mu A$
Voltage Range	$\pm 10$			$\pm 10$			$\pm 10$			$\pm 10$			V
Gain to Output		1			1			1			1		%
REFERENCE INPUT													
$R_{IN}$		40			40			40			40		$k\Omega \pm 20\%$
$I_{IN}$		15			15			15			15		$\mu A$
Voltage Range	$\pm 10$			$\pm 10$			10			10			V
Gain to Output		1			1			1			1		%
TEMPERATURE RANGE													
Specified Performance	-25		+85	-25		+85	-25		+85	-55		+125	$^{\circ}C$
Storage	-65		+150	-65		+150	-65		+150	-65		+150	$^{\circ}C$
POWER SUPPLY													
Power Supply Range	$\pm 6$	$\pm 15$	$\pm 18$	$\pm 6$	$\pm 15$	$\pm 18$	$\pm 6$	$\pm 15$	$\pm 18$	$\pm 6$	$\pm 15$	$\pm 18$	V
Quiescent Current		3.5	5.0		3.5	5.0		3.5	5.0		3.5	5.0	mA

## NOTES

<sup>1</sup> Does not include effects of external resistor  $R_G$ .

<sup>2</sup>  $V_{OL}$  is the maximum differential input voltage at  $G = 1$  for specified nonlinearity.

$V_{OL}$  at the maximum =  $10 V/G$ .

$V_D$  = Actual differential input voltage.

Example:  $G = 10$ ,  $V_D = 0.50$ .

$V_{CM} = 12 V - (10/2 \times 0.50 V) = 9.5 V$ .

Specification subject to change without notice.

All min and max specifications are guaranteed. Specifications shown in boldface are tested on all production units at final electrical test. Results from those tests are used to calculate outgoing quality levels.

REV. E เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# AD524

## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS<sup>1</sup>

Supply Voltage	±18 V
Internal Power Dissipation	450 mW
Input Voltage <sup>2</sup>	
(Either Input Simultaneously) $ V_{IN}  +  V_S $	<36 V
Output Short Circuit Duration	Indefinite
Storage Temperature Range	
(R)	-65°C to +125°C
(D, E)	-65°C to +150°C
Operating Temperature Range	
AD524A/B/C	-25°C to +85°C
AD524S	-55°C to +125°C
Lead Temperature (Soldering 60 secs)	+300°C

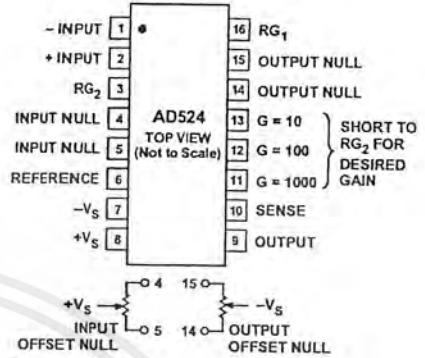
### NOTES

<sup>1</sup>Stresses above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. This is a stress rating only; functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational section of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

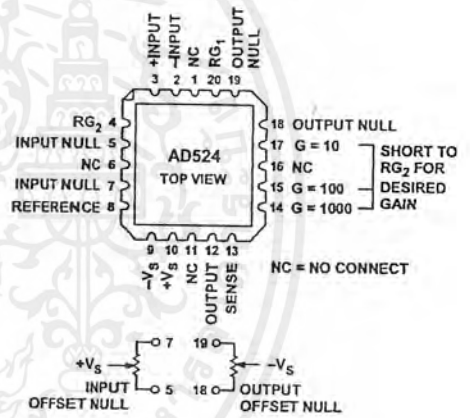
<sup>2</sup>Max input voltage specification refers to maximum voltage to which either input terminal may be raised with or without device power applied. For example, with ±18 volt supplies max  $V_{IN}$  is ±18 volts, with zero supply voltage max  $V_{IN}$  is ±36 volts.

## CONNECTION DIAGRAMS

### Ceramic (D) and SOIC (R) Packages

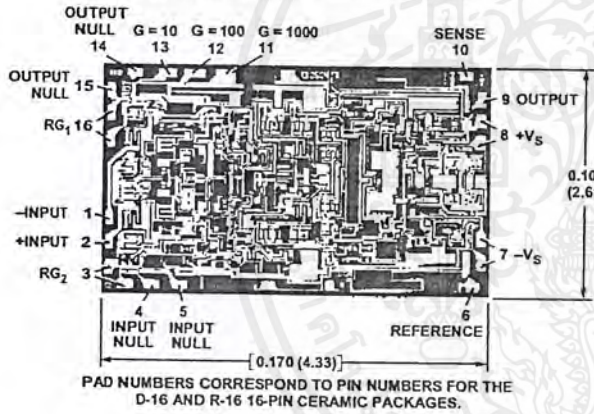


### Leadless Chip Carrier



## METALIZATION PHOTOGRAPH

Contact factory for latest dimensions.  
Dimensions shown in inches and (mm).



## ORDERING GUIDE

Model	Temperature Ranges	Package Descriptions	Package Options
AD524AD	-40°C to +85°C	16-Lead Ceramic DIP	D-16
AD524AE	-40°C to +85°C	20-Terminal Leadless Chip Carrier	E-20A
AD524AR-16	-40°C to +85°C	16-Lead Gull-Wing SOIC	R-16
AD524AR-16-REEL	-40°C to +85°C	Tape & Reel Packaging 13"	
AD524AR-16-REEL7	-40°C to +85°C	Tape & Reel Packaging 7"	
AD524BD	-40°C to +85°C	16-Lead Ceramic DIP	D-16
AD524BE	-40°C to +85°C	20-Terminal Leadless Chip Carrier	E-20A
AD524CD	-40°C to +85°C	16-Lead Ceramic DIP	D-16
AD524SD	-55°C to +125°C	16-Lead Ceramic DIP	D-16
AD524SD/883B	-55°C to +125°C	16-Lead Ceramic DIP	D-16
5962-8853901EA*	-55°C to +125°C	16-Lead Ceramic DIP	D-16
AD524SE/883B	-55°C to +125°C	20-Terminal Leadless Chip Carrier	E-20A
AD524SCHIPS	-55°C to +125°C	Dic	

\*Refer to official DESC drawing for tested specifications.

### CAUTION

ESD (electrostatic discharge) sensitive device. Electrostatic charges as high as 4000 V readily accumulate on the human body and test equipment and can discharge without detection. Although the AD524 features proprietary ESD protection circuitry, permanent damage may occur on devices subjected to high energy electrostatic discharges. Therefore, proper ESD precautions are recommended to avoid performance degradation or loss of functionality.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# AD524

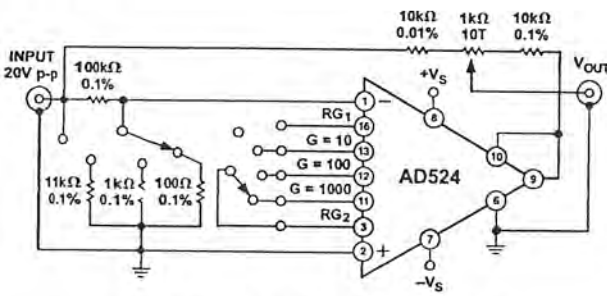


Figure 27. Settling Time Test Circuit

As  $R_G$  is reduced to increase the programmed gain, the transconductance of the input preamp increases to the transconductance of the input transistors. This has three important advantages. First, this approach allows the circuit to achieve a very high open loop gain of  $3 \times 10^8$  at a programmed gain of 1000, thus reducing gain-related errors to a negligible 30 ppm. Second, the gain bandwidth product, which is determined by C3 or C4 and the input transconductance, reaches 25 MHz. Third, the input voltage noise reduces to a value determined by the collector current of the input transistors for an RTI noise of  $7 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$  at  $G = 1000$ .

## INPUT PROTECTION

As interface amplifiers for data acquisition systems, instrumentation amplifiers are often subjected to input overloads, i.e., voltage levels in excess of the full scale for the selected gain range. At low gains, 10 or less, the gain resistor acts as a current limiting element in series with the inputs. At high gains the lower value of  $R_G$  will not adequately protect the inputs from excessive currents. Standard practice would be to place series limiting resistors in each input, but to limit input current to below 5 mA with a full differential overload (36 V) would require over 7k of resistance which would add  $10 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$  of noise. To provide both input protection and low noise a special series protect FET was used.

A unique FET design was used to provide a bidirectional current limit, thereby, protecting against both positive and negative overloads. Under nonoverload conditions, three channels CH<sub>2</sub>, CH<sub>3</sub>, CH<sub>4</sub>, act as a resistance ( $\approx 1 \text{ k}\Omega$ ) in series with the input as before. During an overload in the positive direction, a fourth channel, CH<sub>1</sub>, acts as a small resistance ( $\approx 3 \text{ k}\Omega$ ) in series with the gate, which draws only the leakage current, and the FET limits  $I_{DSS}$ . When the FET enhances under a negative overload, the gate current must go through the small FET formed by CH<sub>1</sub> and when this FET goes into saturation, the gate current is limited and the main FET will go into controlled enhancement. The bidirectional limiting holds the maximum input current to 3 mA over the 36 V range.

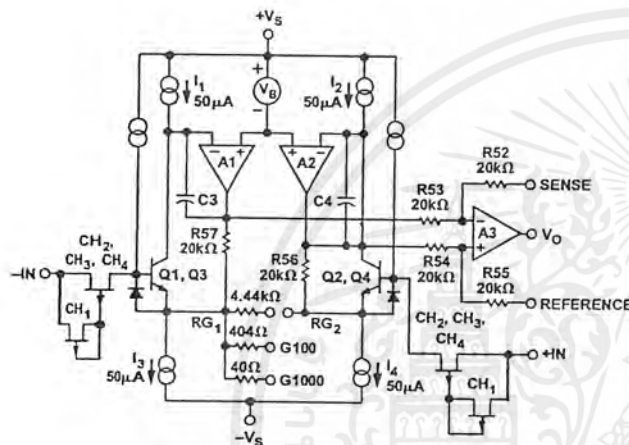


Figure 28 Simplified Circuit of Amplifier; Gain Is Defined as  $((R56 + R57)/(R_G)) + 1$ . For a Gain of 1,  $R_G$  Is an Open Circuit

## Theory of Operation

The AD524 is a monolithic instrumentation amplifier based on the classic 3 op amp circuit. The advantage of monolithic construction is the closely matched components that enhance the performance of the input preamp. The preamp section develops the programmed gain by the use of feedback concepts. The programmed gain is developed by varying the value of  $R_G$  (smaller values increase the gain) while the feedback forces the collector currents Q1, Q2, Q3 and Q4 to be constant, which impresses the input voltage across  $R_G$ .

## INPUT OFFSET AND OUTPUT OFFSET

Voltage offset specifications are often considered a figure of merit for instrumentation amplifiers. While initial offset may be adjusted to zero, shifts in offset voltage due to temperature variations will cause errors. Intelligent systems can often correct for this factor with an autozero cycle, but there are many small-signal high-gain applications that don't have this capability.

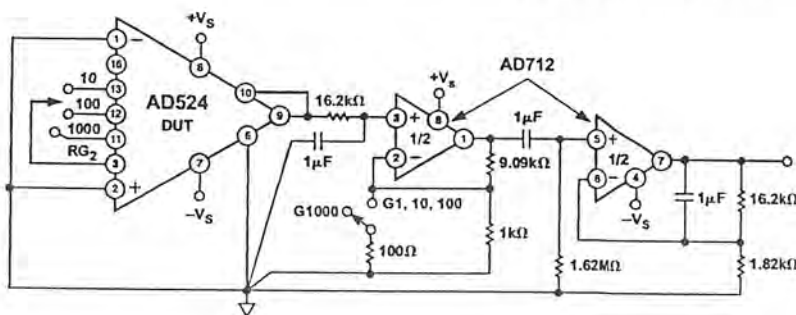


Figure 29. Noise Test Circuit

Voltage offset and drift comprise two components each; input and output offset and offset drift. Input offset is that component of offset that is directly proportional to gain i.e., input offset as measured at the output at  $G = 100$  is 100 times greater than at  $G = 1$ . Output offset is independent of gain. At low gains, output offset drift is dominant, while at high gains input offset drift dominates. Therefore, the output offset voltage drift is normally specified as drift at  $G = 1$  (where input effects are insignificant), while input offset voltage drift is given by drift specification at a high gain (where output offset effects are negligible). All input-related numbers are referred to the input (RTI) which is to say that the effect on the output is "G" times larger. Voltage offset vs. power supply is also specified at one or more gain settings and is also RTI.

By separating these errors, one can evaluate the total error independent of the gain setting used. In a given gain configuration both errors can be combined to give a total error referred to the input (R.T.I.) or output (R.T.O.) by the following formula:

$$\text{Total Error R.T.I.} = \text{input error} + (\text{output error}/\text{gain})$$

$$\text{Total Error R.T.O.} = (\text{Gain} \times \text{input error}) + \text{output error}$$

As an illustration, a typical AD524 might have a +250  $\mu\text{V}$  output offset and a -50  $\mu\text{V}$  input offset. In a unity gain configuration, the total output offset would be 200  $\mu\text{V}$  or the sum of the two. At a gain of 100, the output offset would be -4.75 mV or: +250  $\mu\text{V} + 100(-50 \mu\text{V}) = -4.75 \text{ mV}$ .

The AD524 provides for both input and output offset adjustment. This simplifies very high precision applications and minimize offset voltage changes in switched gain applications. In such applications the input offset is adjusted first at the highest programmed gain, then the output offset is adjusted at  $G = 1$ .

**GAIN**

The AD524 has internal high accuracy pretrimmed resistors for pin programmable gain of 1, 10, 100 and 1000. One of the preset gains can be selected by pin strapping the appropriate gain terminal and  $R_{G2}$  together (for  $G = 1$   $R_{G2}$  is not connected).

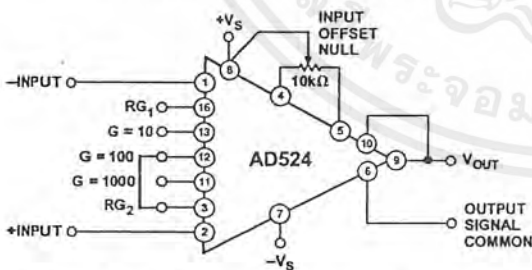


Figure 30. Operating Connections for  $G = 100$

The AD524 can be configured for gains other than those that are internally preset; there are two methods to do this. The first method uses just an external resistor connected between pins 3 and 16, which programs the gain according to the formula

$$R_G = \frac{40k}{G-1}$$

(see Figure 31).

For best results  $R_G$  should be a precision resistor with a low temperature coefficient. An external  $R_G$  affects both gain accuracy and gain drift due to the mismatch between it and the internal thin-film resistors. Gain accuracy is determined by the tolerance of the external  $R_G$  and the absolute accuracy of the internal resistors ( $\pm 20\%$ ). Gain drift is determined by the mismatch of the temperature coefficient of  $R_G$  and the temperature coefficient of the internal resistors (- 50 ppm/ $^{\circ}\text{C}$  typ).

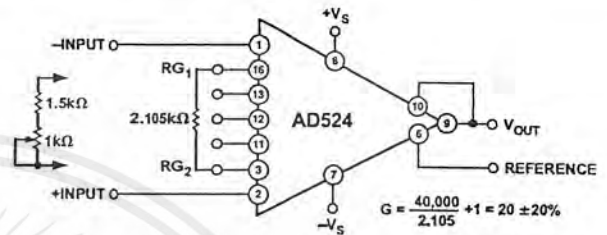


Figure 31. Operating Connections for  $G = 20$

The second technique uses the internal resistors in parallel with an external resistor (Figure 32). This technique minimizes the gain adjustment range and reduces the effects of temperature coefficient sensitivity.

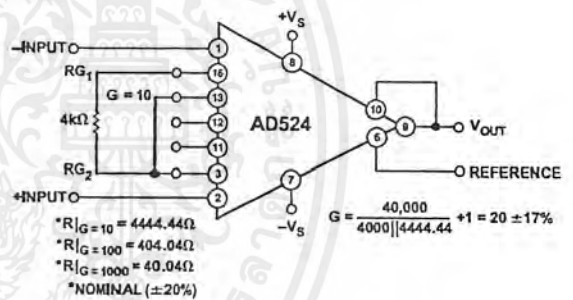


Figure 32. Operating Connections for  $G = 20$ , Low Gain T.C. Technique

The AD524 may also be configured to provide gain in the output stage. Figure 33 shows an H pad attenuator connected to the reference and sense lines of the AD524.  $R_1$ ,  $R_2$  and  $R_3$  should be made as low as possible to minimize the gain variation and reduction of CMRR. Varying  $R_2$  will precisely set the gain without affecting CMRR. CMRR is determined by the match of  $R_1$  and  $R_3$ .

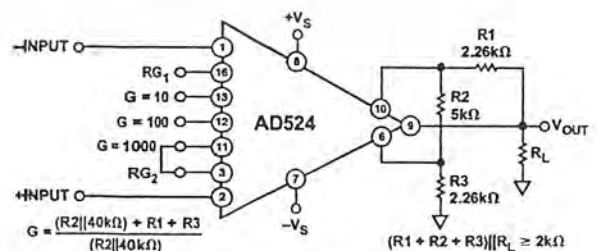


Figure 33. Gain of 2000

# AD524

Table I. Output Gain Resistor Values

Output Gain	R2	R1, R3	Nominal Gain
2	5 kΩ	2.26 kΩ	2.02
5	1.05 kΩ	2.05 kΩ	5.01
10	1 kΩ	4.42 kΩ	10.1

## INPUT BIAS CURRENTS

Input bias currents are those currents necessary to bias the input transistors of a dc amplifier. Bias currents are an additional source of input error and must be considered in a total error budget. The bias currents, when multiplied by the source resistance, appear as an offset voltage. What is of concern in calculating bias current errors is the change in bias current with respect to signal voltage and temperature. Input offset current is the difference between the two input bias currents. The effect of offset current is an input offset voltage whose magnitude is the offset current times the source impedance imbalance.

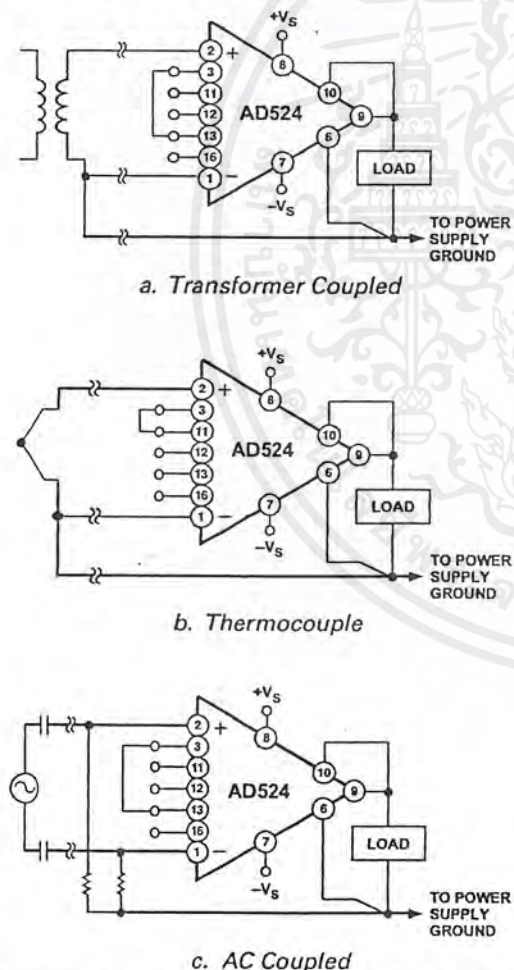


Figure 34. Indirect Ground Returns for Bias Currents

Although instrumentation amplifiers have differential inputs, there must be a return path for the bias currents. If this is not provided, those currents will charge stray capacitances, causing the output to drift uncontrollably or to saturate. Therefore, when amplifying "floating" input sources such as transformers and thermocouples, as well as ac-coupled sources, there must still be a dc path from each input to ground.

## COMMON-MODE REJECTION

Common-mode rejection is a measure of the change in output voltage when both inputs are changed equal amounts. These specifications are usually given for a full-range input voltage change and a specified source imbalance. "Common-Mode Rejection Ratio" (CMRR) is a ratio expression while "Common-Mode Rejection" (CMR) is the logarithm of that ratio. For example, a CMRR of 10,000 corresponds to a CMR of 80 dB.

In an instrumentation amplifier, ac common-mode rejection is only as good as the differential phase shift. Degradation of ac common-mode rejection is caused by unequal drops across differing track resistances and a differential phase shift due to varied stray capacitances or cable capacitances. In many applications shielded cables are used to minimize noise. This technique can create common mode rejection errors unless the shield is properly driven. Figures 35 and 36 shows active data guards that are configured to improve ac common mode rejection by "bootstrapping" the capacitances of the input cabling, thus minimizing differential phase shift.

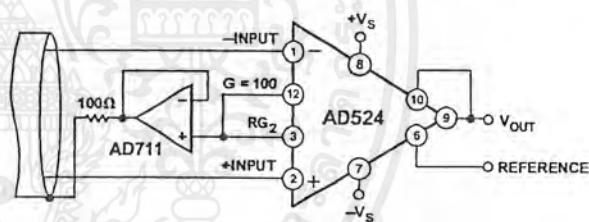


Figure 35. Shield Driver,  $G \geq 100$

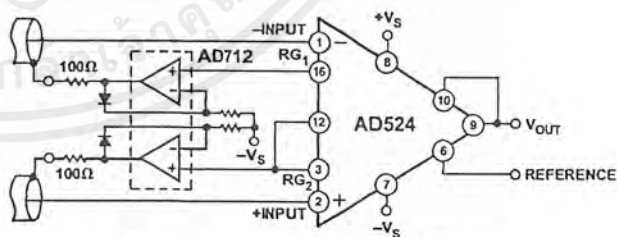


Figure 36. Differential Shield Driver

## GROUNDING

Many data acquisition components have two or more ground pins that are not connected together within the device. These grounds must be tied together at one point, usually at the system power-supply ground. Ideally, a single solid ground would be desirable. However, since current flows through the ground wires and etch stripes of the circuit cards, and since these paths have resistance and inductance, hundreds of millivolts can be generated between the system ground point and the data

acquisition components. Separate ground returns should be provided to minimize the current flow in the path from the sensitive points to the system ground point. In this way supply currents and logic-gate return currents are not summed into the same return path as analog signals where they would cause measurement errors.

Since the output voltage is developed with respect to the potential on the reference terminal, an instrumentation amplifier can solve many grounding problems.

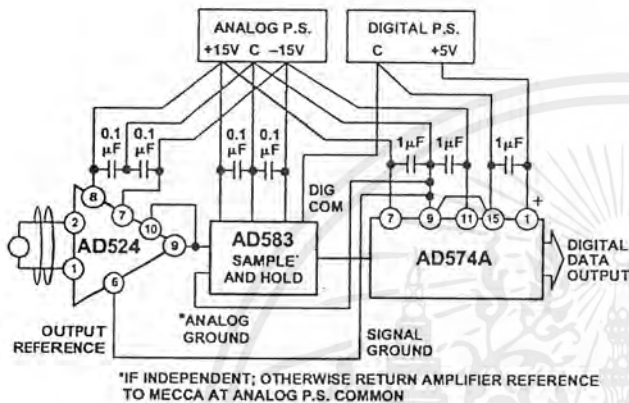


Figure 37. Basic Grounding Practice

#### SENSE TERMINAL

The sense terminal is the feedback point for the instrument amplifier's output amplifier. Normally it is connected to the instrument amplifier output. If heavy load currents are to be drawn through long leads, voltage drops due to current flowing through lead resistance can cause errors. The sense terminal can be wired to the instrument amplifier at the load, thus putting the  $I \times R$  drops "inside the loop" and virtually eliminating this error source.

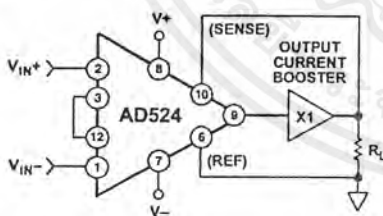


Figure 38. AD524 Instrumentation Amplifier with Output Current Booster

Typically, IC instrumentation amplifiers are rated for a full  $\pm 10$  volt output swing into  $2 \text{ k}\Omega$ . In some applications, however, the need exists to drive more current into heavier loads. Figure 38 shows how a high-current booster may be connected "inside the loop" of an instrumentation amplifier to provide the required current boost without significantly degrading overall performance. Nonlinearities, offset and gain inaccuracies of the buffer are minimized by the loop gain of the IA output amplifier. Offset drift of the buffer is similarly reduced.

#### REFERENCE TERMINAL

The reference terminal may be used to offset the output by up to  $\pm 10 \text{ V}$ . This is useful when the load is "floating" or does not share a ground with the rest of the system. It also provides a direct means of injecting a precise offset. It must be remembered that the total output swing is  $\pm 10$  volts to be shared between signal and reference offset.

When the IA is of the three-amplifier configuration it is necessary that nearly zero impedance be presented to the reference terminal.

Any significant resistance from the reference terminal to ground increases the gain of the noninverting signal path, thereby upsetting the common-mode rejection of the IA.

In the AD524 a reference source resistance will unbalance the CMR trim by the ratio of  $20 \text{ k}\Omega/R_{\text{REF}}$ . For example, if the reference source impedance is  $1 \Omega$ , CMR will be reduced to 86 dB ( $20 \text{ k}\Omega/1 \Omega = 86 \text{ dB}$ ). An operational amplifier may be used to provide that low impedance reference point as shown in Figure 39. The input offset voltage characteristics of that amplifier will add directly to the output offset voltage performance of the instrumentation amplifier.

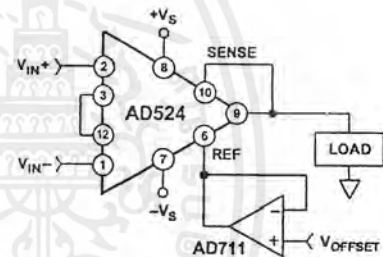


Figure 39. Use of Reference Terminal to Provide Output Offset

An instrumentation amplifier can be turned into a voltage-to-current converter by taking advantage of the sense and reference terminals as shown in Figure 40.

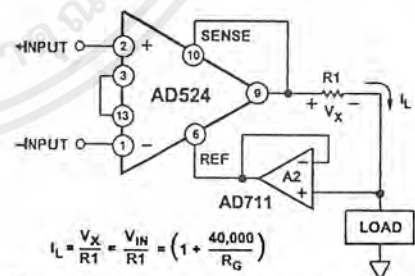


Figure 40. Voltage-to-Current Converter

By establishing a reference at the "low" side of a current setting resistor, an output current may be defined as a function of input voltage, gain and the value of that resistor. Since only a small current is demanded at the input of the buffer amplifier  $A_2$ , the forced current  $I_L$  will largely flow through the load. Offset and drift specifications of  $A_2$  must be added to the output offset and drift specifications of the IA.

# AD524

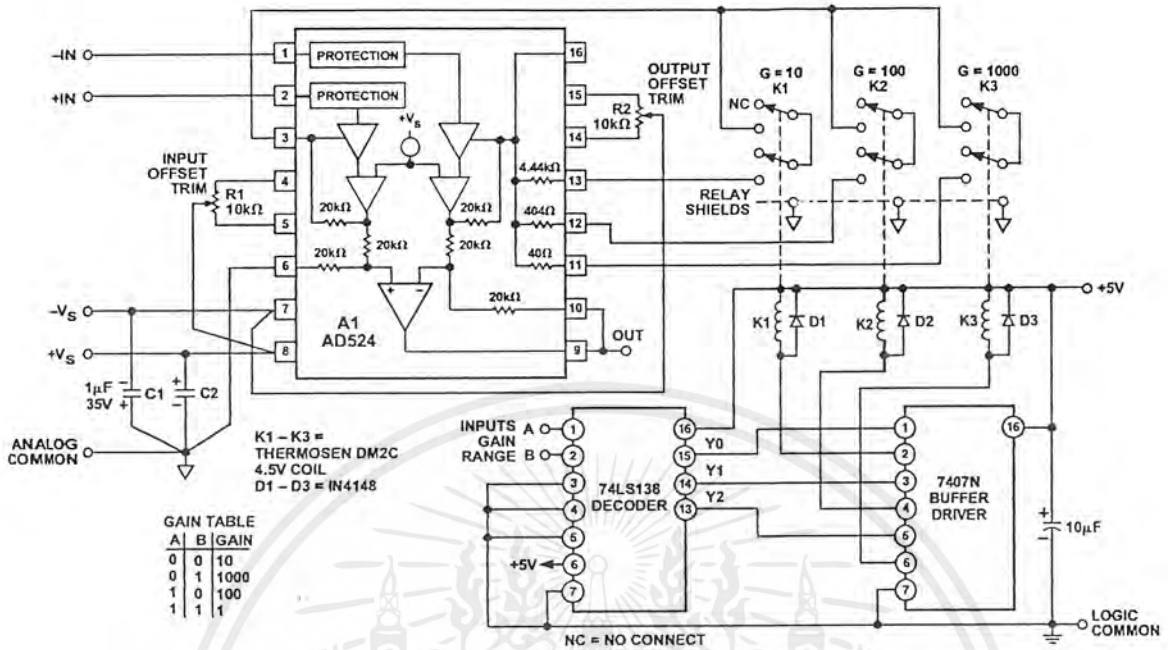


Figure 41. Three Decade Gain Programmable Amplifier

## PROGRAMMABLE GAIN

Figure 41 shows the AD524 being used as a software programmable gain amplifier. Gain switching can be accomplished with mechanical switches such as DIP switches or reed relays. It should be noted that the “on” resistance of the switch in series with the internal gain resistor becomes part of the gain equation and will have an effect on gain accuracy.

The AD524 can also be connected for gain in the output stage. Figure 42 shows an AD711 used as an active attenuator in the output amplifier’s feedback loop. The active attenuation presents a very low impedance to the feedback resistors, therefore minimizing the common-mode rejection ratio degradation.

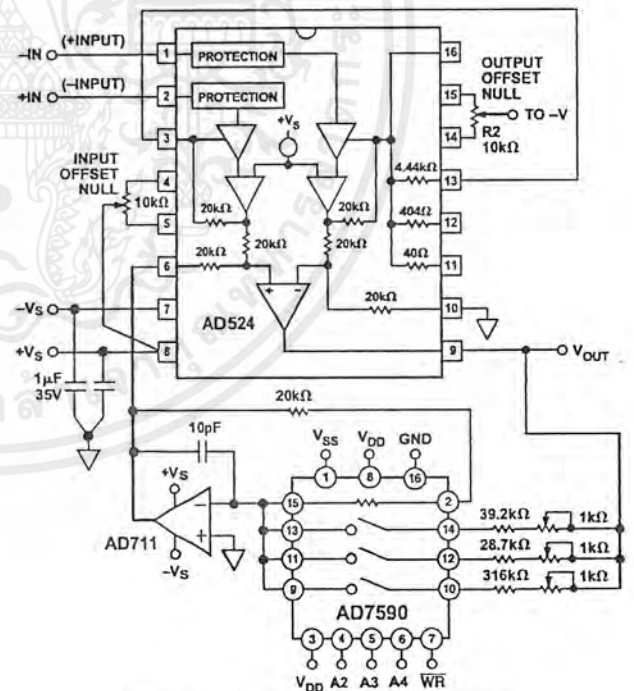


Figure 42. Programmable Output Gain

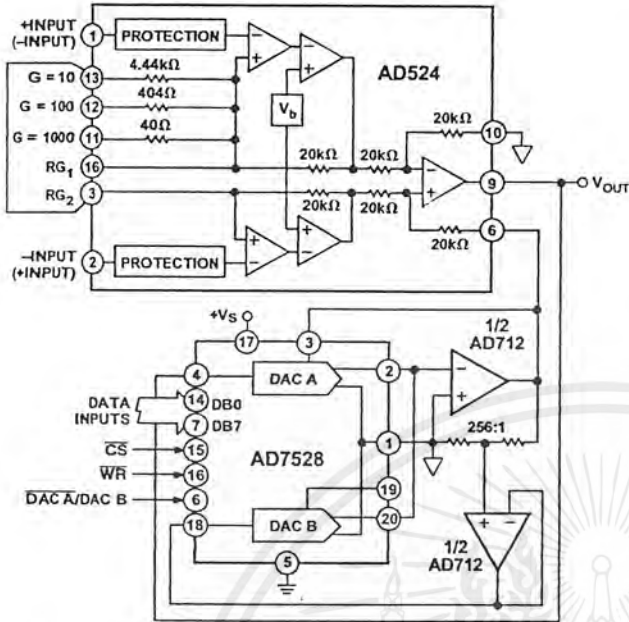


Figure 43. Programmable Output Gain Using a DAC

Another method for developing the switching scheme is to use a DAC. The AD7528 dual DAC, which acts essentially as a pair of switched resistive attenuators having high analog linearity and symmetrical bipolar transmission, is ideal in this application. The multiplying DAC's advantage is that it can handle inputs of either polarity or zero without affecting the programmed gain. The circuit shown uses an AD7528 to set the gain (DAC A) and to perform a fine adjustment (DAC B).

**AUTOZERO CIRCUITS**

In many applications it is necessary to provide very accurate data in high gain configurations. At room temperature the offset effects can be nulled by the use of offset trim pots. Over the operating temperature range, however, offset nulling becomes a problem. The circuit of Figure 44 show a CMOS DAC operating in the bipolar mode and connected to the reference terminal to provide software controllable offset adjustments.

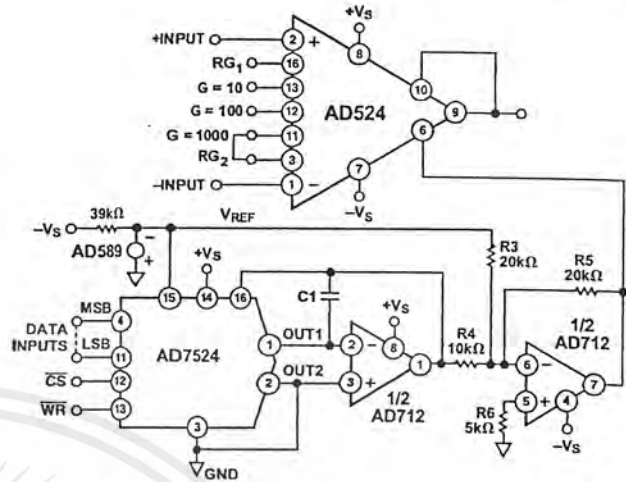


Figure 44. Software Controllable Offset

In many applications complex software algorithms for autozero applications are not available. For those applications Figure 45 provides a hardware solution.

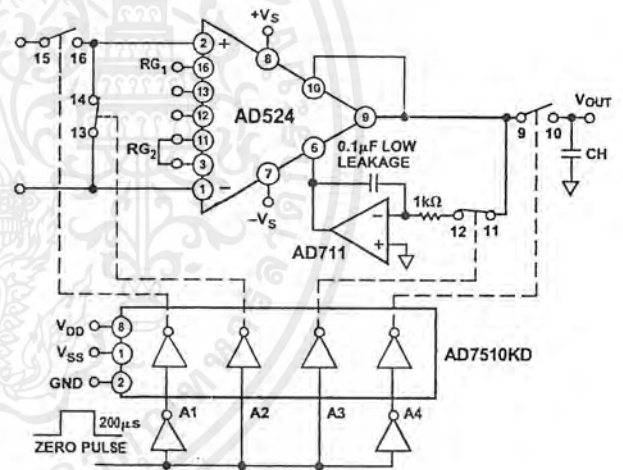


Figure 45. Autozero Circuit

# AD524

## ERROR BUDGET ANALYSIS

To illustrate how instrumentation amplifier specifications are applied, we will now examine a typical case where an AD524 is required to amplify the output of an unbalanced transducer. Figure 46 shows a differential transducer, unbalanced by 100 Ω, supplying a 0 to 20 mV signal to an AD524. The output of the IA feeds a 14-bit A-to-D converter with a 0 to 2 volt input voltage range. The operating temperature range is -25°C to +85°C. Therefore, the largest change in temperature ΔT within the operating range is from ambient to +85°C (85°C - 25°C = 60°C).

In many applications, differential linearity and resolution are of prime importance. This would be so in cases where the absolute value of a variable is less important than changes in value. In these applications, only the irreducible errors (45 ppm = 0.004%) are significant. Furthermore, if a system has an intelligent processor monitoring the A-to-D output, the addition of an auto-gain/autozero cycle will remove all reducible errors and may eliminate the requirement for initial calibration. This will also reduce errors to 0.004%.

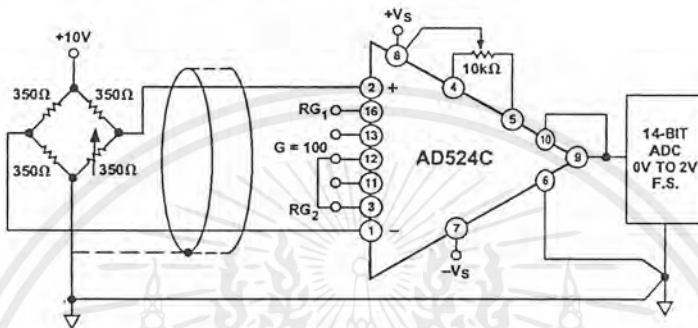


Figure 46. Typical Bridge Application

Table II. Error Budget Analysis of AD524CD in Bridge Application

Error Source	AD524C Specifications	Calculation	Effect on Absolute Accuracy at T <sub>A</sub> = +25°C	Effect on Absolute Accuracy at T <sub>A</sub> = +85°C	Effect on Resolution
Gain Error	±0.25%	±0.25% = 2500 ppm	2500 ppm	2500 ppm	-
Gain Instability	25 ppm	(25 ppm/°C)(60°C) = 1500 ppm	-	1500 ppm	-
Gain Nonlinearity	±0.003%	±0.003% = 30 ppm	-	-	30 ppm
Input Offset Voltage	±50 μV, RTI	±50 μV/20 mV = ±2500 ppm	2500 ppm	2500 ppm	-
Input Offset Voltage Drift	±0.5 μV/°C	(±0.5 μV/°C)(60°C) = 30 μV 30 μV/20 mV = 1500 ppm	-	1500 ppm	-
Output Offset Voltage*	±2.0 mV	±2.0 mV/20 mV = 1000 ppm	1000 ppm	1000 ppm	-
Output Offset Voltage Drift*	±25 μV/°C	(±25 μV/°C)(60°C) = 1500 μV 1500 μV/20 mV = 750 ppm	-	750 ppm	-
Bias Current-Source Imbalance Error	±15 nA	(±15 nA)(100 Ω) = 1.5 μV 1.5 μV/20 mV = 75 ppm	75 ppm	75 ppm	-
Bias Current-Source Imbalance Drift	±100 pA/°C	(±100 pA/°C)(100 Ω)(60°C) = 0.6 μV 0.6 μV/20 mV = 30 ppm	-	30 ppm	-
Offset Current-Source Imbalance Error	±10 nA	(±10 nA)(100 Ω) = 1 μV 1 μV/20 mV = 50 ppm	50 ppm	50 ppm	-
Offset Current-Source Imbalance Drift	±100 pA/°C	(100 pA/°C)(100 Ω)(60°C) = 0.6 μV 0.6 μV/20 mV = 30 ppm	-	30 ppm	-
Offset Current-Source Resistance-Error	±10 nA	(10 nA)(175 Ω) = 3.5 μV 3.5 μV/20 mV = 87.5 ppm	87.5 ppm	87.5 ppm	-
Offset Current-Source Resistance-Drift	±100 pA/°C	(100 pA/°C)(175 Ω)(60°C) = 1 μV 1 μV/20 mV = 50 ppm	-	50 ppm	-
Common Mode Rejection 5 V dc	115 dB	115 dB = 1.8 ppm × 5 V = 8.8 μV 8.8 μV/20 mV = 444 ppm	444 ppm	444 ppm	-
Noise, RTI (0.1 Hz-10 Hz)	0.3 μV p-p	0.3 μV p-p/20 mV = 15 ppm	-	-	15 ppm
Total Error			6656.5 ppm	10516.5 ppm	45 ppm

\*Output offset voltage and output offset voltage drift are given as RTI figures.

Figure 47 shows a simple application, in which the variation of the cold-junction voltage of a Type J thermocouple-iron(+)-constantan-is compensated for by a voltage developed in series by the temperature-sensitive output current of an AD590 semi-conductor temperature sensor.

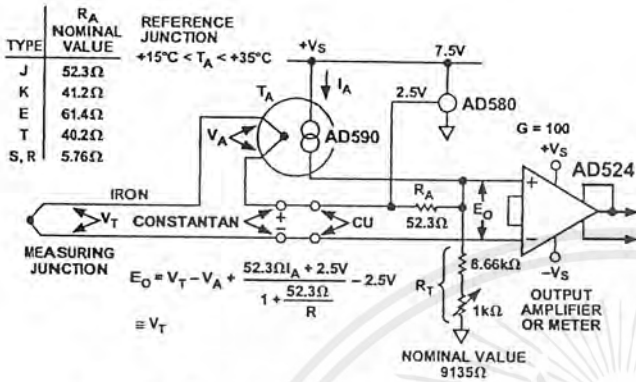


Figure 47. Cold-Junction Compensation

The circuit is calibrated by adjusting R<sub>T</sub> for proper output voltage with the measuring junction at a known reference temperature

and the circuit near 25°C. If resistors with low tempcos are used, compensation accuracy will be to within ±0.5°C, for temperatures between +15°C and +35°C. Other thermocouple types may be accommodated with the standard resistance values shown in the table. For other ranges of ambient temperature, the equation in the figure may be solved for the optimum values of R<sub>T</sub> and R<sub>A</sub>.

The microprocessor controlled data acquisition system shown in Figure 48 includes both autozero and autogain capability. By dedicating two of the differential inputs, one to ground and one to the A/D reference, the proper program calibration cycles can eliminate both initial accuracy errors and accuracy errors over temperature. The autozero cycle, in this application, converts a number that appears to be ground and then writes that same number (8-bit) to the AD7524, which eliminates the zero error since its output has an inverted scale. The autogain cycle converts the A/D reference and compares it with full scale. A multiplicative correction factor is then computed and applied to subsequent readings.

For a comprehensive study of instrumentation amplifier design and applications, refer to the *Instrumentation Amplifier Application Guide*, available free from Analog Devices.

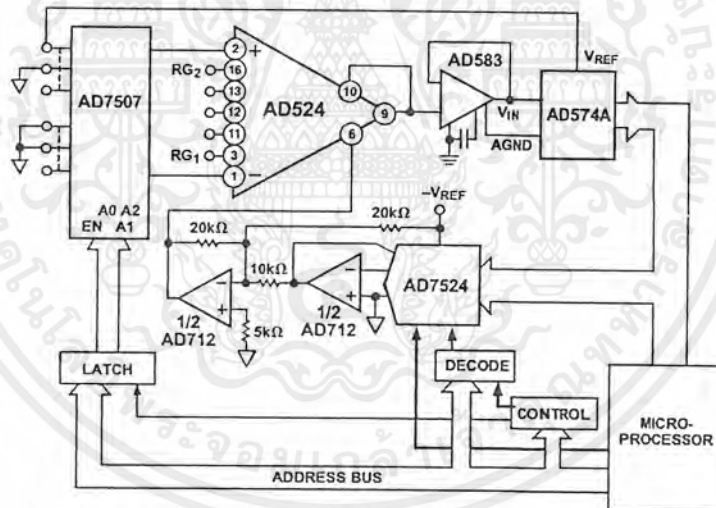


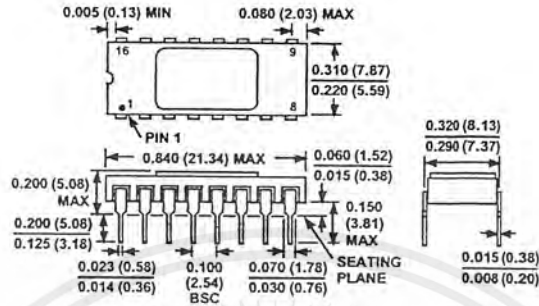
Figure 48. Microprocessor Controlled Data Acquisition System

AD524

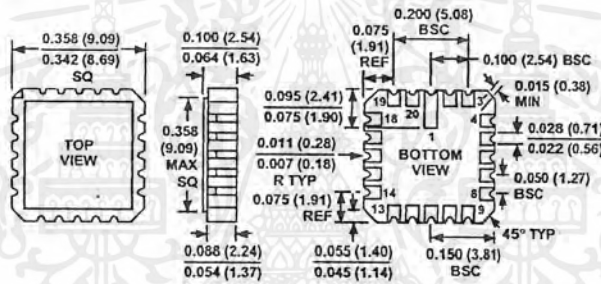
**OUTLINE DIMENSIONS**

Dimensions shown in inches and (mm).

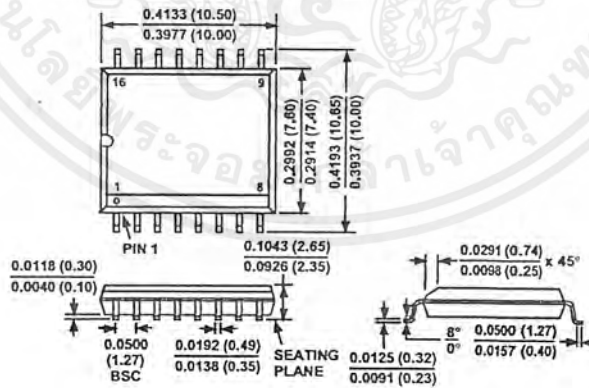
**16-Lead Ceramic DIP  
(D-16)**



**20-Terminal Leadless Chip Carrier  
(E-20A)**



**16-Lead SOIC  
(R-16)**



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านธุรกิจที่  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REV. E

# DATA SHEET



## PCF8591

### 8-bit A/D and D/A converter

Product specification

1998 Jul 02

Supersedes data of 1997 Apr 02

File under Integrated Circuits, IC12



# PHILIPS

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

5 BLOCK DIAGRAM

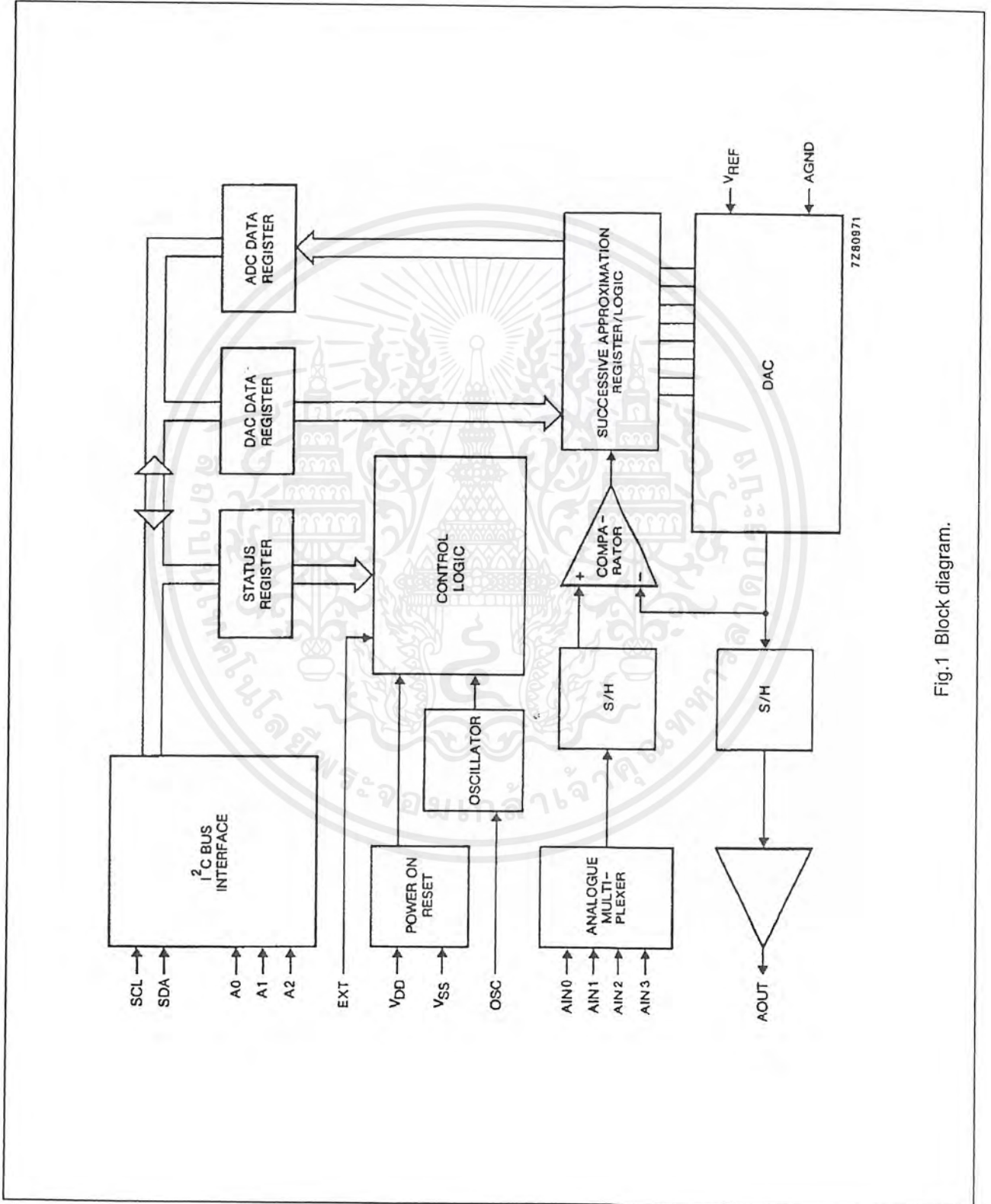


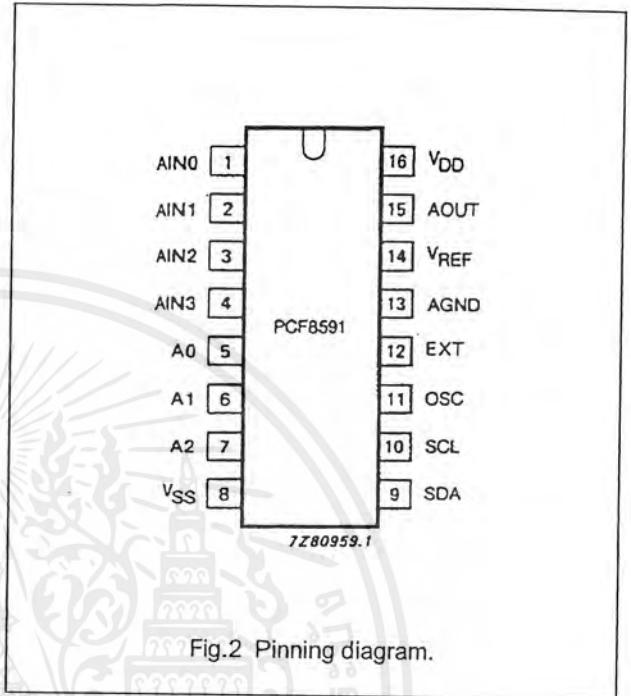
Fig.1 Block diagram.

## 8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

## 6 PINNING

SYMBOL	PIN	DESCRIPTION
AIN0	1	analog inputs (A/D converter)
AIN1	2	
AIN2	3	
AIN3	4	
A0	5	hardware address
A1	6	
A2	7	
V <sub>SS</sub>	8	
V <sub>SS</sub>	8	negative supply voltage
SDA	9	I <sup>2</sup> C-bus data input/output
SCL	10	I <sup>2</sup> C-bus clock input
OSC	11	oscillator input/output
EXT	12	external/internal switch for oscillator input
AGND	13	analog ground
V <sub>REF</sub>	14	voltage reference input
AOUT	15	analog output (D/A converter)
V <sub>DD</sub>	16	positive supply voltage



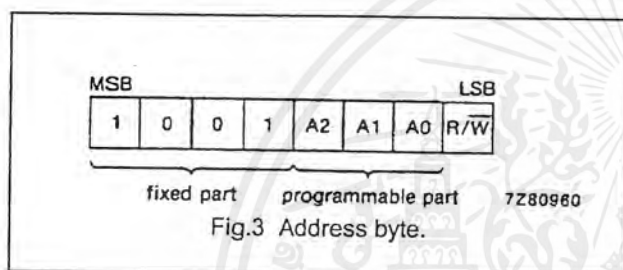
## 8-bit A/D and D/A converter

## PCF8591

## 7 FUNCTIONAL DESCRIPTION

## 7.1 Addressing

Each PCF8591 device in an I<sup>2</sup>C-bus system is activated by sending a valid address to the device. The address consists of a fixed part and a programmable part. The programmable part must be set according to the address pins A0, A1 and A2. The address always has to be sent as the first byte after the start condition in the I<sup>2</sup>C-bus protocol. The last bit of the address byte is the read/write-bit which sets the direction of the following data transfer (see Figs 3, 15 and 16).



## 7.2 Control byte

The second byte sent to a PCF8591 device will be stored in its control register and is required to control the device function.

The upper nibble of the control register is used for enabling the analog output, and for programming the analog inputs as single-ended or differential inputs. The lower nibble selects one of the analog input channels defined by the upper nibble (see Fig.4). If the auto-increment flag is set the channel number is incremented automatically after each A/D conversion.

If the auto-increment mode is desired in applications where the internal oscillator is used, the analog output enable flag in the control byte (bit 6) should be set. This allows the internal oscillator to run continuously, thereby preventing conversion errors resulting from oscillator start-up delay. The analog output enable flag may be reset at other times to reduce quiescent power consumption.

The selection of a non-existing input channel results in the highest available channel number being allocated. Therefore, if the auto-increment flag is set, the next selected channel will be always channel 0. The most significant bits of both nibbles are reserved for future functions and have to be set to 0. After a Power-on reset condition all bits of the control register are reset to 0. The D/A converter and the oscillator are disabled for power saving. The analog output is switched to a high-impedance state.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

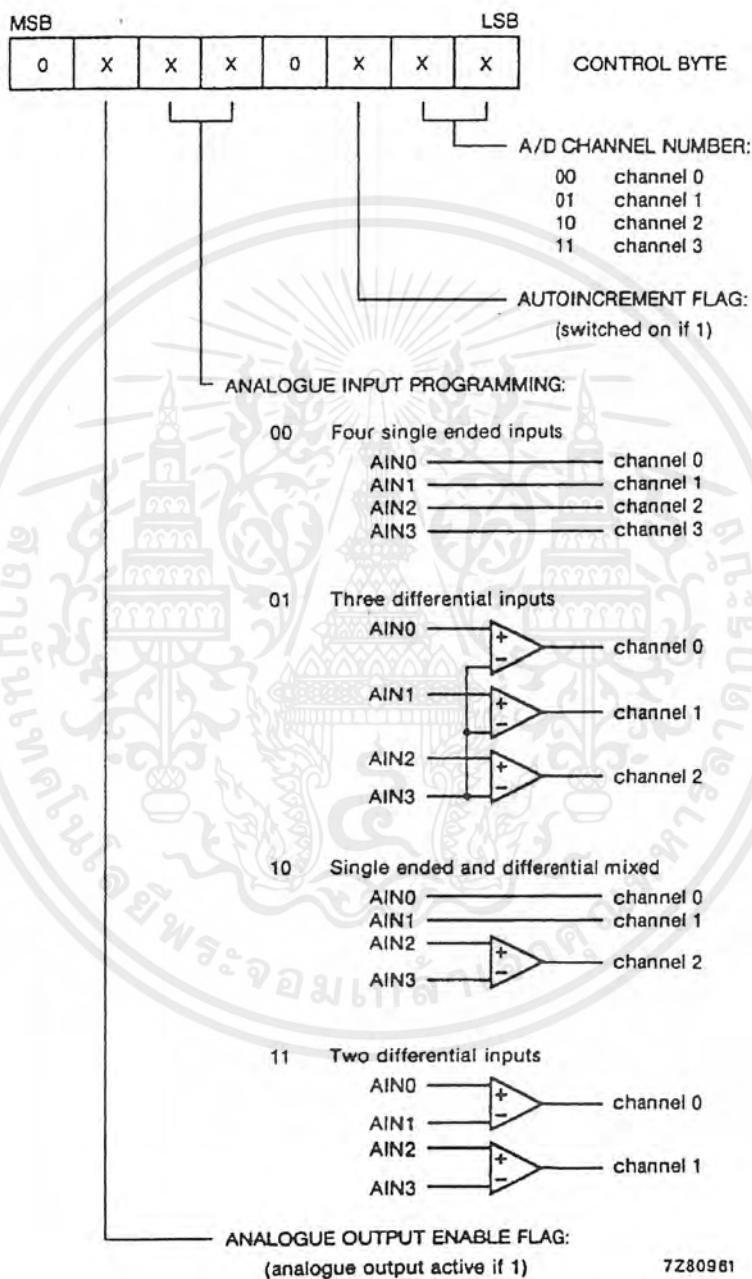


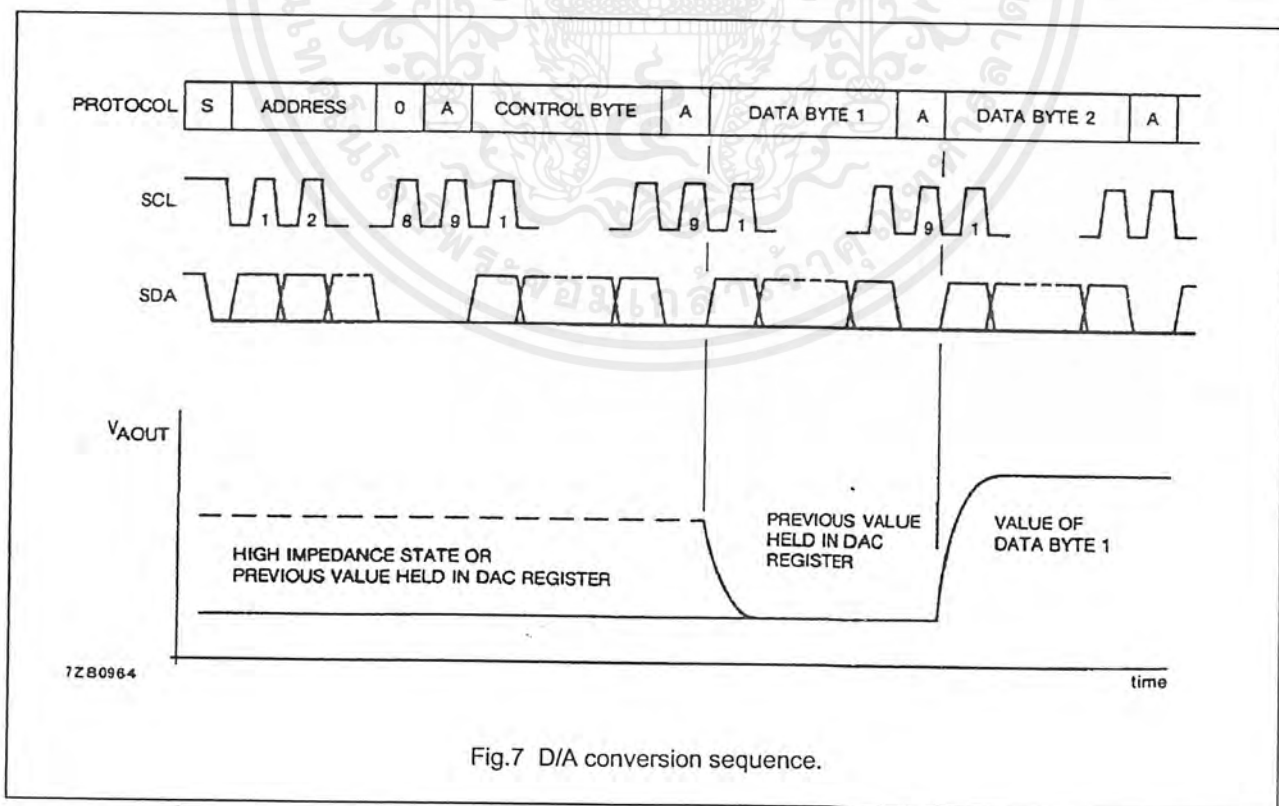
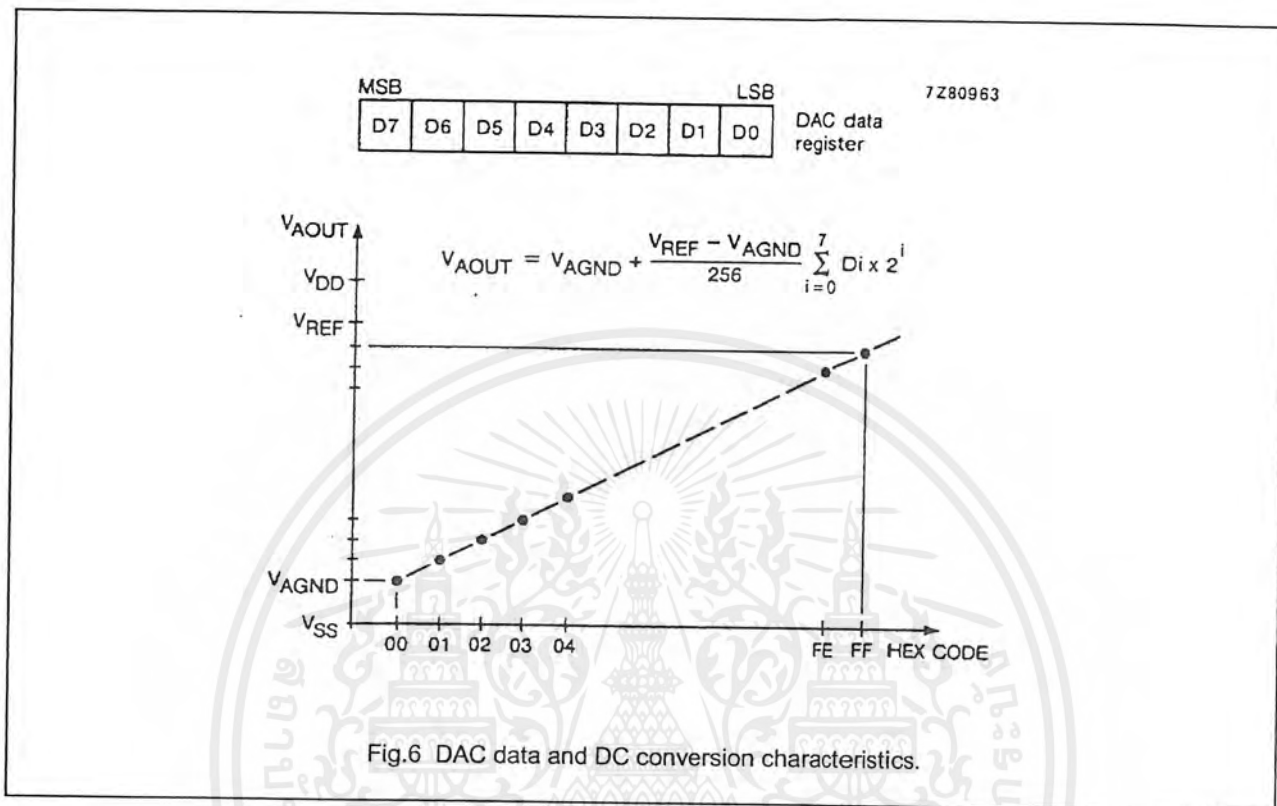
Fig.4 Control byte.

1998 Jul 02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591



1998 Jul 02

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

## 7.4 A/D conversion

The A/D converter makes use of the successive approximation conversion technique. The on-chip D/A converter and a high-gain comparator are used temporarily during an A/D conversion cycle.

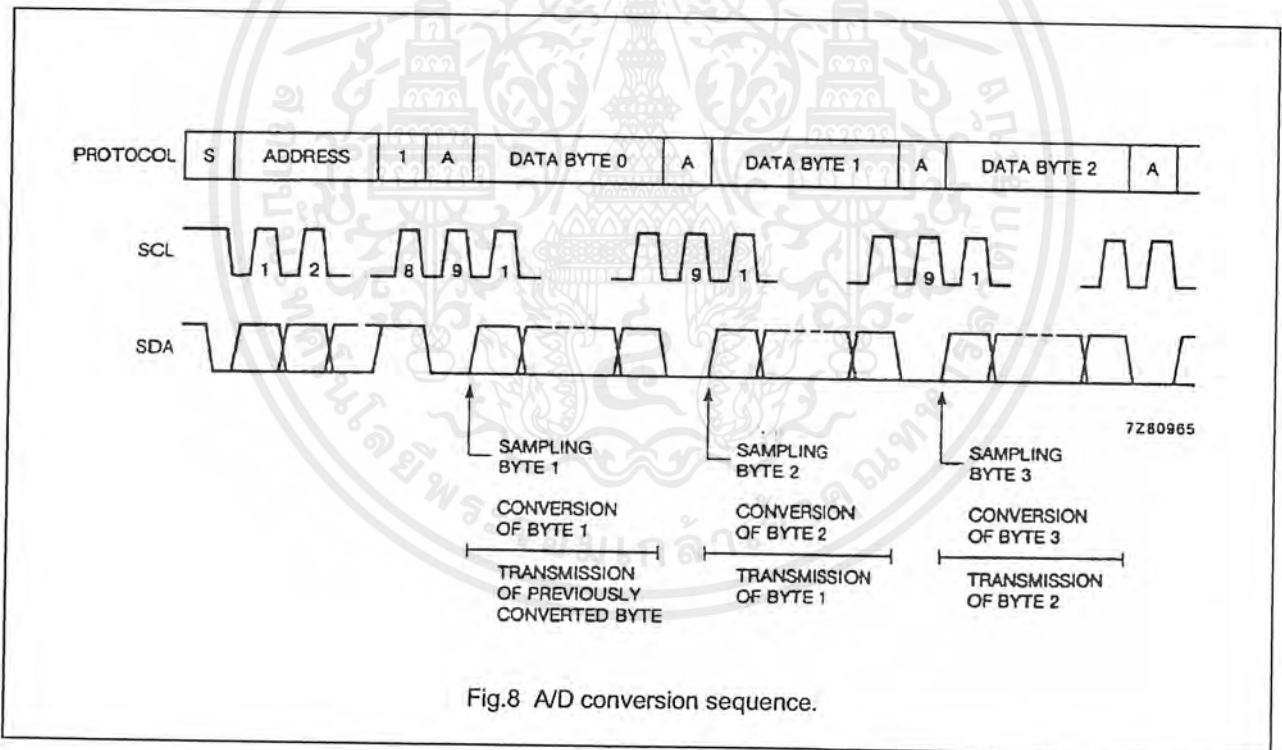
An A/D conversion cycle is always started after sending a valid read mode address to a PCF8591 device. The A/D conversion cycle is triggered at the trailing edge of the acknowledge clock pulse and is executed while transmitting the result of the previous conversion (see Fig.8).

Once a conversion cycle is triggered an input voltage sample of the selected channel is stored on the chip and is converted to the corresponding 8-bit binary code. Samples picked up from differential inputs are converted to an 8-bit two's complement code (see Figs 9 and 10).

The conversion result is stored in the ADC data register and awaits transmission. If the auto-increment flag is set the next channel is selected.

The first byte transmitted in a read cycle contains the conversion result code of the previous read cycle. After a Power-on reset condition the first byte read is a hexadecimal 80. The protocol of an I<sup>2</sup>C-bus read cycle is shown in Chapter 8, Figs 15 and 16.

The maximum A/D conversion rate is given by the actual speed of the I<sup>2</sup>C-bus.



8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

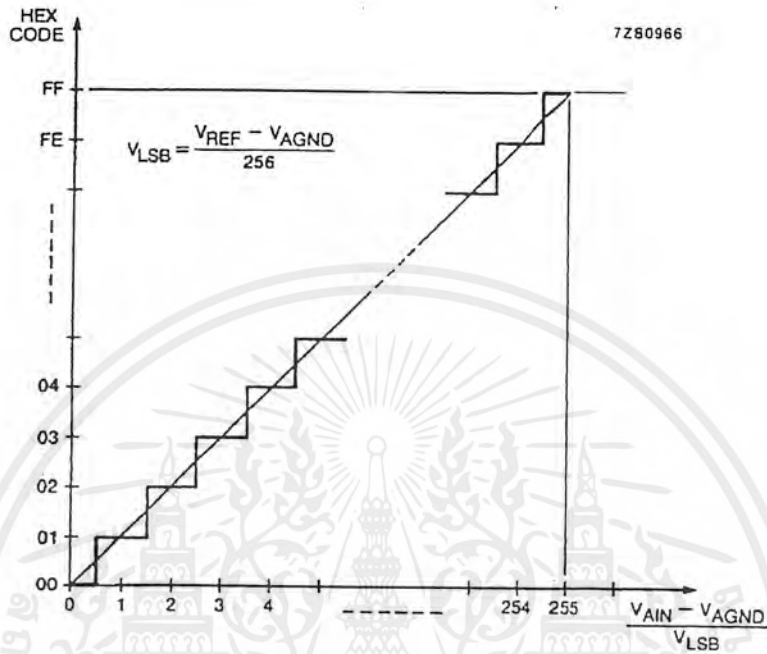


Fig.9 A/D conversion characteristics of single-ended inputs.

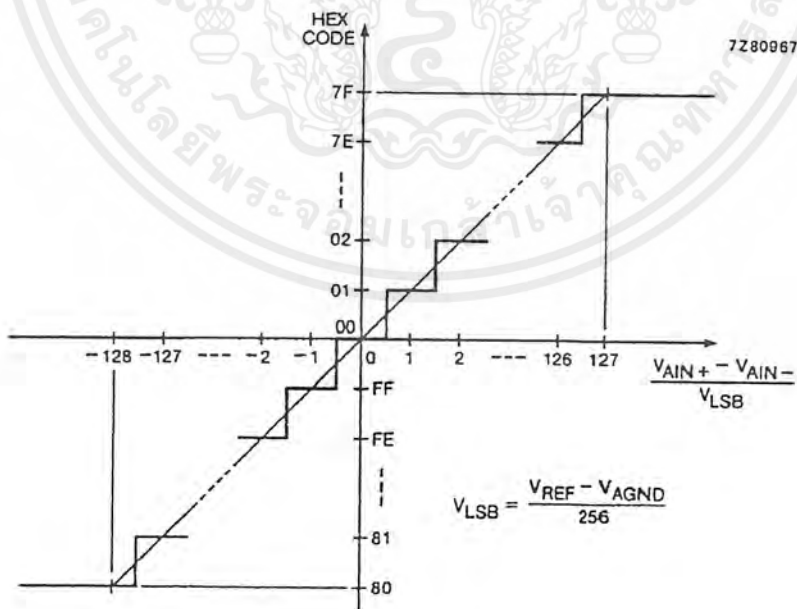


Fig.10 A/D conversion characteristics of differential inputs.

## 8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

## 7.5 Reference voltage

For the D/A and A/D conversion either a stable external voltage reference or the supply voltage has to be applied to the resistor divider chain (pins  $V_{REF}$  and AGND). The AGND pin has to be connected to the system analog ground and may have a DC off-set with reference to  $V_{SS}$ .

A low frequency may be applied to the  $V_{REF}$  and AGND pins. This allows the use of the D/A converter as a one-quadrant multiplier; see Chapter 15 and Fig.6.

The A/D converter may also be used as a one or two quadrant analog divider. The analog input voltage is divided by the reference voltage. The result is converted to a binary code. In this application the user has to keep the reference voltage stable during the conversion cycle.

## 7.6 Oscillator

An on-chip oscillator generates the clock signal required for the A/D conversion cycle and for refreshing the auto-zeroed buffer amplifier. When using this oscillator the EXT pin has to be connected to  $V_{SS}$ . At the OSC pin the oscillator frequency is available.

If the EXT pin is connected to  $V_{DD}$  the oscillator output OSC is switched to a high-impedance state allowing the user to feed an external clock signal to OSC.



## 8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

8 CHARACTERISTICS OF THE I<sup>2</sup>C-BUS

The I<sup>2</sup>C-bus is for bidirectional, two-line communication between different ICs or modules. The two lines are a serial data line (SDA) and a serial clock line (SCL). Both lines must be connected to a positive supply via a pull-up resistor. Data transfer may be initiated only when the bus is not busy.

## 8.1 Bit transfer

One data bit is transferred during each clock pulse. The data on the SDA line must remain stable during the HIGH period of the clock pulse as changes in the data line at this time will be interpreted as a control signal.

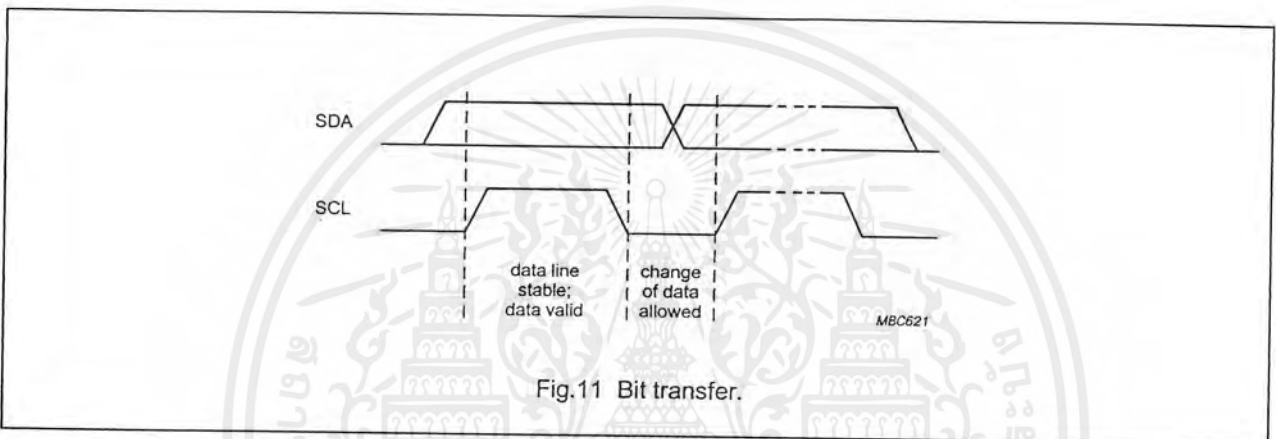


Fig.11 Bit transfer.

## 8.2 Start and stop conditions

Both data and clock lines remain HIGH when the bus is not busy. A HIGH-to-LOW transition of the data line, while the clock is HIGH, is defined as the start condition (S). A LOW-to-HIGH transition of the data line while the clock is HIGH, is defined as the stop condition (P).

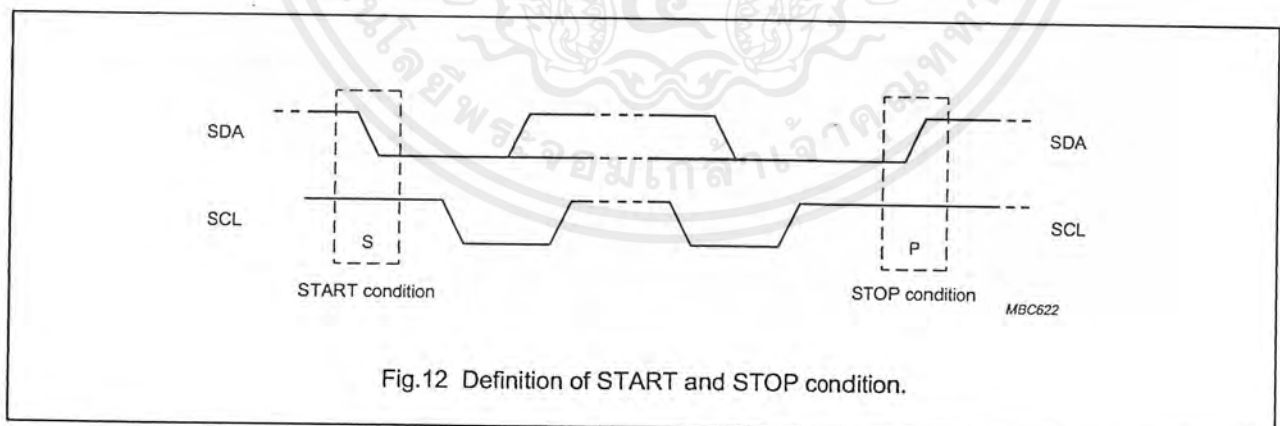


Fig.12 Definition of START and STOP condition.

8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

8.3 System configuration

A device generating a message is a 'transmitter', a device receiving a message is the 'receiver'. The device that controls the message is the 'master' and the devices which are controlled by the master are the 'slaves'.

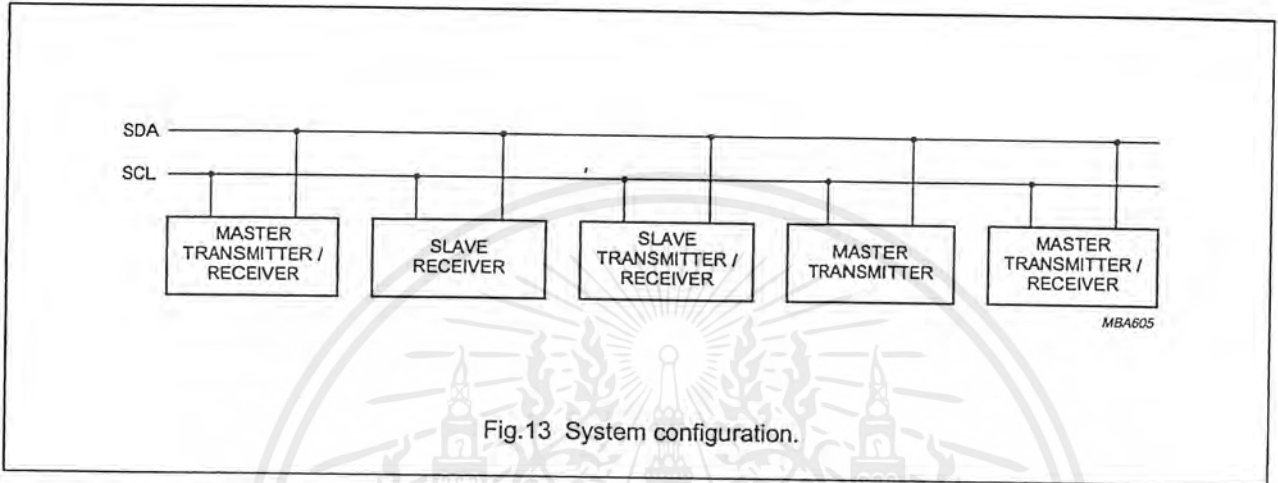


Fig.13 System configuration.

8.4 Acknowledge

The number of data bytes transferred between the start and stop conditions from transmitter to receiver is not limited. Each data byte of eight bits is followed by one acknowledge bit. The acknowledge bit is a HIGH level put on the bus by the transmitter whereas the master also generates an extra acknowledge related clock pulse. A slave receiver which is addressed must generate an acknowledge after the reception of each byte. Also a master must generate an acknowledge after the reception of each byte that has been clocked out of the slave transmitter. The device that acknowledges has to pull down the SDA line during the acknowledge clock pulse, so that the SDA line is stable LOW during the HIGH period of the acknowledge related clock pulse. A master receiver must signal an end of data to the transmitter by not generating an acknowledge on the last byte that has been clocked out of the slave. In this event the transmitter must leave the data line HIGH to enable the master to generate a stop condition.

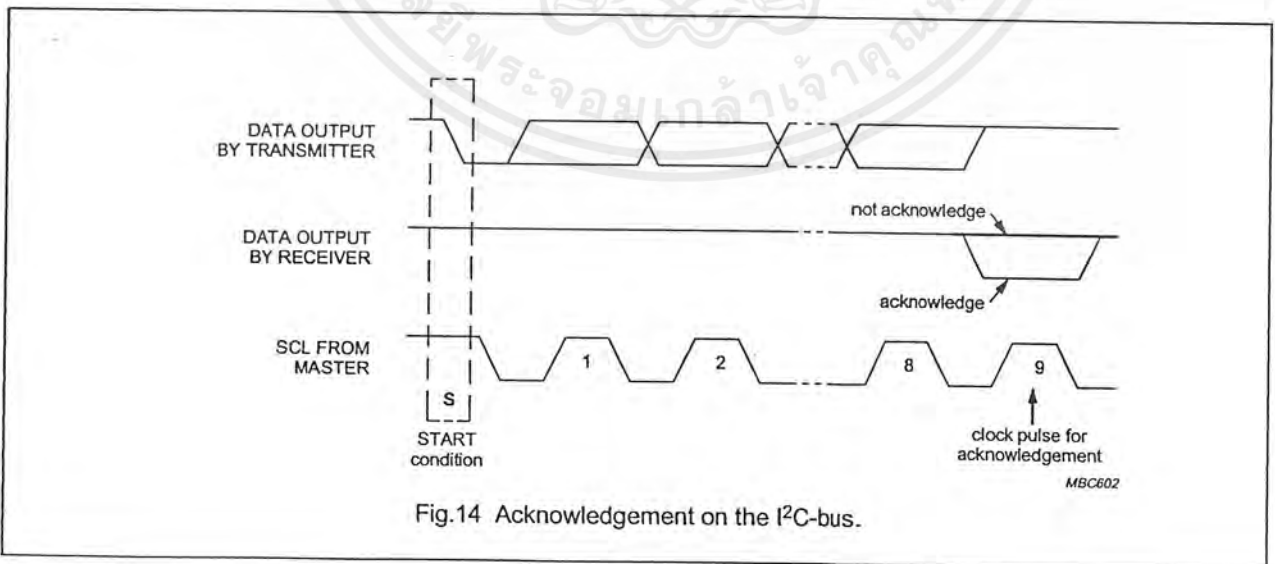


Fig.14 Acknowledgement on the I<sup>2</sup>C-bus.

## 8-bit A/D and D/A converter

## PCF8591

8.5 I<sup>2</sup>C-bus protocol

After a start condition a valid hardware address has to be sent to a PCF8591 device. The read/write bit defines the direction of the following single or multiple byte data transfer. For the format and the timing of the start condition (S), the stop condition (P) and the acknowledge bit (A) refer to the I<sup>2</sup>C-bus characteristics. In the write mode a data transfer is terminated by sending either a stop condition or the start condition of the next data transfer.

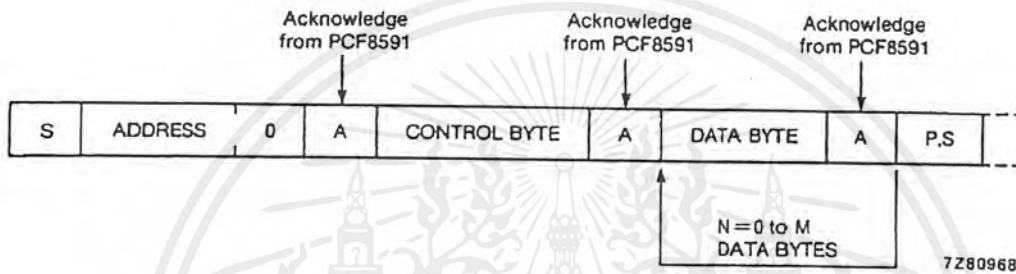


Fig.15 Bus protocol for write mode, D/A conversion.

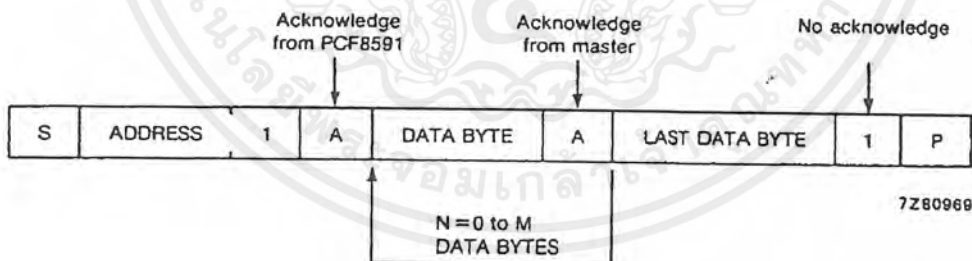


Fig.16 Bus protocol for read mode, A/D conversion.

## 8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

## 9 LIMITING VALUES

In accordance with the Absolute Maximum Rating System (IEC 134).

SYMBOL	PARAMETER	MIN.	MAX.	UNIT
$V_{DD}$	supply voltage (pin 16)	-0.5	+8.0	V
$V_I$	input voltage (any input)	-0.5	$V_{DD} + 0.5$	V
$I_I$	DC input current	-	±10	mA
$I_O$	DC output current	-	±20	mA
$I_{DD}, I_{SS}$	$V_{DD}$ or $V_{SS}$ current	-	±50	mA
$P_{tot}$	total power dissipation per package	-	300	mW
$P_O$	power dissipation per output	-	100	mW
$T_{amb}$	operating ambient temperature	-40	+85	°C
$T_{stg}$	storage temperature	-65	+150	°C

## 10 HANDLING

Inputs and outputs are protected against electrostatic discharge in normal handling. However, to be totally safe, it is desirable to take precautions appropriate to handling MOS devices. Advice can be found in Data Handbook IC12 under "Handling MOS Devices".

## 8-bit A/D and D/A converter

PCF8591

## 12 D/A CHARACTERISTICS

$V_{DD} = 5.0\text{ V}$ ;  $V_{SS} = 0\text{ V}$ ;  $V_{REF} = 5.0\text{ V}$ ;  $V_{AGND} = 0\text{ V}$ ;  $R_L = 10\text{ k}\Omega$ ;  $C_L = 100\text{ pF}$ ;  $T_{amb} = -40\text{ }^\circ\text{C}$  to  $+85\text{ }^\circ\text{C}$  unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
<b>Analog output</b>						
$V_{OA}$	output voltage	no resistive load	$V_{SS}$	–	$V_{DD}$	V
		$R_L = 10\text{ k}\Omega$	$V_{SS}$	–	$0.9 \times V_{DD}$	V
$I_{LO}$	output leakage current	AOUT disabled	–	–	250	nA
<b>Accuracy</b>						
$OS_e$	offset error	$T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	–	–	50	mV
$L_e$	linearity error		–	–	$\pm 1.5$	LSB
$G_e$	gain error	no resistive load	–	–	1	%
$t_{DAC}$	settling time	to $\frac{1}{2}$ LSB full scale step	–	–	90	$\mu\text{s}$
$f_{DAC}$	conversion rate		–	–	11.1	kHz
SNRR	supply noise rejection ratio	$f = 100\text{ Hz}$ ; $V_{DDN} = 0.1 \times V_{PP}$	–	40	–	dB

## 13 A/D CHARACTERISTICS

$V_{DD} = 5.0\text{ V}$ ;  $V_{SS} = 0\text{ V}$ ;  $V_{REF} = 5.0\text{ V}$ ;  $V_{AGND} = 0\text{ V}$ ;  $R_S = 10\text{ k}\Omega$ ;  $T_{amb} = -40\text{ }^\circ\text{C}$  to  $+85\text{ }^\circ\text{C}$  unless otherwise specified.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
<b>Analog inputs</b>						
$V_{IA}$	analog input voltage		$V_{SS}$	–	$V_{DD}$	V
$I_{LIA}$	analog input leakage current		–	–	100	nA
$C_{IA}$	analog input capacitance		–	10	–	pF
$C_{ID}$	differential input capacitance		–	10	–	pF
$V_{IS}$	single-ended voltage	measuring range	$V_{AGND}$	–	$V_{REF}$	V
$V_{ID}$	differential voltage	measuring range; $V_{FS} = V_{REF} - V_{AGND}$	$-\frac{V_{FS}}{2}$	–	$+\frac{V_{FS}}{2}$	V
<b>Accuracy</b>						
$OS_e$	offset error	$T_{amb} = 25\text{ }^\circ\text{C}$	–	–	20	mV
$L_e$	linearity error		–	–	$\pm 1.5$	LSB
$G_e$	gain error		–	–	1	%
$GS_e$	small-signal gain error	$\Delta V_i = 16\text{ LSB}$	–	–	5	%
CMRR	common-mode rejection ratio		–	60	–	dB
SNRR	supply noise rejection ratio	$f = 100\text{ Hz}$ ; $V_{DDN} = 0.1 \times V_{PP}$	–	40	–	dB
$t_{ADC}$	conversion time		–	–	90	$\mu\text{s}$
$f_{ADC}$	sampling/conversion rate		–	–	11.1	kHz