



เครื่องแปลงสัญญาณความดัน กระแส และ ส่วนอินเตอร์เฟส

PRESSURE TO CURRENT CONVERTER AND INTERFACING UNIT

โดย

นาย ธีรฤกษ์ ไม้ประดิษฐ์  
นาย วิโรจน์ ลิ้มปศิลป์  
นาย อาศเนย์ โอภาด้า

วัน เดือน ปี..... 29. ก.พ. 2541  
เลขทะเบียน..... 038021  
เลขเรียกท T ๕๑.๐4.1. ๓๖ ๐๒1 ๑.

ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2539

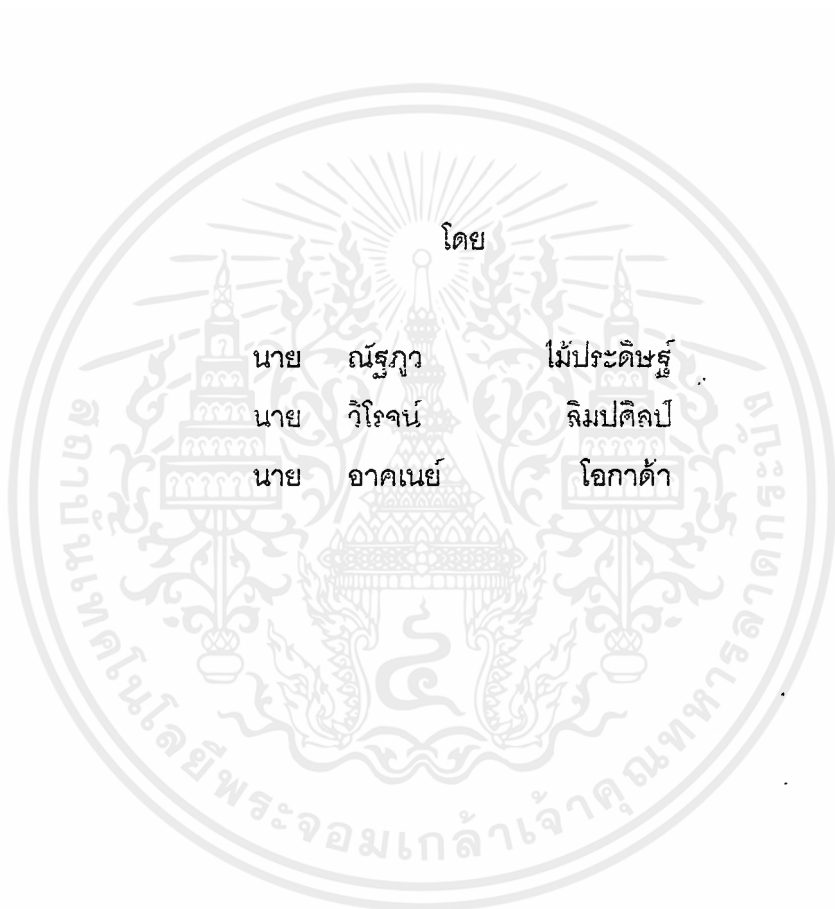
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

038021

ปีการศึกษา 2539

เครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นสัญญาณกระแส และ ส่วนอินเตอร์เฟส

PRESSURE TO CURRENT CONVERTER AND INTERFACING UNIT



อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ประสิทธิ์ จุลเสวีวงศ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2539

ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

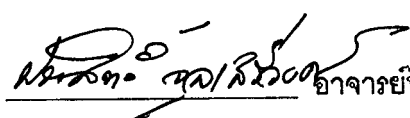
คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง เครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นสัญญาณกระแส และ ส่วนอินเตอร์เฟส

ผู้จัดทำ



นาย อนุรักษ์	ไม้ประดิษฐ์	.36014137
นาย วิโรจน์	ลิมปศิลป์	36014413
นาย อาคเนย์	โสภาด้า	36014564

  
อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

บทที่ 1	- บทนำ	3
	- ความเบื้องต้น	3
	- การประยุกต์ใช้	6
	- วัตถุประสงค์	8
บทที่ 2	- ทฤษฎีและหลักการ	9
	- ภาคทราบนสคิวเซอร์	9
	- ส่วนวงจรขยายชนิดตีเฟอเรนเชียลอินสตูรเมนเทชั่น	10
	- ภาคสัญญาณแรงดันเป็นกระแส	15
	- ส่วนอินเตอร์เฟส	16
	- การอินเตอร์เฟส	16
	- มาตรฐานการอินเตอร์เฟสRS-232	18
	- พื้นฐานการอินเตอร์เฟส	19
	- รับส่งข้อมูลสองทิศทาง	20
	- การแฮนด์เชค	21
บทที่ 3	- การออกแบบและการทดสอบเครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นกระแสและส่วนแสดงผลทางคอมพิวเตอร์	23
	- ข้อกำหนดในการออกแบบเครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นกระแสและผลการทดลอง	23
	- ทราบนสคิวเซอร์	23
	- ภาคเปลี่ยนสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า	28
	- ส่วนอินเตอร์เฟส	30
บทที่ 4	- การใช้งานของโปรแกรม	34
	- การทดลอง	47
บทที่ 5	- แนวทางการพัฒนาต่อ	38
	- ข้อจำกัดของโครงการ	38
	- บทสรุป	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

SOURCE PROGRAM

DATA SHEET

วงจร SCHEMATIC

วงจร PCB

บรรณานุกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

รูป 1.1	แสดงระบบอุตสาหกรรมแบบเก่าซึ่งใช้ระบบนิวมेटริกส์เป็นส่วนใหญ่	4
รูป 1.2	แสดงการเชื่อมต่อ ระบบแบบเก่า คือ ระบบนิวมेटริกส์ กับ ระบบแบบใหม่ คือ ระบบอิเล็กทรอนิกส์	5
รูป 1.3	แสดงการควบคุมแบบกระจายโดยใช้ระบบดาต้าคอม (Datacom)	7
รูป 2.1	แสดงการใช้งานของขาต่างๆของ ไอซี MPX-200	9
รูป 2.2	แสดงพื้นฐานของวงจรดีเฟอเรนเชียล	10
รูป 2.3	อัตราขยายแรงดันแบบคอมมอนโมดควรจะเป็นศูนย์เสมอ	11
รูป 2.4	การพัฒนาวงจรขยายดีเฟอเรนเชียลทั่วไปให้ดีขึ้น	13
รูป 2.5	วงจรขยายอินสตรูเมนเทชัน	14
รูป 2.6	วงจรแปลงสัญญาณแรงดัน เป็น สัญญาณกระแส แบบภาระลอย	15
รูป 2.7	วงจรแปลงสัญญาณแรงดัน เป็น สัญญาณกระแส แบบภาระลงดิน	16
รูป 2.8	แผนภาพตอนเน็กเตอร์ DB-25	19
รูป 2.9	แสดงส่วนประกอบพื้นฐานการอินเตอร์เฟซทั่วไป	19
รูป 2.10	อุปกรณ์ DTE และอุปกรณ์ DCE เป็นคู่อุปกรณ์ร่วม ที่ทำงานตรงข้ามกัน	20
รูป 2.11	อุปกรณ์สามารถส่งและรับข้อมูลได้สองทิศทาง	21
รูป 2.12	แสดงสัญญาณควบคุมไม่มีข้อมูลเข้ามาเกี่ยวข้อง	22
รูป 3.1	แสดงการต่อวงจรเพื่อทดสอบสัญญาณเอาต์พุตและคุณสมบัติของ MPX 200 DP	24
รูป 3.2	แสดงวงจรของภาคเปลี่ยนสัญญาณความดัน 0.2-1.0 กิโลกรัม ต่อตารางเซนติเมตรเป็น สัญญาณแรงดันไฟฟ้า 1-5 โวลท์	26
รูป 3.3	แสดงวงจรภาคเปลี่ยนสัญญาณแรงดันไฟฟ้า 1-5 โวลท์เป็น สัญญาณกระแสไฟฟ้า 4-20 มิลลิแอมป์	28
รูป 3.4	แสดงวงจรแปลง สัญญาณอนาลอก เป็น สัญญาณดิจิตอล	30
รูป 3.5	แสดงตารางการต่อสายของ DB-9	33

รูป 4.1	แสดงฟอร์มการบันทึกข้อมูล	34
รูป 4.2	แสดงการทำงานของโปรแกรม	35
รูป 4.3	แสดงรูปแบบของการตั้งค่า Alarm	35
รูป 4.4	แสดงไฟล์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรม	36
รูป 4.5	แสดงภาพการต่อเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเครื่องแปลง สัญญาณความดันเป็นสัญญาณกระแส และส่วนอินเตอร์เฟซ	37



## เครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นสัญญาณกระแส และ ส่วนอินเตอร์เฟซ

### จัดทำโดย

นาย ณัฐภา	ไม้ประดิษฐ์	รหัส 36014137
นาย วิโรจน์	ลิมปศิลป์	รหัส 36014413
นาย อาคเนย์	โสภาดำ	รหัส 36014564

### อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ประสิทธิ์ จุลเสรีวงศ์

### บทคัดย่อ

ปฏิยานิพนธ์นี้จะกล่าวถึง การออกแบบและสร้างเครื่องแปลงสัญญาณความดัน (0.2-1.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) เป็นสัญญาณกระแส (4-20 มิลลิแอมป์) ,สัญญาณแรงดัน ( 1-5 โวลท์) และส่วนอินเตอร์เฟซกับคอมพิวเตอร์โดยใช้มาตรฐานการสื่อสารแบบ อาร์เอส 232

โดยมีหลักการคือ ใช้อุปกรณ์ตรวจวัดความดัน แบบ โซลิดสเตท ซึ่งอาศัย หลักการของสเตรนเกจเปลี่ยนค่าความดันที่ป้อนเข้าไป เป็นค่า แรงดันไฟฟ้า จากนั้นนำค่าแรงดันไฟฟ้า ที่ได้นี้ มาผ่านวงจร ขยายสัญญาณ เข้าสู่ส่วนของวงจร เปลี่ยนสัญญาณ อนาลอก เป็น ดิจิตอล นำไปสู่ส่วนท้ายสุดคือส่วนแสดงผลออกทางคอมพิวเตอร์ในรูปของตัวเลข และกราฟ ซึ่งสามารถเก็บ ลงไฟล์และพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์ได้ ในขณะเดียวกัน ค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้นี้ ( 1-5 โวลท์) ก็จะถูกนำไปผ่านวงจรอีกรวงหนึ่งเพื่อเปลี่ยนเป็นสัญญาณ กระแส (4-20 มิลลิแอมป์) และนำสัญญาณแรงดันไฟฟ้า และ สัญญาณกระแส ที่ได้ไปเป็นค่าสัญญาณในการควบคุม อุปกรณ์ต่างๆในสายการผลิต หรือ เครื่องมือต่างๆในระบบต่อไป

## PRESSURE TO CURRENT CONVERTER AND INTERFACING UNIT

<u>STAFF</u>	MR. NUTTAPOO MAIPRADITH	36014137
	MR. VIROJ LIMPASIL	36014413
	MR. AKANAE OKADA	36014564

ADVISOR MR. PRASIT JULSELEEWONG

### ABSTRACT

This project emphasized circuit design and implementation of pressure to current converter circuit for interfacing to RS-232. The principal of this project is to use a solid state pressure sensors for transducing the pressure to electrical voltage. The voltage signal will be amplified by signal conditioning circuit and then convert it from analog form into digital form before sending it to display and save in personal computer via RS-232. In the same time, the voltage signal will be converted to current by V/I converter circuit. The output voltage signal and current signal will be used to drive and control some equipments of the process.

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ความเบื้องต้น

การแปลงสัญญาณความดันเป็นสัญญาณกระแส เป็นหลักการที่มีความจำเป็นและสำคัญในการวัดและความคุมทางอุตสาหกรรม เป็นอย่างมาก เนื่องจากในปัจจุบันระบบอุตสาหกรรมได้มีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนจากระบบเดิมคือ ระบบ นิวแมติกส์ (Pneumatic) มาเป็นระบบ อิเล็กทรอนิกส์ (Electronic) จากสาเหตุดังกล่าวทำให้ผู้ผลิตอุปกรณ์ต่างๆในระบบ นิวแมติกส์ ทำการผลิตอุปกรณ์หรืออะไหล่ต่างๆน้อยลง ดังนั้นเราจึงต้องทำการปรับปรุงระบบเดิมให้สามารถเข้ากับระบบ อิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งถูกใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

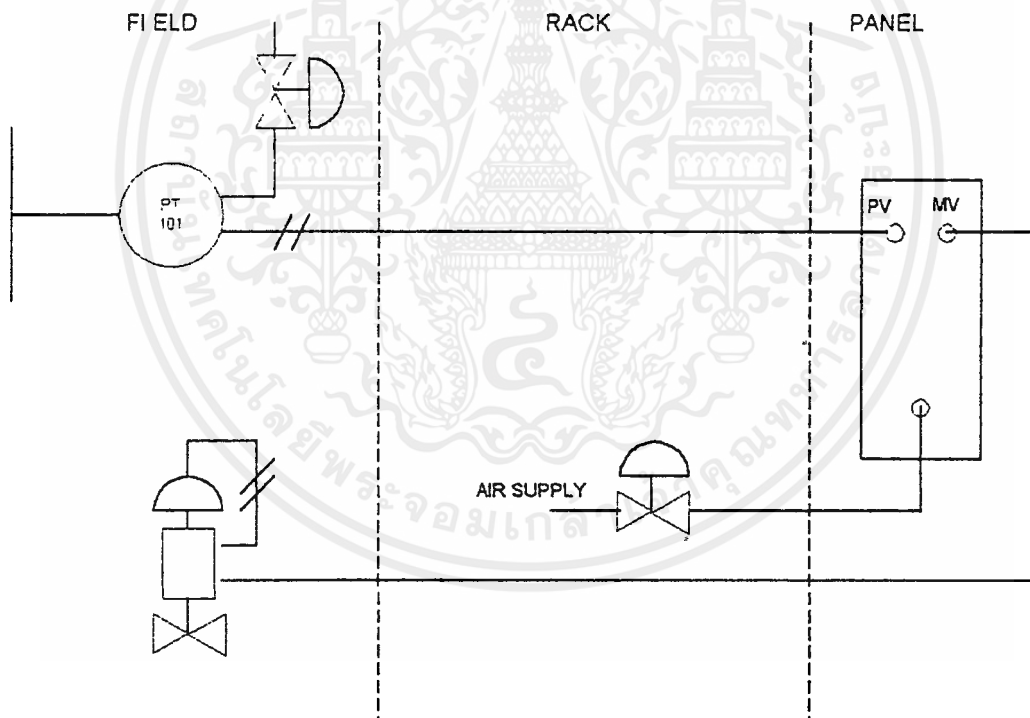
การที่ระบบ อิเล็กทรอนิกส์ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบันเนื่องจาก

- การส่งสัญญาณเป็นสัญญาณไฟฟ้า หรือ อิเล็กทรอนิกส์นั้นสามารถส่งเป็นระยะไกลๆ โดยที่ เวลาล่าช้า (Time lags) มีค่าน้อยมาก
- สัญญาณไฟฟ้าสามารถแปลงเป็นสัญญาณ ดิจิตอลเพื่อติดต่อกับ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal computer) ได้ง่ายระบบนิวแมติกส์ที่ใช้ในปัจจุบันมีปัญหาในด้านต่างๆดังนี้
- เกิดสิ่งสกปรก เช่น น้ำ หรือน้ำมันในท่อส่งลมเนื่องจากการกลั่นตัวเป็นน้ำของอากาศที่ถูกอัดตัวในระบบนิวแมติกส์
- ระบบมีขนาดใหญ่ยากต่อการดูแลรักษา
- การประยุกต์ของระบบทำได้ยากเพราะวงจรทางตรรกะของระบบนิวแมติกส์จะมีความซับซ้อนมากถ้าเทียบกับวงจร เหล่านี้ในระบบไฟฟ้า
- ปัจจุบันอุปกรณ์บางอย่างในระบบนิวแมติกส์ผลิตออกมาน้อยมากในตลาดทั่วไป
- การเช็คสัญญาณต่างๆของระบบไม่สามารถทำได้โดยง่ายเหมือนระบบไฟฟ้า
- การควบคุมการทำงานทำได้ยากกว่าระบบไฟฟ้า

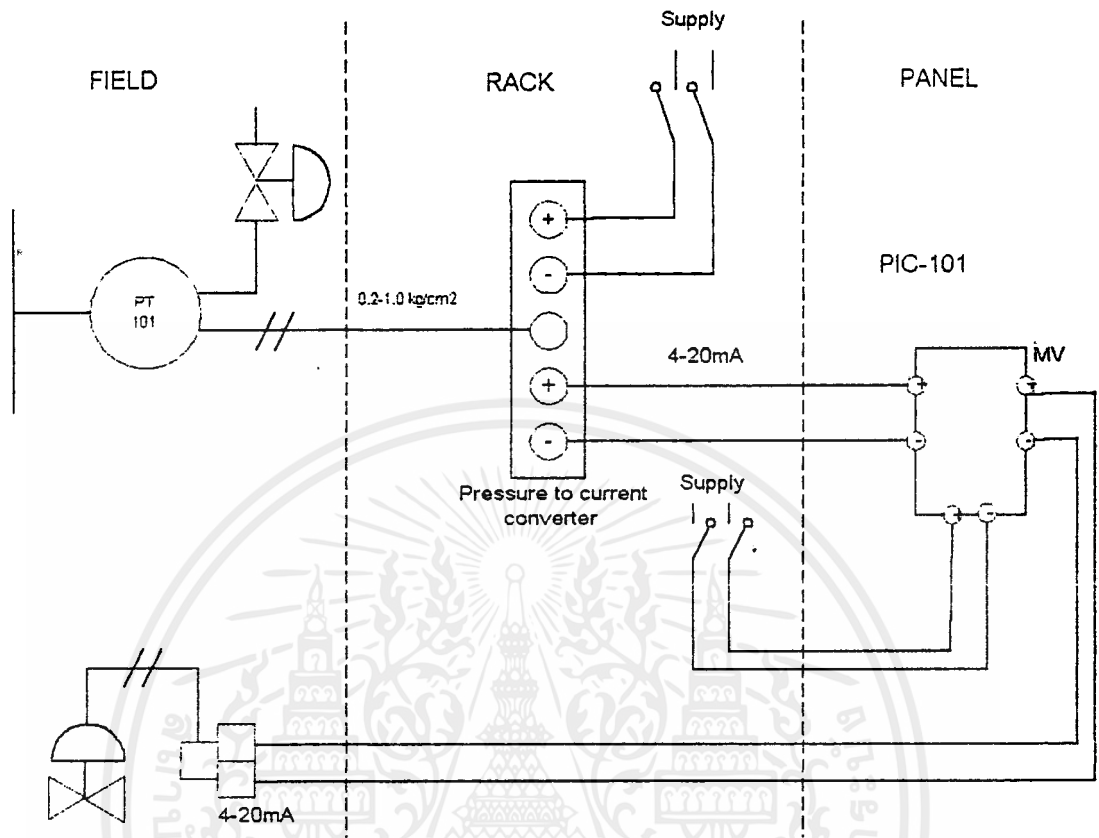
จากข้อดีและข้อเสียของทั้ง 2 ระบบที่กล่าวมาข้างต้นเราอาจกล่าวได้ว่าไม่ว่าจะเป็นการแปลงสัญญาณจาก สัญญาณนิวแมติกส์ เป็นสัญญาณไฟฟ้าหรือ สัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณนิวแมติกส์ต่างก็มีความสำคัญทั้งสิ้นเนื่องจากสัญญาณเหล่านี้เป็นสัญญาณที่ใช้ในการควบคุมระบบการทำงานต่างๆ อย่างมีประสิทธิภาพ หากสัญญาณเหล่านี้เกิดผิดพลาด การควบคุมที่กระทำโดยสัญญาณเหล่านี้ก็จะเกิดความผิดพลาดตามมด้วย อุปกรณ์ในการควบคุมสัญญาณ

เหล่านี้ย่อมมีประสิทธิภาพจึงมีความสำคัญอย่างมากในระบบปัจจุบัน ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าวที่ใช้แปลงสัญญาณหนึ่งไปเป็นอีกสัญญาณหนึ่งเราจะเรียกกันโดยทั่วไปว่า ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) เช่น ตัวแปลงสัญญาณกระแสไฟฟ้าเป็นสัญญาณนิวแมติกส์ เราเรียกว่า I/P Transducer

จากรูปที่ 1.1 สายที่ออกจาก (Transmitter) เครื่องวัดและแปลงค่าสัญญาณ ต่างๆ จะโยงไปยังส่วนของ พาแนล (Panel) และสายที่ออกจากส่วนของพาแนล(Panel) จะถูกส่งไปยังคอนโทรลวาล์ว (Control valve) เพื่อควบคุมความดัน, อุณหภูมิ หรือ อัตราการไหล หรือ สัญญาณอื่นๆ ขึ้นอยู่กับลักษณะและความต้องการของระบบอุตสาหกรรมนั้นๆ ซึ่งในปัจจุบัน ส่วนของพาแนล (Panel) ของระบบนี้ไม่ค่อยผลิตออกมา ดังนั้นหากเกิดการชำรุดการเปลี่ยนแปลงต่างๆ คงทำได้ยาก ดังนั้นจึงต้องมีการนำระบบอิเล็กทรอนิกส์ มาประยุกต์ใช้เพื่อลดค่าใช้จ่ายและทดแทนในส่วนของอะไหล่ หรือส่วนที่ชำรุด ซึ่งหาได้ยากในปัจจุบัน



รูปที่ 1.1 แสดงระบบอุตสาหกรรมแบบเก่าซึ่งใช้ระบบนิวแมติกส์เป็นส่วนใหญ่



รูปที่ 1.2 แสดงการเชื่อมต่อ ระบบแบบเก่า คือ ระบบนิวแมติกส์ กับ ระบบแบบใหม่ คือ ระบบอิเล็กทรอนิกส์

ในระบบแบบใหม่ซึ่งมีการนำระบบ อิเล็กทรอนิกส์มาใช้ในระบบที่ยังคงใช้ระบบการทำงานของโรงงานแบบเก่าจะมีระบบการทำงานดังนี้

จากรูปที่ 1.2 ส่วนของ แร็ค อินสตรูเมนต์ (Rack Instrument) จะทำหน้าที่แปลงค่าความดันที่ออกมาจาก ทรานสมิตเตอร์ (Transmitter) โดยผ่าน เครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นสัญญาณกระแส (P/I Converter) ไปยัง ตัวควบคุม (Controller) หรือ อินดิเคเตอร์ (Indicator) หลังจากนั้นจึงส่งสัญญาณควบคุมไปยัง คอนโทรลวาล์ว (Control valve) ต่อไป

## การประยุกต์ใช้

ตั้งแต่ที่กล่าวมาแล้วในระบบ เครื่องมือวัด (Instrument) ในปัจจุบันมีแนวโน้มจะเปลี่ยนจากระบบเก่าทั้งหมดเป็น ระบบ ดิจิตอล (Digital) โดยสมบูรณ์แบบซึ่งเราสามารถตั้งข้อสังเกตถึงแนวโน้มในด้านต่างๆได้ดังนี้

### ด้าน เครื่องมือวัด (Instrument )

- (1) ตัวบันทึกค่า (Recorder)
- (2) ตัวควบคุม (Controller)
- (3) อินดิเคเตอร์ (Indicator) ฯลฯ

### ด้าน แรค อินสตรูเมนต์ (Rack Instrument )

- (1) เครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นสัญญาณกระแส , เครื่องแปลงสัญญาณกระแสเป็นสัญญาณความดัน
- (2) แหล่งจ่ายไฟ (Power supply)

### ด้าน ฟิวด์อินสตรูเมนต์ (Field Instrument )

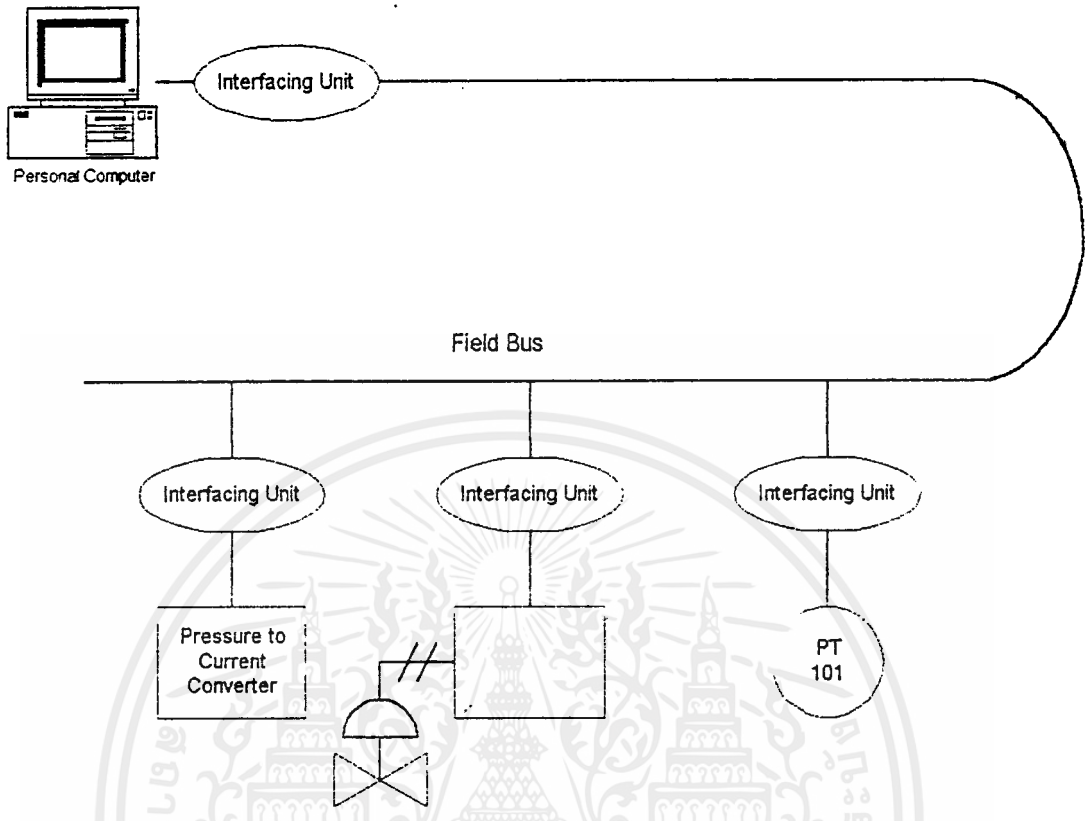
- (1) คอนโทรลวาล์ว (Control valve )
- (2) ดีพี เซลล์ ( DP cell)

ในระบบ เครื่องมือวัด จะใช้ระบบ ดาต้าคอม (Datacom) เพื่อติดต่อเชื่อมโยงกับคอมพิวเตอร์ และ ตัวควบคุม หรือ ระบบการควบคุมแบบกระจาย [DCS (Distribute control system)] ดังรูปที่ 1.3

การกระทำดังกล่าวมีวัตถุประสงค์ดังนี้

- ลดต้นทุนในด้านต่างๆ เช่น การจ้างแรงงานในการเดินสายไฟและติดตั้งอุปกรณ์ ฯลฯ
- วิศวกรสามารถทำงานในด้านต่างๆได้โดยง่าย เช่น
  - การปรับแต่ง (Calibrate)
  - ควบคุมค่าต่างๆได้จากห้องคอนโทรล ด้วยระบบการควบคุมแบบกระจาย (DCS)
  - ลดจำนวนสายไฟในระบบ

ในระบบ ดิจิตอล ที่พัฒนาสูงสุดในปัจจุบันจะใช้ระบบ ดาต้าคอม (Datacom) ในรูปของวง แลน (LAN) ดังรูปที่ 1.3 ซึ่งทำให้ประหยัดกว่าระบบแบบเดิม (ดังรูปที่1.2) ในระบบแบบเดิมใน 1 ลูบนั้นจะใช้สายต่ออย่างน้อย 4 เส้น (ซึ่งยังไม่รวมถึงสาย รีเลย์ [Relay] ต่างๆ) และหากเป็นโรงงานใหญ่จำนวนลูบที่ใช้ในระบบมีไม่ต่ำกว่า 1000 ลูบ ค่าใช้จ่ายเฉพาะด้านสายต่อจะมีค่าสูงมาก รวมถึงเกิดปัญหาด้านความซับซ้อนในการติดตั้งและออกแบบ



รูปที่ 1.3 แสดงการควบคุมแบบกระจายโดยใช้ ระบบดาต้าคอม (Datacom)

การทำงานของระบบในรูปที่ 1.3 นั้นคอมพิวเตอร์จะเป็นตัวกลางในการควบคุมซึ่งจะส่งการควบคุมไปยังทุก ๆ ส่วนรวมทั้งทรานสมิตเตอร์ และคอนโทรลเลอร์อื่น ๆ (Transmitter, Controller) โดยการควบคุมจะผ่านทาง วงแลน (LAN) และ ทรานสมิตเตอร์และคอนโทรลเลอร์อื่น ๆ (Transmitter, Controller) จะทำการจัมป์สายต่างๆเข้ามาเชื่อมที่วงแลน (LAN) โดยส่งข้อมูลเป็นสัญญาณ ดิจิตอล ซึ่งเราต้องทำการแปลงสัญญาณอนาลอก (Analog) เป็นสัญญาณ ดิจิตอล (Digital) โดยผ่านวงจร แปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณ ดิจิตอล เช่น สัญญาณจาก ทรานสดิวเซอร์ (Transducer) ต่างๆจะออกมาเป็นค่ากระแส 4-20 มิลลิแอมป์ ก็จะทำการแปลงค่าสัญญาณกระแสที่ได้นี้เป็นสัญญาณ ดิจิตอล 8 บิตหรือ 10 บิต (หรือ มากกว่าก็ได้ซึ่งการแปลงเป็นสัญญาณ 8 บิตและ 10 บิตนั้นได้รับความนิยมมากกว่าในปัจจุบัน) โดยส่งผ่านทางพอร์ตต่างๆแล้วแต่ข้อกำหนดของหน่วยงานหรือบริษัทใดๆเช่น พอร์ต RS232 ฯลฯ เพื่อส่ง ข้อมูล ไปยังคอมพิวเตอร์ (PC) เพื่อทำการควบคุมต่อไป

โครงการนี้เป็นการประยุกต์และสร้างอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อที่จะเชื่อมสัญญาณควบคุมแบบ นิวแมติกส์ (Pneumatic) และ สัญญาณควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics) ให้สามารถทำ

งานร่วมกันได้ โดยทำการแปลงค่าแรงดันลงในระบบ นิวแมติกส์ให้เป็นค่าสัญญาณ แรงดันไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า และสัญญาณดิจิทัลตามลำดับ และทำการอินเทอร์เฟสโดยใช้การส่งข้อมูลแบบอนุกรม RS232 เพื่อเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์และแสดงค่าออกมา เป็นระดับความดันในรูปของตัวเลขและกราฟ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ก็จะถูกบันทึกเก็บไว้ใน คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เพื่อนำไปทำการวิเคราะห์ระบบการผลิตต่อไป

### วัตถุประสงค์

1. ช่วยให้ระบบนิวแมติกส์และ ระบบอิเล็กทรอนิกส์สามารถทำงานร่วมกันได้ โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงระบบนิวแมติกส์ให้เป็น ระบบอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมด
2. พัฒนาเครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นสัญญาณกระแส ให้มีราคาถูกลงกว่าเครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นสัญญาณกระแส ที่ผลิตออกจำหน่ายอยู่
3. ศึกษาและพัฒนา รูปแบบของเครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นสัญญาณกระแสให้มีประสิทธิภาพดีกว่าเครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นสัญญาณกระแสที่มีจำหน่ายอยู่
4. นำสัญญาณที่แปลงออกมาไปใช้งานได้จริง

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและหลักการ

#### ภาคทฤษฎีสตริงเซอร์

ไอซี MPX-200 เป็นไอซีที่ใช้ในส่วนของการแปลงสัญญาณความดันออกมาเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า ซึ่งค่าแรงดันไฟฟ้าที่ออกมานั้นมีค่าที่แน่นอนและมีลักษณะความเป็นเชิงเส้น และมีราคาไม่สูงนัก

ไอซี MPX นี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ดังนี้

- ตัวควบคุม ปั๊มหรือมอเตอร์ (Pump/Motor Controller)
- ส่วนประกอบของหุ่นยนต์ (Robotics)
- เครื่องแสดงระดับความดัน (Level Indicators)
- บารอมิเตอร์ (Barometer)
- อัลติมิเตอร์ (Altimeter)
- ตัวเชื่อมต่อสวิทช์ความดัน (Pressure Switching)

การนำไปใช้งานเราสามารถตรวจสอบได้จาก ตารางที่ (Datasheet) ดังนี้

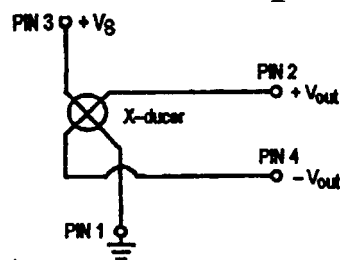
ขา 1 ต่อกับสัญญาณ กราวด์ (Ground)

ขา 2 ต่อกับสัญญาณ เอาท์พุทซึ่งมีลักษณะเป็น แรงดันต้านบวก (+Vout)

ขา 3 ต่อกับสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟ (Power Supply) 5 โวลท์

ขา 4 ต่อกับสัญญาณ เอาท์พุทซึ่งมีลักษณะเป็น แรงดันต้านลบ (-Vout)

เซนเซอร์ที่ใช้เป็นแบบ MPX200DP ซึ่งเป็นแบบ ดิฟเฟอเรนเชียลพอร์ตคือ จะทำการเปรียบเทียบแรงดันของพอร์ตอินพุต 2 พอร์ตซึ่งพอร์ตแรกเรียกว่า โพลีทีฟพอร์ต (Positive Pressure Port) และพอร์ตที่สองเรียกว่า แวกคัมพอร์ต (Vacuum Port) โดยทำการจ่ายค่าสัญญาณความดันลมเข้าที่พอร์ต โพลีทีฟส่วนพอร์ตแวกคัมปล่อยให้ เพื่อให้การวัดความดันของสัญญาณอินพุตจะเป็นการเปรียบเทียบกับความดันของบรรยากาศ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงการใช้งานของขาต่างๆของ ไอซี MPX-200

ส่วนวงจรขยายชนิดดิฟเฟอเรนเชียล อินสตรูเมนเทชัน  
พื้นฐานของวงจรดิฟเฟอเรนเชียล

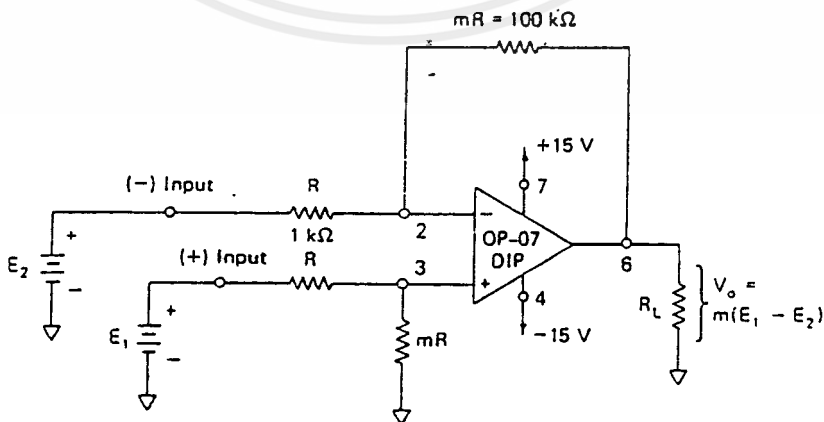
1. กล่าวนำ

วงจรถ่ายดิฟเฟอเรนเชียลนี้จะนำมาใช้ในการตรวจวัดได้ หรือจะนำมาใช้ขยายสัญญาณขนาดเล็กได้ โดยสัญญาณขนาดเล็กนี้หมายถึงสัญญาณแรงดันที่มีขนาดน้อยกว่า 10 มิลลิโวลต์ลงไป สำหรับหัวข้อนี้จะพูดถึงการสร้างและการวิเคราะห์คุณสมบัติของวงจร และเรื่องการทำงานของวงจรถ่ายดิฟเฟอเรนเชียลต่อไปในหัวข้อที่ 2

ในรูปที่ 2.2 ตัวต้านทานมีค่าคลาดเคลื่อนน้อยมาก (1 %) ต่อเข้ากับออปแอมป์ เพื่อทำเป็นวงจรถ่ายดิฟเฟอเรนเชียล หรือวงจรถ่ายค่าแตกต่าง ถ้า E1 ถูกแทนด้วยการลัดวงจร วงจรถ่ายจะเป็นวงจรถ่ายแบบอินเวอร์ตติ้งจะให้ค่าขยายเท่ากับ -m เท่าของแรงดัน E2 หรือ -mE2 แต่ในกรณีที่ E2 ถูกแทนด้วยการลัดวงจรแรงดัน E1 จะถูกแบ่งโดย R และ mR จนเหลือเพียง E1 m(1+m) ที่ขาบวกของออปแอมป์ เมื่อมองวงจรถ่ายเป็นวงจรถ่ายแบบนอนอินเวอร์ตติ้ง เราจะได้ค่าขยายเท่ากับ (m+1) เท่าของแรงดัน E1 หรือประมาณเท่ากับ mE1 ดังนั้นถ้าทั้ง E1 และ E2 ปรากฏอยู่ที่ขาทั้งสองของออปแอมป์ ค่าแรงดันเอาต์พุตจะเท่ากับ  $V_O = mE_1 - mE_2$  หรือเป็นดังสมการต่อไปนี้

$$V_O = mE_1 - mE_2 = m(E_1 - E_2) \text{ ----- (1)}$$

จากสมการที่ (1) ทำให้สรุปได้ว่า แรงดันเอาต์พุตสำหรับวงจรถ่ายดิฟเฟอเรนเชียลสำหรับวงจรถ่ายดิฟเฟอเรนเชียลหรือ  $V_O$  จะเป็นค่าแรงดันที่แตกต่างที่ป้อนเข้าสู่ขาบวกและลบของออปแอมป์คูณกับอัตราขยาย

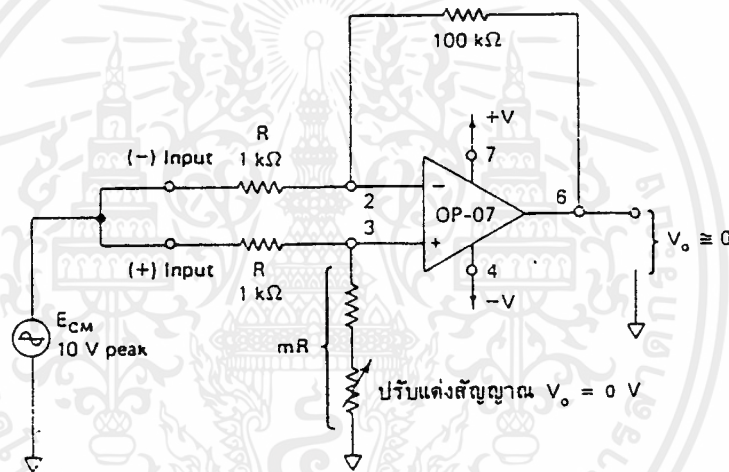


รูปที่ 2.2 แสดงพื้นฐานของวงจรถ่ายดิฟเฟอเรนเชียล

จากสมการดังกล่าว และข้อสมมติที่เราได้คิดขึ้น เราจะพบได้ว่าเมื่อแรงดันอินพุตทั้งสองนี้มีค่าเท่ากันจะทำให้แรงดันคิฟเฟอเรนเชียลหรือ แรงดันค่าแตกต่างมีค่าเป็นศูนย์เหมือนกัน ซึ่งในหัวข้อถัดไปจะแสดงรายละเอียดในเรื่องนี้ให้มากขึ้น

## 2. แรงดันแบบคอมมอนโหมด

แรงดันเอาท์พุทของออปแอมป์ควรจะเป็น 0 โวลต์เมื่อ E1 และ E2 วิธีการที่จะทำให้แรงดันอินพุตทั้งสองเท่ากันได้ง่ายที่สุดก็คือ การรวบรวมปลายอินพุตแบบคอมมอนโหมด (common-mode input voltage) ซึ่งคือการที่ ผู้กรวบขาอินพุตทั้งสองเข้าด้วยกันเพื่อไม่ให้มีความแตกต่าง



รูปที่ 2.3 อัตรายขยายแรงดันแบบคอมมอนโหมดควรจะเป็นศูนย์เสมอ

ดังนั้นแรงดัน  $V_o$  ควรจะมีค่าเป็นศูนย์ถ้าอัตราส่วนระหว่างตัวต้านทานเท่ากัน (ระหว่างอัตรายขยายชนิดอินเวอร์ตติงที่มาจากค่าของ  $mR$  และ  $R$  กับเนตเวิร์ก การแบ่งแรงดันที่เกิดจากค่า  $mR$  และ  $R$ ) ซึ่งผลดังกล่าวทำให้เกิดอัตรายขยายแรงดันแบบคอมมอนโหมด หรือ  $V_o/E_{cm}$  (common-mode voltage gain) ที่มีค่าเท่ากับศูนย์ หนึ่งในทางปฏิบัติเพื่อที่จะให้ได้ค่าที่ถูกต้องสัดส่วนของตัวต้านทานสอง ชุดนี้ควรจะเท่ากัน ซึ่งยากที่จะทราบค่าที่แท้จริงได้ ดังนั้นจึงต้องใช้ตัวต้านทานที่สามารถปรับค่าได้หนึ่งตัว ณ ตำแหน่ง  $mR$  เพื่อใช้ในการปรับค่าจนกว่าจะได้ค่า  $V_o$  เท่ากับศูนย์ โวลต์ ซึ่งตรงนี้เองที่เป็นคุณสมบัติของวงจรรขยายคิฟเฟอเรนเชียลที่ถูกต้อง และเหมาะสมกับการใช้งานจริง

### 3. การพัฒนางจรติฟเฟอเรนเชียลทั่วไปให้ดีขึ้น

#### 3.1 เพิ่มความต้านทานทางต้านอินพุต

มีข้อเสียของวงจรมติฟเฟอเรนเชียลทั่วไปที่เราได้ศึกษามาก่อนหน้านี้แล้ว สองประการ ซึ่งก็คือ มีความต้านทานอินพุตที่ต่ำ และการปรับเปลี่ยนอัตราขยายก็เป็นไปโดยยาก ทั้งนี้เพราะอัตราส่วนของตัวต้านทานทั้งด้านขาลบ และขาบวกของออปแอมป์จะต้องมีสัดส่วนที่เท่ากันมากที่สุด

สำหรับวิธีการแก้ปัญหาในกรณีแรก เราสามารถแก้ไขโดยการใส่บัฟเฟอร์เข้าที่อินพุตของวงจรมติฟเฟอเรนเชียล (วงจรมติฟเฟอเรนเชียล หรือวงจรมติฟเฟอเรนเชียลจะเป็นวงจรมติฟเฟอเรนเชียลที่มีความต้านทานอินพุตสูงมาก) โดยวงจรมติฟเฟอเรนเชียลจะประกอบด้วย ออปแอมป์ 2 ตัว ดังรูปที่ 2.4(ก) เอาท์พุตของออปแอมป์ A1 จะมีค่าเป็น  $E_1$  และเอาท์พุตของออปแอมป์ A2 จะมีค่าเป็น  $E_2$  เมื่อเทียบกับกราวด์ สำหรับแรงดัน  $V_0$  ที่ตกคร่อม  $R_i$  จะเป็นแรงดันที่เกิดจากความแตกต่างระหว่าง  $E_1$  และ  $E_2$  ซึ่งเป็นแรงดันที่เราต้องการวัดนั่นเอง

#### 3.2 ค่าอัตราขยายที่ปรับได้

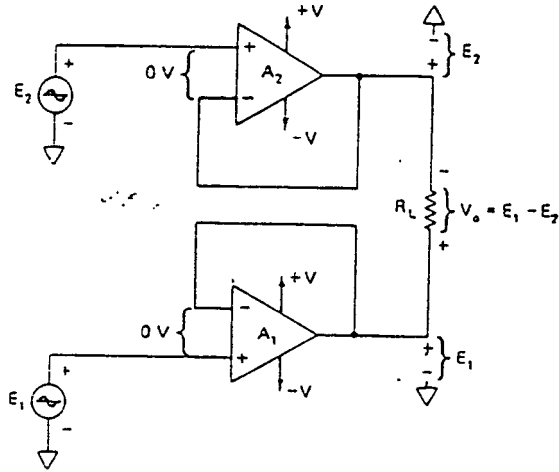
สำหรับข้อเสียประการที่ 2 ของวงจรมติฟเฟอเรนเชียลคือ การที่วงจรมติฟเฟอเรนเชียลไม่สามารถปรับเปลี่ยนอัตราขยายได้โดยง่าย อย่างไรก็ตาม ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการ ใช้ตัวต้านทานเพียง 3 ตัวเท่านั้น โดยการใช้วงจรมติฟเฟอเรนเชียลที่ 2.4(ก) มาต่อที่ตัวต้านทานเพิ่มดังรูปที่ 2.4(ข) เนื่องจากแรงดันที่ขาบวกและขาลบของออปแอมป์จะมีค่าเท่ากันเสมอ แรงดันที่จุด 1 และ จุด 2 (เมื่อเทียบกับกราวด์) ก็จะมีค่าเป็น  $E_1$  และ  $E_2$  ตามลำดับ และนั่นเองทำให้แรงดันตกคร่อมตัวต้านทาน  $aR$  (อาจแทนด้วย ตัวต้านทานที่สามารถปรับค่าได้หรือไม่ก็ได้) มีค่าเท่ากับ  $E_1 - E_2$  ดังนั้นกระแสที่ไหลผ่านจะมีค่าดังสมการต่อไปนี้

$$I = (E_1 - E_2) / aR \text{ ----- (2)}$$

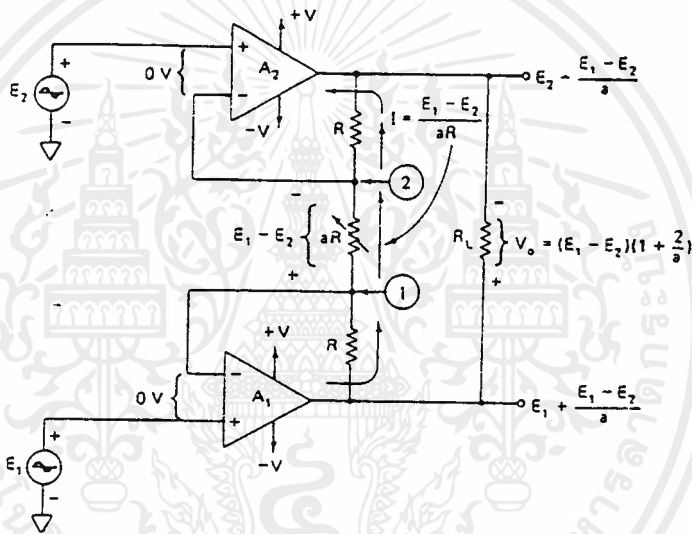
เมื่อ  $E_1$  มีค่ามากกว่า  $E_2$  ทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าจะเป็นดังรูปที่ 2.4(ข) ดังนั้นแรงดันที่ตกคร่อมที่ตัวต้านทานทั้งสามจะมีค่าเท่ากับ

$$V_0 = (E_1 - E_2) (1 + 2/a) \text{ ----- (3)}$$

$$\text{เมื่อ } a = aR/R$$



รูป (ก) วงจรขยายที่ให้เอาต์พุตเป็นแรงดันดิฟเฟอเรนเชียล โดยต้านหน้าของวงจร หรือที่อินพุตเป็นวงจรบัฟเฟอร์



รูป (ข) การตัดแปลงวงจรในรูป (ก) ให้สามารถปรับค่าอัตราขยายได้

รูปที่ 2.4 การพัฒนางจรขยายดิฟเฟอเรนเชียลทั่วไปให้ดีขึ้น

**สรุป** การที่จะเปลี่ยนอัตราขยายของวงจรนี้ได้ จทำได้โดยการปรับค่าของตัวต้านทาน  $aR$  นั้นเอง อย่างไรก็ตาม วงจรนี้ยังมีข้อเสียอยู่อีกประการหนึ่งคือ วงจรบัฟเฟอร์จะใช้ได้กับ โหลดลอยเหนือกาวาน์ (Floating Load) เท่านั้น ถ้าต้องการวงจรให้มีโหลดเอาต์พุตเป็นตัวต้านทานถูกต่อเข้ากับกราว์น หรือที่เรียกว่า กราว์นโหลด (Grounded Load) วงจรนี้จะต้องมีการเพิ่มวงจรอินเวอร์ตติ้งแอมป์เข้าไปอีกชั้นหนึ่งดังที่เรากำลังจะกล่าวในหัวข้อต่อไป ซึ่งเป็นวงจรที่เรียกว่า วงจรขยายเพื่อการเป็นเครื่องตรวจวัด

4.1 การทำงานของวงจร

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วตั้งแต่ในตอนต้นว่า วงจรขยายอินสตรูเมนเทชัน เป็นวงจรที่มีประสิทธิภาพสูง ดังนั้นราคาจึงค่อนข้างจะสูงกว่าวงจรปกติทั่วไป (อาจเป็นเพราะต้องใช้ ออปแอมป์จำนวนที่มากกว่า และ ออปแอมป์ที่นำมาใช้ตลอดจนตัวต้านทานต้องเป็นชนิดที่มีค่า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผิดพลาดต่ำมาก) หนึ่ง ในปัจจุบันไอซีประเภทแสวงหาข้อมูล (Data Acquisition) จะมีการนำวงจรชนิดนี้มาใช้ประยุกต์ใช้ภายในทุกตัวอย่างอย่างน้อย 1 วงจรเสมอ

จริงๆแล้ว เราสามารถนำออปแอมป์ 3 ตัวมาต่อกันเป็น วงจรขยายอินสตรูเมนเทชันชนิดนี้ได้ ดังรูปที่ 2.4 (แม้จะไม่ดีเท่ากับ ไอซี หรือ ไอซีชิปที่ออกแบบมาเพื่อใช้กับงานนี้โดยเฉพาะ) การออกแบบตัววงจรจะเป็นการออกแบบเพิ่มจากวงจรในรูปที่ 2.4(ข) โดยนำวงจรในรูปที่ 2.2 มาต่อเพิ่ม ข้อสังเกตที่สำคัญคือ ก่อนที่จะมีการนำวงจรในส่วนที่เป็นของรูปที่ 2.4(ข) มาต่อเข้ากับวงจรในรูปที่ 2.2 ซึ่งมีอัตราขยายเท่ากับ 1 เท่า เราควรมีการปรับค่าวงจรในรูปที่ 2.2 ที่แรงดันคอมมอน จนกระทั่งได้แรงดันเอาต์พุตเป็น 0 โวลท์ (โดยปรับค่าที่ R')

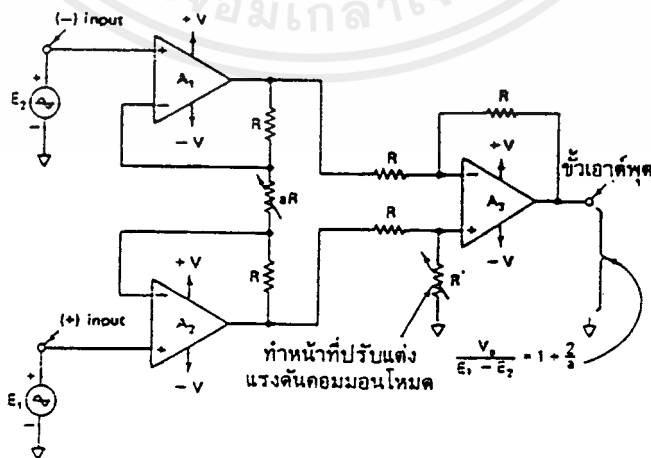
สำหรับสมการที่ 3 เราอาจจะนำมาเขียนใหม่ให้สะดวกขึ้นดังนี้

$$V_O / ( E_1 - E_2 ) = 1 + 2a \text{ ----- (4)}$$

เมื่อ a เท่ากับ aR/R

และเมื่อ E1 ถูกป้อนเข้าที่ขาบวกของออปแอมป์ ในขณะที่ E2 ป้อนเข้าที่ขาลบ เราจะได้คุณสมบัติโดยย่อของวงจขยาย อินสตรูเมนเทชันดังนี้

1. อัตราขยายแรงดันซึ่งจะนำมาคูณกับค่า E1-E2 จะกำหนดได้โดย ตัวต้านทานเพียงหนึ่ง
2. ความต้านทานทางค่านินพุตจะมีค่าสูงมาก และไม่เปลี่ยนแปลงอัตราขยาย ในขณะที่ออปแอมป์ธรรมดาทั่วไป จะมีการเปลี่ยนแปลง
3. VO ไม่ขึ้นอยู่กั บ แรงดันคอมมอน ที่มาจากทั้ง E1 และ E2 เลย แต่จะเป็นผลที่ขึ้นกับค่าของแรงดันแตกต่างหรือ แรงดันดิฟเฟอเรนเชียลเท่านั้น



รูปที่ 2.5 วงจรขยายอินสตรูเมนเทชัน

ภาคแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้า เป็น สัญญาณกระแสไฟฟ้า

(Voltage to Current Converter)

เป็นวงจรแหล่งกำเนิดกระแสคงที่ (Constant Current Source) มีอยู่ 2 ชนิด

1. แบบภาระลอย (Voltage to Current Converter with Floating Load) ดังรูปที่

2.6 จากสมการ แรงดันเคอร์ชอฟ

$$V_{in} = V_{id} + V_f$$

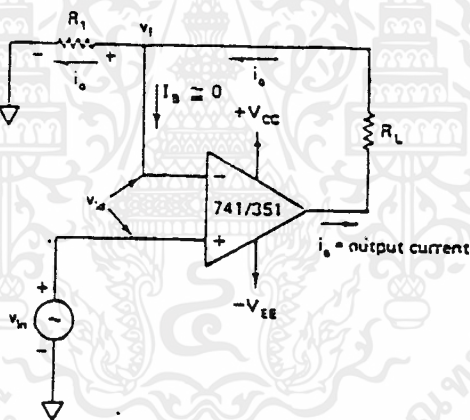
แต่  $V_{id} \approx 0$

$$V_{in} = V_f$$

$$V_{in} = R_1 (I_{output})$$

$$(I_{output}) = V_{in} / R_1$$

แรงดันอินพุต  $V_{in}$  จะแปรโดยตรงกับกระแสเอาต์พุต  $V_{in} / R_1$



รูปที่ 2.6 วงจรแปลงสัญญาณแรงดัน เป็น สัญญาณกระแส แบบภาระลอย

2.แบบภาระลงดิน (Voltage to Current Converter with Grounded Load) ดังรูป

2.7 จากสมการ กระแสของ เคอร์ชอฟ

ที่ โหนด (Node) V1

$$I_1 + I_2 = I_L$$

$$(V_{in} - V_1) / R + (V_0 - V_1) / R = I_L$$

$$V_{in} + V_0 - 2V_1 = I_L R$$

$$\text{ดังนั้น } V_1 = (V_{in} + V_0 - I_L R) / 2$$

เมื่อต่อแบบนอนอินเวอร์ต อัตรายขยายจะได้

$$(1+R) / R = 2$$

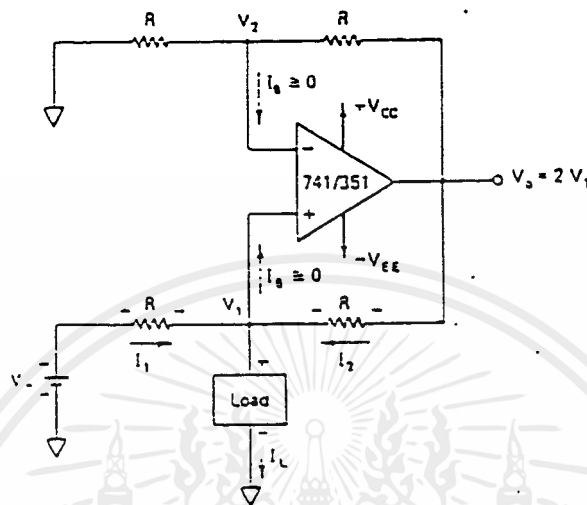
ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตจะได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$V_0 = 2V_1 = V_{in} + V_0 - I_L R$$

$$\text{ฉะนั้น } V_{in} = I_L R$$

$$I_L = V_{in} / R$$



รูปที่ 2.7 วงจรแปลงสัญญาณแรงดัน เป็น สัญญาณกระแส แบบการละงคืน

## ส่วนอินเตอร์เฟซ

### การอินเตอร์เฟซ

การส่งข้อมูลอยู่เฉพาะภายในเครื่องคอมพิวเตอร์สามารถทำได้ง่าย เนื่องจากเราสามารถคาดเดาสภาพแวดล้อมภายในเครื่องได้ แต่ในการส่งข้อมูลสู่ภายนอก เราไม่สามารถคาดการณ์ได้ว่าเครื่องคอมพิวเตอร์และตัวข้อมูลจะต้องพบกับสภาพเช่นไรและจะมีผลกระทบต่อตัวข้อมูลและเครื่องคอมพิวเตอร์อย่างไร ดังนั้นในการออกแบบบางจรจึงมีสิ่งที่จะต้องพิจารณาคือ เราจะต้องหาวิธีในการแยกข้อมูลออกจากสภาพแวดล้อมและสัญญาณรบกวนโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีสายส่งข้อมูลขนาดใหญ่ สิ่งที่จะต้องพิจารณาคือ สิ่งหนึ่งคือ เราต้องหาวิธีการป้องกันคอมพิวเตอร์จากสภาพแวดล้อมไม่พึงประสงค์ด้วย นั่นก็คือเราจะต้องมีตัวอินเตอร์เฟซ ซึ่งมีหน้าที่เป็นจุดเชื่อมระหว่างคอมพิวเตอร์กับสิ่งแวดล้อมภายนอก และเนื่องจากอุปกรณ์อินเตอร์เฟซมีหน้าที่คล้ายกับเป็นประตูของเครื่องคอมพิวเตอร์ บางครั้งมันจึงถูกเรียกว่า I/O พอร์ต (I/O port) หรือบางครั้งก็เรียกกันสั้น ๆ ว่า พอร์ต (port)

การป้องกันอุปกรณ์เป็นเพียงจุดมุ่งหมายหนึ่งในจุดมุ่งหมายหลาย ๆ อย่างของการอินเตอร์เฟซ แต่วัตถุประสงค์หลักของการอินเตอร์เฟซก็คือ การใช้อุปกรณ์อินเตอร์เฟซเป็นสื่อกลางของการส่งข้อมูล และวัตถุประสงค์ที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งของการอินเตอร์เฟซก็คือ ความง่ายต่อการใช้งาน หากเราสามารถสร้างวงจรที่สามารถป้องกันเครื่องคอมพิวเตอร์และข้อมูลได้ แต่ใช้งานได้ยาก วงจรอินเตอร์เฟซนี้ก็แทบจะไม่มีประโยชน์เลย เพราะมันไม่ได้เพิ่ม

ความสะดวกต่อผู้ใช้ ในการออกแบบวงจรป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายจากการใช้งานที่ไม่ถูกต้องนั้นทำได้ง่าย แต่การออกแบบวงจรที่ง่ายต่อการใช้งานจะต้องอาศัยความสามารถอย่างมากทีเดียว

เมื่อสามารถทำการอินเทอร์เฟซได้สำเร็จ เราก็สามารถที่จะส่งข้อมูลสู่ภายนอกได้ แต่ก็มีปัญหาใหม่เกิดขึ้นอีก ปัญหาอันแรกที่เราเห็นได้ชัดก็คือ หากต้องมีการส่งข้อมูลในระยะทางไกล ค่าใช้จ่ายของสายไฟจะสูงมากทีเดียว ในการส่งข้อมูลแบบขนานจะต้องใช้ไฟอย่างน้อยถึง 9 เส้น โดยแปดเส้นสำหรับตัวข้อมูล และอีกหนึ่งเป็นเส้นอ้างอิงของวงจร และโดยทั่วไปแล้วยังต้องมีสายอื่นๆ ที่ใช้ในการควบคุมการไหลของข้อมูลข้ามอินเทอร์เฟซ ใครก็ตามที่ได้เคยทำสายอินเทอร์เฟซแบบขนานมาบ้างแล้ว ก็คงทราบดีว่าการทำงานกับสายไฟสักราว 30 เส้นนั้นนอกจากจะมีค่าใช้จ่ายสูงแล้ว ยังมีความยุ่งยากและน่าเบื่ออีกด้วย ปัญหาอย่างหนึ่งของการส่งข้อมูลแบบขนานคือ คุณสมบัติของบิตกับแรงดัน เวลาที่บิตหรือแรงดันไฟฟ้าใช้ในการเปลี่ยนสถานะจากหนึ่งเป็นศูนย์นั้นสั้นมาก โดยเรากำลังพูดถึงนาโนวินาที (หนึ่งในพันล้านของวินาที) การเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วนี้เป็นส่วนที่สำคัญมากต่อขั้นตอนการส่งข้อมูล เพราะการเปลี่ยนแปลงระหว่างศูนย์และหนึ่งอย่างช้าๆ จะไม่ถูกอ่านเป็นข้อมูลเลย และเมื่อสายไฟที่ใช้ส่งข้อมูลยาวขึ้น คุณสมบัติทางไฟฟ้าของสายไฟเช่นค่าความจุไฟฟ้าและค่าความเหนี่ยวนำจะจำกัดความเร็วในการเปลี่ยนแปลงระหว่างศูนย์และหนึ่งของบิต ซึ่งจะทำให้ข้อมูลอาจสูญหายหรือทำการส่งข้อมูลล้มเหลวได้ ดังนั้นการส่งข้อมูลบนสายยาวอาจเป็นปัญหาได้หากใช้วิธีการโอนย้ายแบบขนาน

เนื่องจากข้อเสียของการส่งข้อมูลแบบขนานทั้งสองอย่างคือ ค่าใช้จ่ายที่สูงและการสูญหายของข้อมูล ทำให้การใช้งานของมันถูกจำกัดอยู่กับอุปกรณ์เพียงไม่กี่ชนิด เช่นเครื่องพิมพ์ที่มักจะอยู่ใกล้กับเครื่องคอมพิวเตอร์และต้องทำงานที่ความเร็วสูง แต่เรายังใช้วิธีการส่งข้อมูลแบบขนานนี้ภายในเครื่องคอมพิวเตอร์เนื่องจากไม่ต้องใช้สายไฟขนาดยาว

เห็นได้ชัดว่าเราต้องการวิธีการส่งข้อมูลที่มีราคาถูกและทนทานกว่านี้ และเพื่อให้สามารถแข่งขันกับวิธีการแบบเก่าได้ วิธีการใหม่จะต้องมีการพัฒนาคำนวณราคาและขนาดอย่างมาก โดยในขณะเดียวกันก็ต้องสามารถคงความถูกต้องของข้อมูลได้ด้วย

ทางเลือกอีกทางหนึ่งแทนการส่งข้อมูลทุกบิตในเวลาเดียวกันที่ใช้สายไฟหลายเส้นก็คือการส่งข้อมูลที่ละบิตและข้อมูลจะถูกต่อรวมเข้าเป็นไบต์ใหม่ ด้วยวิธีการส่งข้อมูลที่ละบิตนี้ ทำให้เราสามารถใส่สายไฟเพียงสองเส้นในการส่งข้อมูล ซึ่งช่วยทำให้เราประหยัดค่าสายไฟได้มาก ซึ่งมีชื่อเรียกว่า การส่งข้อมูลแบบอนุกรม

น่าเสียดายที่การส่งข้อมูลด้วยวิธีใหม่นี้แม้จะช่วยให้เราประหยัดค่าใช้จ่ายได้ แต่ก็ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลงไปด้วย เพราะการส่งข้อมูลวิธีนี้ต้องใช้เวลานานขึ้นอย่างน้อยแปดเท่าของ การส่งข้อมูลแบบขนานแต่ ยังโชคดีที่ความเร็วที่ลดลงไปนี้ยังไม่ถือว่าเป็นขีดจำกัดที่สำคัญมากนักสำหรับการใช้งานทั่วไป หากพิจารณาที่อุปกรณ์ทั่วไป จะพบว่าลักษณะพ้องกันที่

น่าสนใจก็คือ อุปกรณ์ส่วนใหญ่ทำงานช้ามากเมื่อเทียบกับความเร็วในการทำงานภายในไมโครโปรเซสเซอร์ อุปกรณ์แต่ละตัวมีขั้นตอนการทำงานที่กินเวลานาน ซึ่งโดยทั่วไปมักจะเป็นกระบวนการทางกลไก(mechanic)ที่เป็นตัวจำกัดความเร็วของเครื่องลงไปอย่างมากดังนั้นความเร็วที่ได้ มาจากการส่งข้อมูลแบบขนานจะเสียไปโดยเปล่าประโยชน์เมื่อนำมาใช้กับอุปกรณ์ประเภทนี้ ดังนั้นการส่งข้อมูลแบบอนุกรมสามารถนำมาใช้งานได้แม้ว่าอัตราเร็วการส่งข้อมูลจะลดลงแต่ก็ยังสามารรถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์ประเภทนี้ได้โดยมีประสิทธิภาพ ข้อยเสียจากความเร็วที่ลดลงไปไม่อาจเทียบได้กับผลพวงที่ได้จากคุณภาพการส่งและระยะทางการส่งข้อมูลที่เพิ่มขึ้น

### มาตรฐานการอินเทอร์เฟซ RS-232

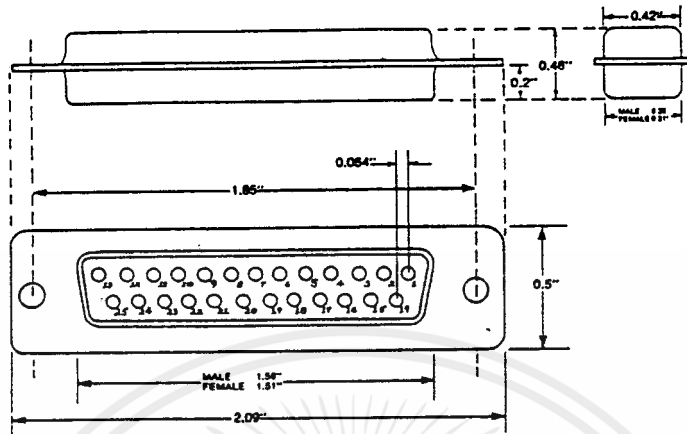
จากเหตุผลที่ได้อธิบาย จะเห็นได้ว่าเรามีความจำเป็นที่จะต้องมีความมาตรฐานการรับส่งข้อมูล ในปี 1969 EIA (Electronic Industries Association) ห้องวิจัย Bell และบรรดาผู้ผลิตอุปกรณ์สื่อสารได้ร่วมกันจัดตั้งมาตรฐาน EIA RS-232 ซึ่งต่อมาไม่นานนักก็ได้มีการปรับปรุงแก้ไขอีกเล็กน้อยกลายเป็น RS-232-C และเมื่อไม่นานมานี้ก็ได้ออกมาตราฐาน RS-232-D และยังมีมาตรฐานคล้ายกันซึ่งออกโดยองค์กรระหว่างประเทศคือ Consultative Committee on International Telegraphy and Telephony (CCITT) เพื่อให้เราสามารถเข้าใจกับการอินเทอร์เฟซ RS-232 ได้ดียิ่งขึ้น เราควรทำความเข้าใจกับวัตถุประสงค์หลักของ RS-232 ก่อน ซึ่งแสดงไว้อย่างชัดเจนในหัวข้อของเอกสารคือ

Interface Between Data Terminal Equipment and Data Communications Equipment Employing Serial Binary Data Interchange (การอินเทอร์เฟซระหว่างอุปกรณ์เทอร์มินัลและอุปกรณ์สื่อสารข้อมูลที่ใช้วิธีการแลกเปลี่ยนข้อมูลไบนารีแบบอนุกรม) ในเอกสารนี้ประกอบด้วยส่วนต่างๆ 4 ส่วนได้แก่

- 1.) คุณสมบัติทางไฟฟ้าของสัญญาณ (Electrical Signal Characteristics) ในส่วนนี้อธิบายถึงรูปแบบของสัญญาณไฟฟ้าที่ตัวอินเทอร์เฟซจะส่งออก และรับเข้ามาจากภายนอก ระดับแรงดันไฟฟ้าที่แสดงถึงตรรกะ 0 และ 1 ก็จะมีกำหนดไว้ในส่วนนี้ด้วย
- 2.) คุณสมบัติทางกลไกทางอินเทอร์เฟซ : คอนเนกเตอร์ (Interface Mechanical Characteristics : Connectors) ในหัวข้อนี้กำหนดว่าตัวอินเทอร์เฟซประกอบด้วยส่วนที่เป็นปลั๊ก (plug) และเต้าเสียบ (receptacle) และมีการเพิ่มข้อกำหนดคอนเนกเตอร์ DB-25 เข้าไว้ในมาตรฐานด้วย รายละเอียดของคอนเนกเตอร์ ได้ แสดงไว้ดังรูปที่ 11
- 3.) หน้าที่การทำงานของวงจรการแลกเปลี่ยน (Functional Description of Interchange Circuit) ในส่วนนี้กำหนดหน้าที่และตั้งชื่อให้กับสัญญาณไฟฟ้าต่างๆที่นำมาใช้ ตัวอย่างเช่น TRANSMITTED DATA (ข้อมูลส่งออก) ได้ถูกกำหนดไว้ให้กับขา 2 ซึ่งข้อกำหนด



นี้มีมากถึง 21 ข้อ แต่มีเพียงไม่กี่ข้อที่เกี่ยวข้องกับไมโครคอมพิวเตอร์

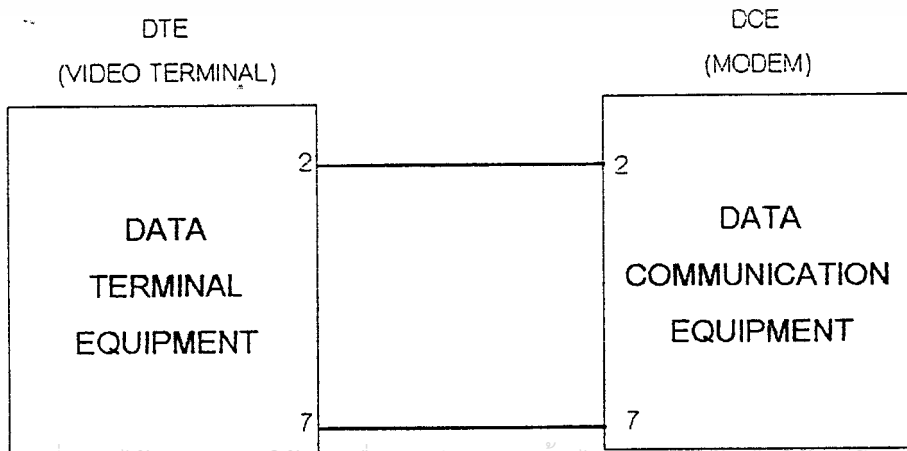


รูปที่ 2.8 แผนภาพตอนเน็กเตอร์ DB-25

4.) มาตรฐานการอินเตอร์เฟซสำหรับระบบการสื่อสารเฉพาะอย่าง (Standard Interfaces for Selected Communications System Configurations) ในส่วนนี้เป็นรายละเอียดต่างๆ สำหรับการติดต่อระหว่างไมเค็มกับเทอร์มินัลทั่วไป

### พื้นฐานการอินเตอร์เฟซ

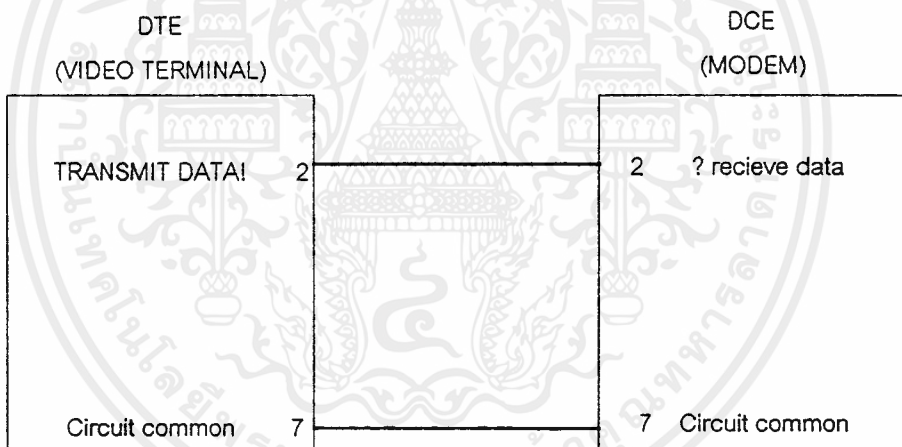
จากการพิจารณาโครงสร้างเบื้องต้น การอินเตอร์เฟซ RS-232 จะประกอบด้วยเส้นสายไฟเพียง 2 เส้น โดยเส้นหนึ่งเป็นเส้นสำหรับรับส่งข้อมูล และอีกเส้นเป็นเส้นสำหรับอ้างอิงระดับแรงดันของวงจรอินเตอร์เฟซ (Circuit Common) ในส่วนแรงดันอ้างอิงนี้มักมีผู้เข้าใจไขว้เขวว่า เป็นสิ่งเดียวกับกราวด์ซึ่งแท้จริงแล้ว วงจรอินเตอร์เฟซใช้สิ่งนี้อ้างอิงระดับแรงดันของวงจร ฟังจำไว้เสมอว่า ขาอ้างอิงแรงดัน (ขา7) ในวงจรอินเตอร์เฟซ เป็นสิ่งที่ขาดไม่ได้ไม่ว่าวงจรนั้นจะซับซ้อนหรือง่ายตายเพียงใด หากเราเริ่มด้วยการต่อขาอ้างอิงแรงดันนี้เราก็ไม่ต้องมาพะวงกับเรื่องนี้อีกต่อไป



## รูปที่ 2.9 แสดงส่วนประกอบพื้นฐานการอินเทอร์เฟซทั่วไป

จากรูปที่ 2.9 แสดงอุปกรณ์การอินเทอร์เฟซไอทีไอซึ่งจะประกอบด้วย 2 ส่วนก็คือ DTE เบื้องต้น (Data Terminal Equipment) ซึ่งเป็นตัวเทอร์มินัลที่ประกอบด้วย คีย์บอร์ดและจอ มอนิเตอร์ ตัวเลขแสดงภายในอุปกรณ์แสดงหมายเลขขาของตัวคอนเน็กเตอร์ของอุปกรณ์ และ อีกส่วนประกอบที่เหลือก็คือ ส่วนรับข้อมูลเป็นอุปกรณ์ DCE (Data Communication Equipment) ดังเดิมซึ่งก็คือโมเด็มนั่นเอง

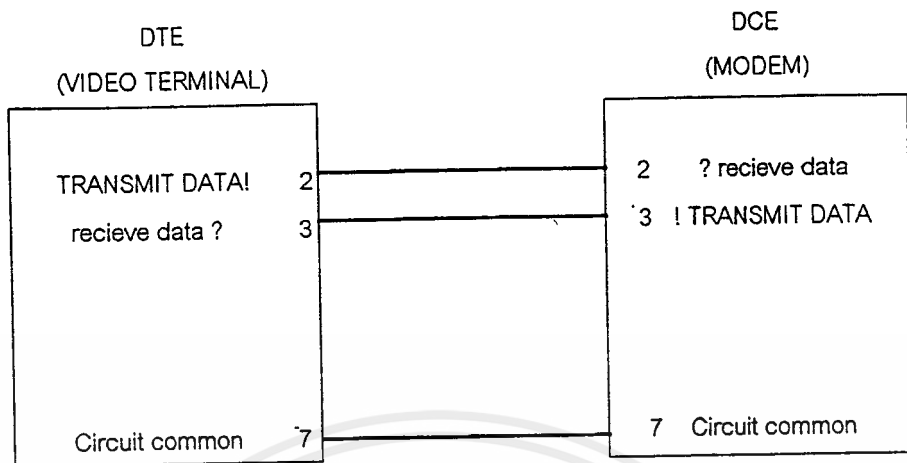
หากเราพิจารณาตามรูป เราจะพบว่าข้อมูลที่ถูกส่งออกจากขา 2 ของอุปกรณ์ DTE จะ รับเข้าไปยังอุปกรณ์ DCE ทางขา 2 เช่นกันโดยข้อมูลที่รับได้ที่ขาของ DCE จะเป็นข้อมูลตัว เดียวกับที่ปรากฏบนขา 2 ของตัวมันเอง หรืออีกนัยหนึ่งวลี "Transmit Data" มิได้มีส่วนในการ กำหนดว่าอุปกรณ์ใดเป็นตัวต้นทางหรือปลายทางทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับมุมมองที่เราพิจารณา เราอาจ กำหนดชื่อของขาคอนเน็กเตอร์ไว้ในตัวอุปกรณ์ได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 อุปกรณ์ DTE และอุปกรณ์ DCE เป็นคู่อุปกรณ์ร่วม ที่ทำงานตรงข้ามกัน

### รับส่งข้อมูลสองทิศทาง

จากรูปที่ 2.10 เมื่อเทอร์มินัลรับรู้ข้อมูลจากคีย์บอร์ดแล้วและส่งต่อไปยังโมเด็ม โมเด็ม จะทำการส่งข้อมูลต่อออกไปทางสายโทรศัพท์เราจะเห็นได้ว่า ทั้งเทอร์มินัลและโมเด็ม สามารถ เป็นได้ทั้งอุปกรณ์ส่งและรับข้อมูล และยังสามารถส่งและรับข้อมูลในทิศทางตรงข้ามได้อีกด้วย ตัวอย่างเช่นเมื่อโมเด็มรับสัญญาณข้อมูลจากสายโทรศัพท์ก็จะทำการส่งต่อไปให้เทอร์มินัล เมื่อ เทอร์มินัลได้รับเอาท์พุทของโมเด็มก็จะทำการแสดงผลขึ้นที่หน้าจอมอนิเตอร์ เราจึงสามารถ แทนการทำงานดังกล่าวดังในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 อุปกรณ์สามารถส่งและรับข้อมูลได้สองทิศทาง ความแตกต่างระหว่างอุปกรณ์ DTE และ DCE ที่เราเห็นได้เบื้องต้นมีดังนี้ DTE ส่งเอาต์พุตทางขา 2 และรับอินพุตทางขา 3 DCE ส่งเอาต์พุตทางขา 3 และรับอินพุตทางขา 2 ในการเผชิญปัญหาการอินเทอร์เฟซ ไม่ว่าจะง่ายตายหรือซับซ้อนเพียงใดเราจำเป็นต้องเริ่มต้นด้วย การตรวจสอบทิศทางของสัญญาณข้อมูลที่ขา 2 และ 3 เป็นอันดับแรก

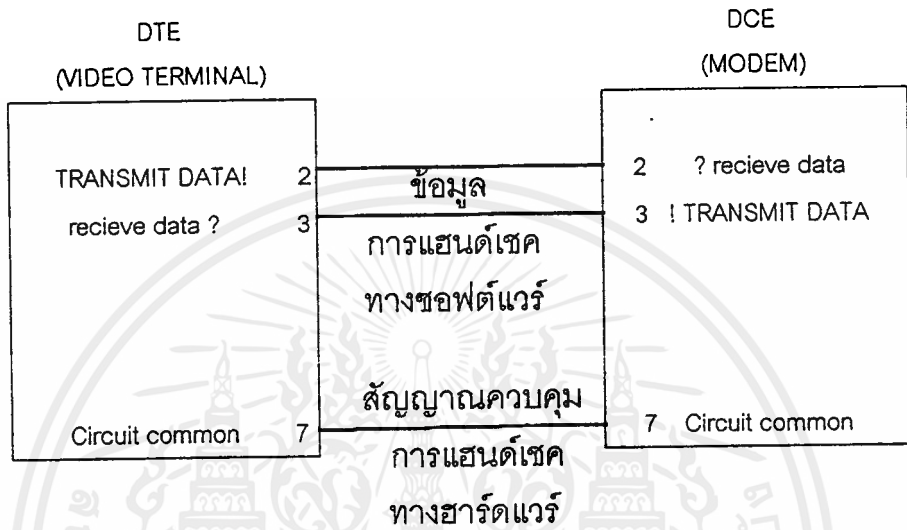
### การแฮนด์เชค

สำหรับการอินเทอร์เฟซ สิ่งแรกที่เราคิดคือ วิธีการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ 2 ตัวให้สัมพันธ์กันในการรับส่งข้อมูลในช่วงเวลาและใช้สัญญาณที่เหมาะสมซึ่งก็คือ กระบวนการแฮนด์เชค (Handshaking) นั่นเองการแฮนด์เชคแบ่งได้ 2 ประเภทคือ การแฮนด์เชคทางฮาร์ดแวร์และการแฮนด์เชคทางซอฟต์แวร์

การแฮนด์เชคทางซอฟต์แวร์ (software handshaking) เป็นวิธีการหนึ่งในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์รับข้อมูลโดยส่งผ่านสัญญาณควบคุมไปพร้อมกับตัวข้อมูลที่ต้องการส่งตัวอย่างเช่น ในการพิมพ์ข้อความทางเครื่องพิมพ์ คอมพิวเตอร์จะส่งข้อมูลไปที่ละบรรทัด และเมื่อสิ้นสุดแต่ละบรรทัด มันจะแทรกอักขระควบคุมแสดงว่าสิ้นสุดบรรทัด (end-of-line) เพื่อแจ้งเครื่องพิมพ์ว่า ขณะนี้คอมพิวเตอร์กำลังรอสัญญาณตอบกลับอยู่ก่อนจะส่งข้อมูลบรรทัดถัดไป และเมื่อเครื่องพิมพ์รับข้อมูลเข้ามาและพิมพ์ไปจนจบบรรทัดก็จะส่งข้อมูลไปบอกคอมพิวเตอร์ว่ามันพร้อมจะรับข้อความบรรทัดใหม่แล้ว ซึ่งเพียงเท่านี้เราก็สามารถควบคุมการทำงานของเครื่องพิมพ์ได้แต่ในความเป็นจริงแล้วเครื่องพิมพ์บางรุ่นไม่สามารถแยกอักขระควบคุมออกจากข้อความที่ส่งมาได้

ในทางตรงกันข้ามการแฮนด์เชคทางฮาร์ดแวร์ (hardware handshaking) สามารถควบคุมเครื่องพิมพ์ได้ตั้งแต่ระดับฮาร์ดแวร์ โดยใช้การเปลี่ยนระดับแรงดันในสายสัญญาณควบคุม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นตัวรับไม่ให้คอมพิวเตอร์ส่งข้อมูลเพิ่มเข้ามาอีก ซึ่งเป็นการหลีกเลี่ยงการใช้รหัสหรือโปรแกรม แต่การแฮนด์เซคทางฮาร์ดแวร์นั้นมีข้อจำกัดคือจำเป็นต้องมีสายสัญญาณควบคุมต่างหากสำหรับงานนี้โดยเฉพาะทำให้วิธีนี้ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการอินเตอร์เฟซกับโมเด็ม ตัวอย่างการแฮนด์เซคแสดงไว้ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงสัญญาณควบคุมไม่มีข้อมูลเข้ามาเกี่ยวข้อง

จากรูปที่ 2.12 สัญญาณการอินเตอร์เฟซ ถูกแบ่งเป็น 2 ประเภท สัญญาณข้อมูลและสัญญาณควบคุมเพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจ สัญญาณข้อมูลก็คือ สัญญาณที่เป็นอักษรข้อมูลหรือข้อความที่ต้องการรับส่งจริง ส่วนสัญญาณควบคุมจะหมายถึงสัญญาณอื่นๆที่เหลือทั้งหมด

### บทที่ 3

## การออกแบบสร้างและทดสอบเครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นกระแสและส่วนแสดงผลทางคอมพิวเตอร์

ข้อกำหนดในการออกแบบเครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นกระแสและผลการทดลอง

3.1) ข้อกำหนดในการออกแบบเครื่องแปลงสัญญาณความดัน เป็นสัญญาณกระแส และผลการทดลอง

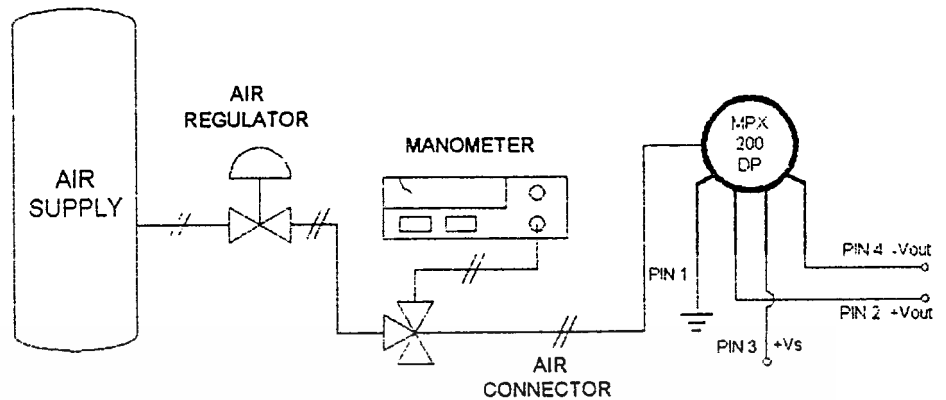
ดังได้กล่าวมาแล้วว่า จุดประสงค์ของการสร้างเครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นสัญญาณกระแส เพื่อใช้เป็นการเชื่อมต่อระหว่างระบบเครื่องมือวัดในระบบอุตสาหกรรมแบบเก่ากับระบบเครื่องมือวัดในระบบอุตสาหกรรมแบบใหม่ ซึ่งได้ออกแบบให้สัญญาณ เอาท์พุทที่ 4-20 มิลลิแอมป์ ซึ่งเป็นสัญญาณควบคุมตามมาตรฐานที่กำหนด เพื่อป้องกันกับอุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (Final Element) เช่น คอนโทรลวาล์ว ฯลฯ ทางด้านสัญญาณเข้าเป็นการวัดสัญญาณความดันในระบบการควบคุมซึ่งมีค่ามาตรฐาน 0.2-1.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยใช้บริดจ์สเตรนเกจ เซนเซอร์ (MPX200DP) เป็นตัวรับสัญญาณนี้เข้ามา

ในระบบการควบคุมในต้นอุตสาหกรรมนั้น สัญญาณทางด้านกระแสที่ใช้ควบคุมนั้นจะอยู่ในช่วง 4-20 มิลลิแอมป์ ถ้าเป็นทางด้านแรงดันไฟฟ้าก็จะมีค่าอยู่ในช่วง 1-5 โวลท์

### ภาคทฤษฎีสติวเซอร์

ในภาคนี้ จะทำการเปลี่ยนสัญญาณความดันมาตรฐานเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า จากวงจรในรูป จะเห็นว่ามี การป้องกันแรงดันให้กับวงจร +5 โวลท์ ผ่าน บริดจ์สเตรนเกจ เซนเซอร์ MPX 200 DP ซึ่งสามารถรับสัญญาณได้ 0.0-2.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยนำสัญญาณความดันที่ต้องการวัดมาป้อนเข้าที่รูของพอร์ต และอีกรูปล่อยว่างเพื่อวัดระดับความดันเทียบกับบรรยากาศ เมื่อมีค่าแรงดันเข้ามา เซนเซอร์จะทำงานและแสดงค่าออกมาเป็นค่าทางแรงดันไฟฟ้า

ทำการทดลองรับค่าแรงดันและตรวจวัดเอาท์พุทของ MPX 200 ดังรูปโดยวัดที่ขา 2 และ 4 ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงการต่อวงจรเพื่อทดสอบสัญญาณเอาต์พุตและคุณสมบัติของ MPX 200 DP

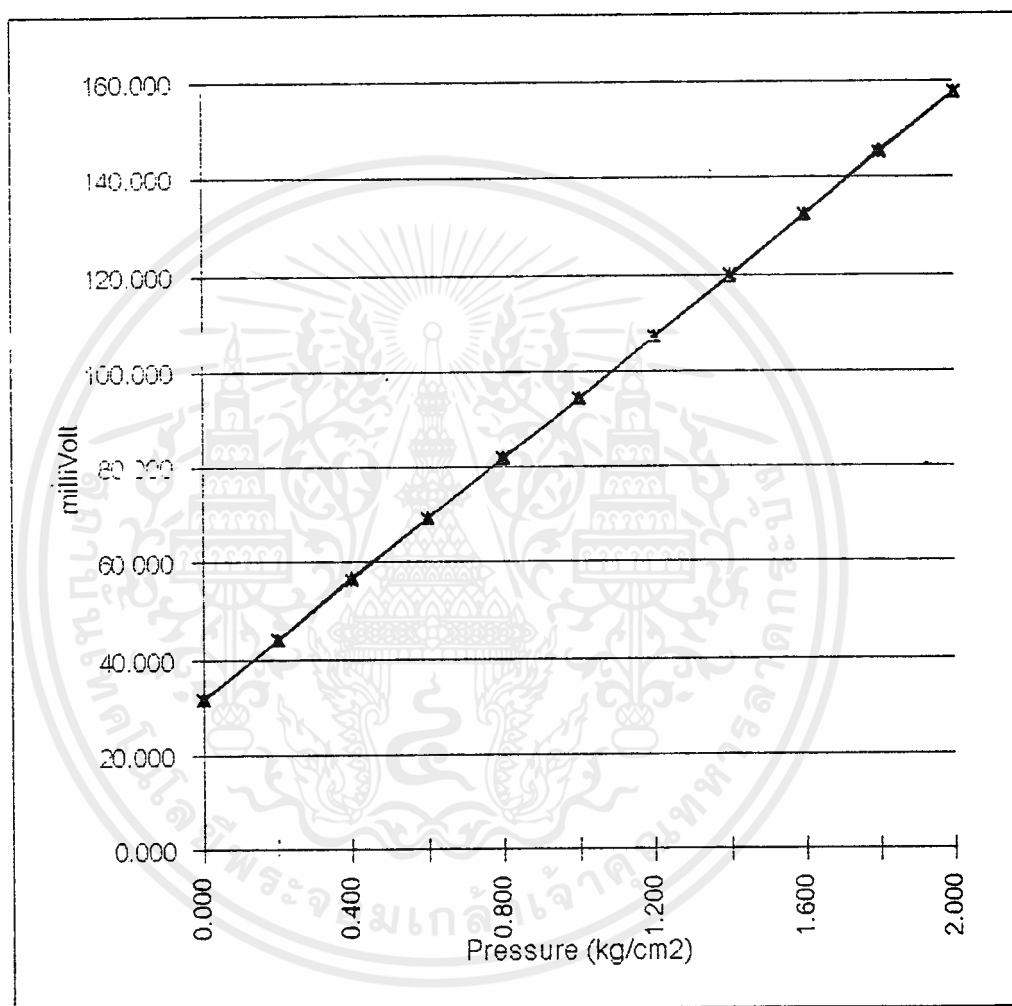
ซึ่งค่าที่ได้จากผลการทดลองจะมีค่าแตกต่างกับค่าใน ตารางที่ 3.1 ดังนั้นจึงขออนุญาตใช้ค่าตามที่ทดลองได้ดังนี้

สัญญาณความดันที่ป้อนให้กับ MPX 200 DP (Kg/cm <sup>2</sup> )	แรงดันเอาต์พุตที่ได้ จากการทดสอบ (โวลต์)	
	ขาขึ้น ×	ขาลง ▲
0.0	31.50	31.50
0.2	44.00	43.90
0.4	56.60	56.50
0.6	69.10	69.10
0.8	81.70	81.80
1.0	94.30	94.30
1.2	106.90	107.00
1.4	119.50	119.60
4.6	132.10	132.20
1.8	145.40	144.90
2.0	157.50	157.50

ตารางที่ 3.1 แรงดันเอาต์พุตที่ได้จาก MPX200DP

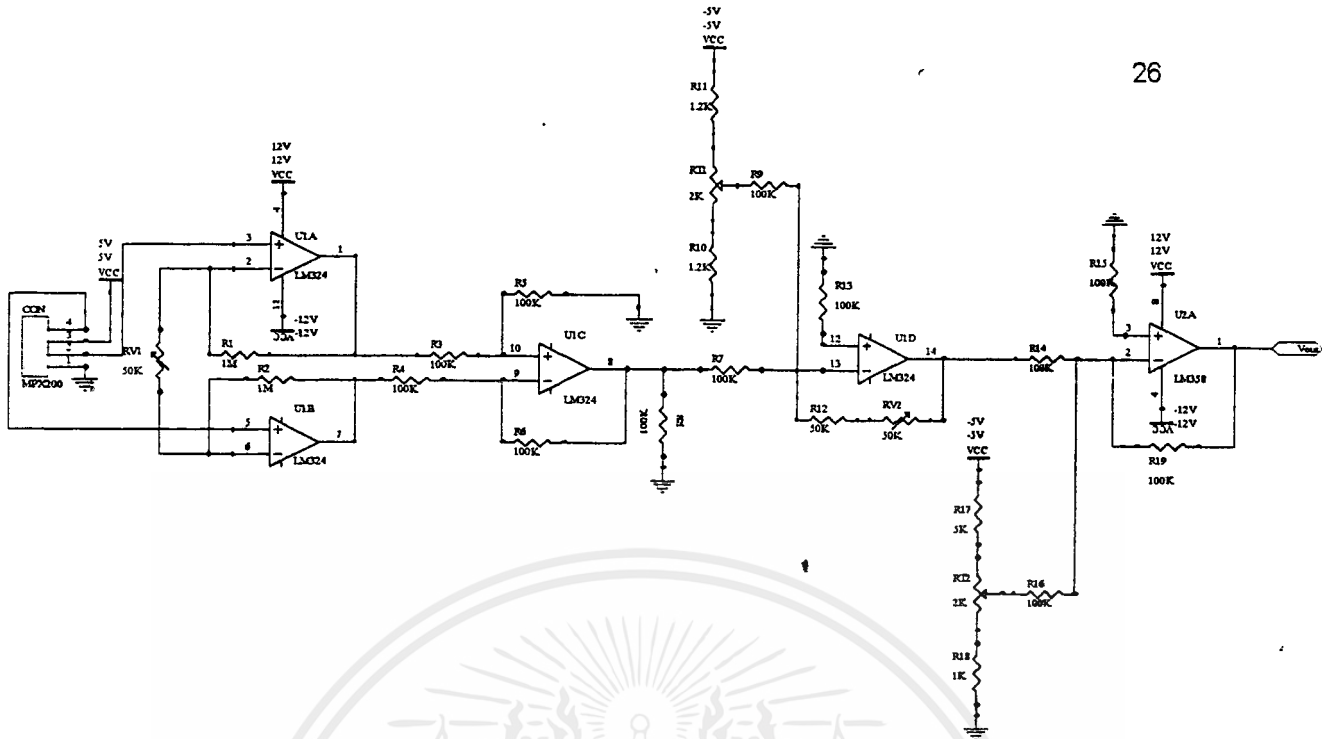
หลังจากได้ค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าจาก MPX 200 แล้วค่าเอาต์พุตก็จะถูกนำไปขยายโดยผ่าน วงจรอินสตรูเมนต์แอมพลิฟาย (ดังรูปที่ 2.8) โดยใช้ LM 324 ซึ่งเป็น ออเอกซาร์นี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปแอมป์เชิงเส้น (Linear op-amp) หลังจากผ่านวงจรขยายตั้งกล่าว เอาท์พุทที่ได้จะมีค่าอยู่ในช่วง 0 - 4 โวลท์



กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของ เอาท์พุทของ MPX200DP ตามตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 แสดงวงจรของภาคเปลี่ยนสัญญาณความดัน 0.2-1.0 กิโลกรัม  
ต่อตารางเซนติเมตรเป็น สัญญาณแรงดันไฟฟ้า 1-5 โวลต์

เนื่องจากการนำไปใช้งานควรจะใช้แรงดันในช่วง 1 - 5 โวลต์ (เพราะในกรณีที่เอาท์พุทของระบบเป็น 0 โวลต์นั้นอาจไม่ได้หมายความว่าสัญญาณอินพุทเป็นสัญญาณค่าต่ำสุด แต่อาจเกิดจากการที่ระบบไฟฟ้าขัดข้องก็เป็นได้ ดังนั้นเราจึงใช้ค่าแรงดันอ้างอิงในช่วง 1-5 โวลต์) จึงต้องนำค่า 0-4 โวลต์นั้นมาผ่านวงจรซัมมิ่งแอมป์ โดยใช้ LM 358 และจะได้เอาท์พุทออกมา 1-5 โวลต์

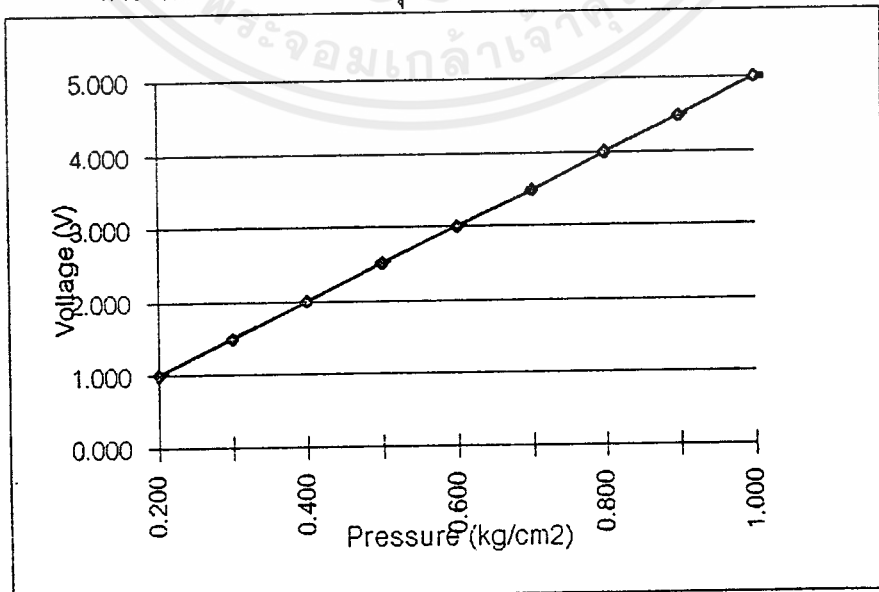
จากนั้นทำการปรับแต่งโดยการปรับซีโร ที่ R T1 และ สเปน ที่ R T2 โดยใช้แหล่งจ่ายสัญญาณความดันที่สามารถปรับได้อย่างต่อเนื่อง ผ่านเรกูเลเตอร์ (Regulator) จ่ายแรงดันลม 0.2-1.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนการปรับแต่งทำได้ดังนี้

- 1.) จ่ายลม 0.2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แล้ววัดแรงดันไฟฟ้าที่ได้ออกมาว่าเป็น 1 โวลต์หรือไม่ หากยังไม่ได้ ให้ทำการปรับ ซีโร จนกว่าจะวัดแรงดันไฟฟ้าที่เป็นเอาท์พุทออกมามีค่าเท่ากับ 1 โวลต์
- 2.) ปรับแรงดันลมจนถึง 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แล้ววัดแรงดันไฟฟ้าที่ได้ออกมาว่าเป็น 5 โวลต์หรือไม่หากยังไม่ได้ ให้ทำการปรับ สเปน จนกว่าจะวัดแรงดันไฟฟ้าเอาท์พุท ที่ออกมามีค่าเท่ากับ 5 โวลต์
- 3.) ทำเช่นนี้ซ้ำจนกว่าจะทำการตรวจสอบได้ว่า เมื่อจ่ายลม 0.2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรจะได้แรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทเท่ากับ 1 โวลต์ และเมื่อเพิ่มแรงดันลมที่จ่ายเป็น 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรก็จะได้แรงดันไฟฟ้าเอาท์พุทเท่ากับ 5 โวลต์

เมื่อทำการปรับแต่งเสร็จเรียบร้อยแล้วทำการวัดค่าความเป็นเชิงเส้นของเอาต์พุตที่ได้จาก LM 358 โดยการจ่ายลม 0.2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และวัดค่าแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตที่ได้ออกมา ต่อมาเพิ่มค่าลมที่จ่ายเป็น 0.3 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรแล้ววัดค่าเอาต์พุต ทำเช่นนี้ต่อไปจนแรงดันลมที่จ่ายเพิ่มขึ้นถึง 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรวัดค่าเอาต์พุตหลังจากนั้นให้ลดระดับแรงดันลมลงทีละ 0.1 และทำการวัดค่าเอาต์พุตเช่นเดิมจนลดลงเหลือ 0.2 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ได้ผลการทดลองดังนี้

สัญญาณความดันที่ป้อนให้กับ MPX 200 DP (Kg/cm <sup>2</sup> )	แรงดันเอาต์พุตที่ได้หลังจาก ปรับ Gain และ Zero แล้ว (มิลลิโวลท์)	
	ขาขึ้น	ขาลง
0.2	1.000	1.000
0.3	1.502	1.498
0.4	2.001	1.999
0.5	2.503	2.501
0.6	3.004	2.990
0.7	3.500	3.500
0.8	4.000	4.000
0.9	4.500	4.500
1.0	5.000	5.000

ตารางที่ 3.2 แรงดันเอาต์พุตหลังจากที่ปรับ GAIN และ ZERO แล้ว

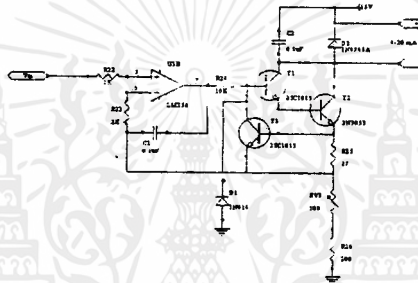


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ภาคเปลี่ยนสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า

จากรูปที่ 3.3 ภาคเปลี่ยนสัญญาณแรงดันเป็นกระแส เป็นส่วนที่รับค่าแรงดันไฟฟ้า 1-5 โวลต์ ในภาคทรานซิสเตอร์ มาขยายสัญญาณโดยใช้ออปแอมป์ LM 358 ขับผ่านทรานซิสเตอร์ 2 ตัวคือ T1

2SC1815 และ T2 2N3053 ต่อกันแบบคาบิลิตัน โดยมีทรานซิสเตอร์ T3 2SC1815 เป็นตัวตัดกระแสให้ไหลลง กราวน์เมื่อกระแสมีขนาดเกิน 20 มิลลิแอมป์ ส่วนไดโอดตัวที่ 1 เป็นซีเนอร์ ไดโอดทำหน้าที่ รักษาแรงดัน ไม่ให้มีค่าเกิน 13 โวลต์



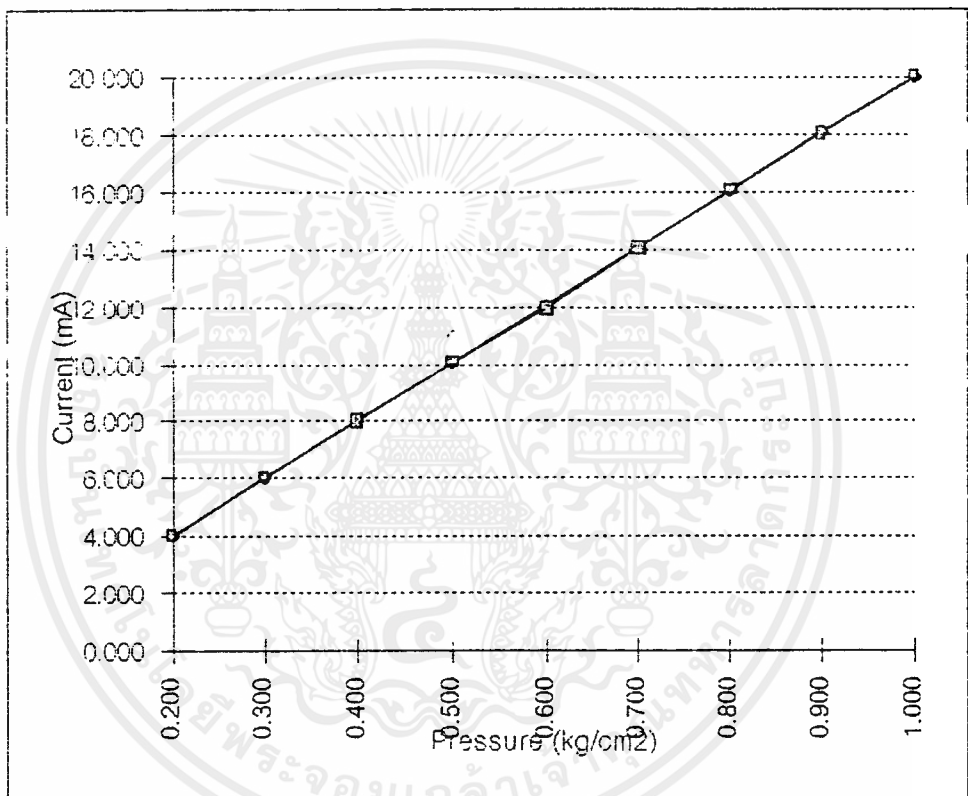
รูปที่ 3.3 แสดงวงจรภาคเปลี่ยนสัญญาณแรงดันไฟฟ้า 1-5 โวลต์เป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า 4-20 มิลลิแอมป์

การทดลอง ในส่วนของ ภาคเปลี่ยนสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณกระแสไฟฟ้า ในที่นี้จะวัดทั้งสัญญาณกระแส และ สัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้ ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองมีดังนี้

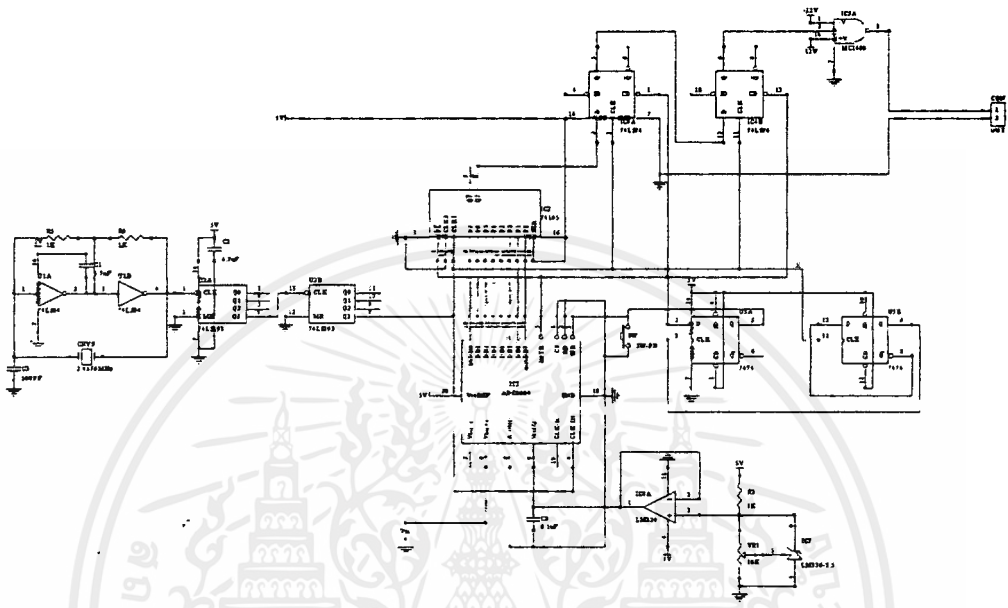
สัญญาณความดันที่ป้อนให้กับ MPX 200 DP (Kg/cm <sup>2</sup> )	สัญญาณกระแสที่ได้ (มิลลิแอมป์)	
	ขาขึ้น	ขาลง
0.2	4.00	4.00
0.3	6.02	6.008
0.4	8.04	8.04
0.5	10.02	10.04
0.6	12.04	12.00
0.7	14.04	14.04

0.8	16.04	16.04
0.9	18.04	18.04
1.0	20.04	20.04

ตารางที่ 3.3 สัญญาณกระแสที่วัดได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงวงจรแปลง สัญญาณอนาลอก เป็น สัญญาณดิจิทัล

### ส่วนอินเตอร์เฟซ

จากรูปที่ 3.4 ภาคอินเตอร์เฟซนี้คือวงจร แปลงสัญญาณอนาลอก เป็นสัญญาณดิจิทัล วงจรดังกล่าวมีลักษณะการทำงานดังนี้

ไอซี 7474(U3) เป็นฟลิปฟล็อปเพื่อหน่วงเวลาการส่งสัญญาณ INTR ที่จะป้อนให้กับขา WR ของ ADC 0804 2 คาบเวลา (Time Cycle)

ADC 0804 เป็นไอซีที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลขนาด 8 บิต ซึ่งสามารถสร้างสัญญาณนาฬิกา โดยการกำหนดค่าความถี่ได้จากขา CLKR (ขา19) และ ขา CLK (ขา4) สัญญาณนาฬิกาสูงสุดคือ 640 กิโลเฮิร์ตซึ่งทำให้ใช้เวลาการแปลง 100 ไมโครวินาที มีอัตราการแปลงที่ 10 กิโลเฮิร์ต

ขา Read (ขา 2) กับขา Chip-Select (ขา1) ถูกต่อลงกราวด์เพราะเป็นโหมดการทำงานด้วยตนเองโดยไม่ต้องมีสัญญาณควบคุมภายนอก

ขา Interrupt Output (ขา 5) จะเป็นตัวบอกสถานะของ ADC 0804 ว่ามีข้อมูลอนาลอกที่แปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลเรียบร้อยแล้ว

ขา Write Data Input (ขา 3) จะถูกต่อกับขา Q(ขา 5) ของ ไอซี 7474 เพื่อรอสัญญาณ INTR ที่ได้รับการหน่วงเวลาแล้ว โดยมีสวิทช์ S1 เป็นสวิทช์กดติดปล่อยดับต่อไว้เพื่อทำหน้าที่รีเซ็ตการทำงานแรงดันอ้างอิงที่ใช้ ซึ่งต่อไว้ที่ขา V ref/2 (ขา 9) ของ ADC 0804 จะถูกสร้างขึ้นจาก ไอซี LM336 ซึ่งจะสร้างแรงดันอ้างอิงขึ้นมา 2.5 โวลท์ ผ่าน ไอซี LM324 ซึ่งทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์โดยมี ตัวต้านทานปรับค่าได้ (VR1) คอยปรับช่วงแรงดันอีกทีหนึ่ง

สำหรับขา Vin (-) (ขา 7) จะถูกต่อลงกราวด์ สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้าขา Vin(+)(ขา 6) ซึ่งเป็นแรงดันอินพุตจากวงจรภายนอก ซึ่งจะถูกแปลงเป็นข้อมูลดิจิทัลขนาด 8 บิตออกจากขา 11 ถึงขา 18 ค่าของแรงดันในการตรวจวัดอยู่ในช่วง 0-5 โวลท์ สามารถแปลงเป็นข้อมูลได้ 256 ระดับจากค่า 00000000 ถึง 11111111 หรือ 0-255 ในเลขฐานสิบ ค่าความแตกต่างระหว่างระดับสัญญาณอยู่ที่ 19.53 มิลลิโวลท์ หรือ 5 โวลท์ต่อ 256 ระดับ

ข้อมูลดิจิทัลที่ถูกแปลงออกมาแล้วจะป้อนให้กับ ไอซี 74165 ซึ่งทำการเลื่อนข้อมูลอินพุตแบบขนาน 8 บิต ส่งเอาท์พุตออกเป็นแบบอนุกรมตามจังหวะของสัญญาณนาฬิกา โดยการส่งข้อมูลเพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานการส่งข้อมูลอนุกรมแบบ อะซิงโครนัสจะต้องส่งบิตเริ่มต้น (Start Bit) และบิตปิดท้าย (Stop Bit) ออกไปกับข้อมูลด้วย โดยบิตเริ่มต้นจะกำหนดจาก ไอซี 7474 /1 ส่วนบิตปิดท้ายจะถูกกำหนดด้วย ไอซี 7474 /2 ขาอินพุตแบบอนุกรม (Serial Input) ของ ไอซี 74165 จะถูกต่อไว้ให้เป็น ลอจิก "1" ดังนั้นถ้าไม่มีการส่งข้อมูลจาก ADC 0804 แล้ว ข้อมูลจากขาอินพุตแบบอนุกรมจะถูกส่งออกไปยังเอาท์พุตเสมือนว่าเป็นการส่งบิตปิดท้ายออกไปนั่นเอง

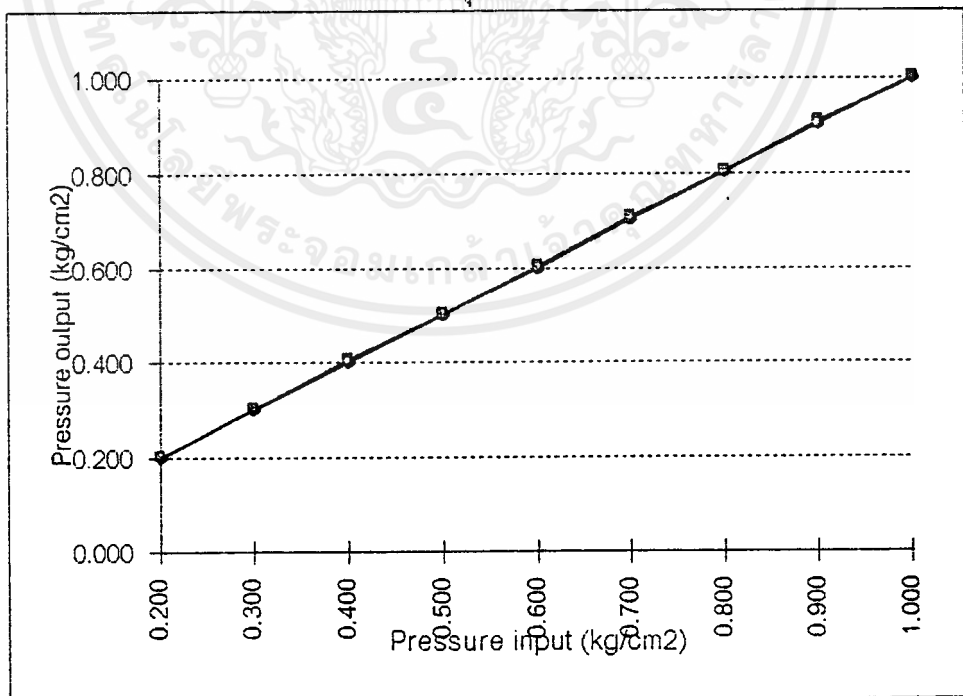
เมื่อ ADC 0804 ทำการแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลเรียบร้อยแล้วก็จะส่งสัญญาณ INTR ออกมา ซึ่ง ADC 0804 จะส่งสัญญาณเอาท์พุตดิจิทัลขนาด 8 บิต (ส่งออกมาแบบขนาน) ก็ต่อเมื่อมีสัญญาณเข้าไปยังขา WR ซึ่งจะทำให้การส่งข้อมูลไปยัง ไอซี 74165 ในขณะเดียวกันสัญญาณ INTR นี้จะส่งไปยังขา LOAD ของ ไอซี 74165 ด้วย เพื่อให้ ไอซี 74165 รับข้อมูลมาเก็บไว้ในชิฟต์รีจิสเตอร์และสัญญาณ INTR ก็ยังส่งไปเป็นสัญญาณ CLR และ SET ให้กับ ไอซี 74LS74 ตัวที่ 1 และ 2 เพื่อกำหนดบิตเริ่มต้นและบิตปิดท้ายให้กับการส่งข้อมูล

สำหรับการกำหนดอัตราบอดหรืออัตราการส่งข้อมูลเพื่อให้เป็นมาตรฐานเดียวกับคอมพิวเตอร์นั้นจะใช้ ไอซี 7404 และ ไอซี 74393 และ คริสตัล (Crystal) เป็นตัวกำเนิดสัญญาณนาฬิกา โดยคริสตัลจะกำเนิดความถี่ได้ 2.4576 เมกะเฮิร์ต แต่ความเร็วที่ใช้ในการส่งข้อมูลแบบอนุกรมคือ 9600 บิตต่อวินาทีซึ่งเท่ากับ 9600 เฮิร์ตจึงนำ ไอซี 74165 ซึ่งภายในมีวงจรหาร 16 สองตัวมาทำการหารเพื่อให้ได้ความถี่ 9600 เฮิร์ต ( $2.4576 \times 10^6 / 16 \times 16$ )

ค่าเอาต์พุตที่วัดได้หลังจาก ผ่านส่วนอินเตอร์เฟซจะเป็นตัวเลขแสดงค่าของอินพุตซึ่งเป็นสัญญาณความดันในหน่วย กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และจากการทดลองได้ ผลค่าเอาต์พุตออกมาตามตารางต่อไปนี้

ความดัน (Pressure Input) (Kg/cm <sup>2</sup> )	ค่าสัญญาณความดันอินพุต ที่แสดงออกบนคอมพิวเตอร์	
	ขาขึ้น	ขาลง
0.2	0.200	0.200
0.3	0.302	0.302
0.4	0.400	0.404
0.5	0.502	0.502
0.6	0.606	0.604
0.7	0.702	0.706
0.8	0.804	0.804
0.9	0.902	0.906
1.0	1.000	1.000

ตารางที่ 3.4 แสดงความดันอินพุตที่แสดงออกทางคอมพิวเตอร์



ส่วน ไอซี MC1488 จะใช้เป็นตัวขับเพื่อใช้ในการติดต่อกับการสื่อสารแบบอนุกรมบน RS-232 ซึ่งจะเป็นมาตรฐานที่ใช้ติดต่อกับพอร์ตอนุกรมของคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และเนื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากคอมพิวเตอร์ต้องการเพียงอ่านข้อมูลจึงใช้สายเพียงสองเส้นเท่านั้น คือสาย รีซีฟเวอร์ตาต้า (Receiver Data) และ ซิกแนลกราวด์ (Signal Ground)

การต่อสายจากส่วนอินเตอร์เฟซ ไปยังพอร์ตอนุกรมจะใช้สายเพียง 2 สายคือ สายกราวด์ (Signal Ground) และ สายสัญญาณ (Signal) โดยสายสัญญาณจะต่อเข้ากับขา 2 สำหรับ DB-9 และ ขา3 สำหรับ DB-25 ส่วนสายกราวด์ใช้ขา5 สำหรับ DB-9 และ ขา7 สำหรับ DB-25

สำหรับส่วนอินเตอร์เฟซของ เครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นสัญญาณกระแส จะใช้พอร์ตคอนเน็กเตอร์ DB-9 แทนพอร์ตคอนเน็กเตอร์ DB-25 ซึ่ง Asynchronous Communications Adapter (ซึ่งเป็นพอร์ตอนุกรมของเครื่อง) สามารถทำงานได้เหมือนกับคอมพิวเตอร์รุ่นอื่น หรือยี่ห้ออื่นทุกประการ สำหรับการต่อขาของคอนเน็กเตอร์ DB-9 นั้นจะมีความแตกต่างกับ การต่อขาของ DB-25 เล็กน้อย ซึ่งตารางต่อไปนี้จะแสดงการต่อขาการใช้งานของ DB-9 ดังนี้

ขา	ฟังก์ชัน
1	Received Line Signal Detect
2	Received Data
3	Transmit Data
4	Data Terminal Ready
5	Signal Ground
6	Data Set Ready
7	Request to Send
8	Clear to Send
9	Ring Indicator

รูปที่ 3.5 แสดงตารางการต่อสายของ DB-9

## บทที่ 4

### การใช้งานของโปรแกรม

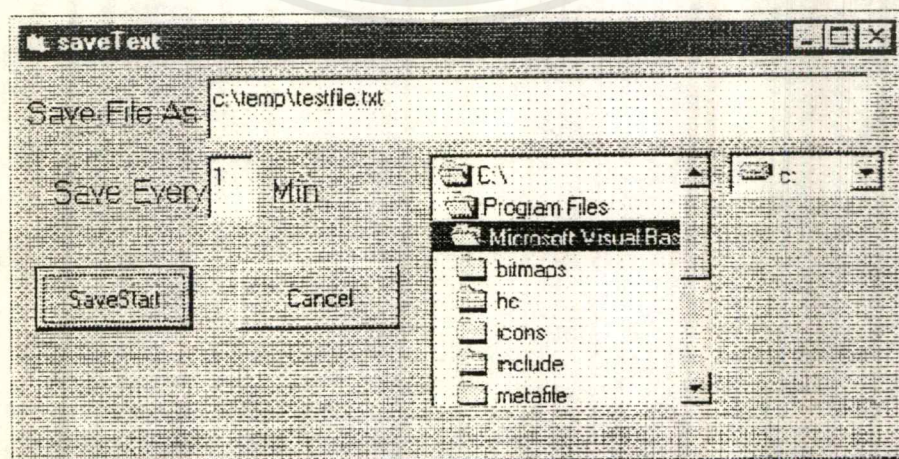
โปรแกรมที่ใช้ถูกเขียนขึ้นโดยภาษา Visual Basic 4.0 for Windows 95 ซึ่งมีลักษณะการใช้งานแบบ อีเวนต์ไดรเวน (Event and Driven) ซึ่งทำให้การพัฒนาโปรแกรมเป็นไปโดยไม่ลำบากนัก

ดังรูปที่ 4.2 เมื่อเริ่มโปรแกรมจะมีการรับค่าจากพอร์ตอนุกรมทุก 1 วินาที แล้วนำไปประมวลผลเพื่อแสดงค่าให้อยู่ในช่วง 0.2-1.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรโดยมีการแสดงกราฟแท่งซึ่งแสดงค่า 0-100 เปอร์เซ็นต์ ควบคู่ไปกับ กราฟเส้น ซึ่งจะแสดงค่าอย่างต่อเนื่องไปจนถึง 1 ชั่วโมง 40 นาทีโดยเมื่อครบ 1 ชั่วโมง 40 นาทีแล้ว รูปกราฟจะถูกเลื่อนไปด้านซ้ายเพียงครึ่งหนึ่ง (ซึ่งเป็นครึ่งหลังของกราฟ) และทำการพลอตกราฟต่อไป เนื่องจากในกระบวนการจริงแรงดันลมที่เปลี่ยนแปลงนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงที่ช้ามาก ดังนั้นการที่มีการรับค่ามาจากพอร์ตอนุกรมทุก ๆ 1 วินาทีนั้นจึงไม่เป็นการเข้าไปสำหรับการตรวจสอบ

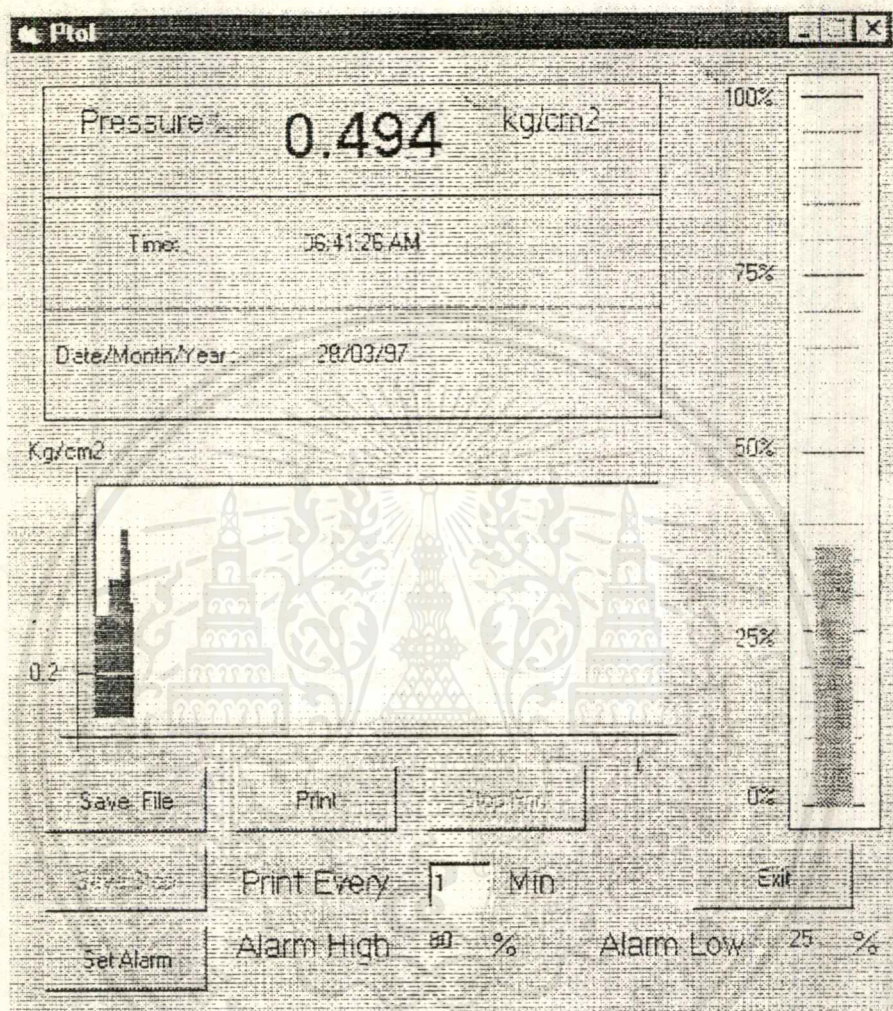
ส่วนของการบันทึกข้อมูลจะทำได้โดย การกดคำสั่งเซฟ (Save) บนฟอร์มการทำงานของโปรแกรม (รูปที่ 4.2) จากนั้นโปรแกรมจะโหลดฟอร์มการบันทึกข้อมูลดังรูปที่ 4.1 ออกมาเพื่อให้เลือก ไดรคทอรีและชื่อไฟล์ ที่จะใช้ในการเก็บบันทึก (หรือเซฟ) ข้อมูล รวมทั้งสามารถกำหนดความถี่ที่ใช้ในการเก็บบันทึกข้อมูล ซึ่งมีหน่วยเป็นนาที และข้อมูลที่ต้องการบันทึกนั้นจะถูกบันทึกในรูปของ เทกซ์ไฟล์

การพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์จะทำได้โดย การกดคำสั่งพิมพ์ (Print) บนหน้าจอ โดยสามารถกำหนดความถี่ที่ใช้ในการพิมพ์ออกทางเครื่องพิมพ์ ซึ่งมีหน่วยเป็นนาที

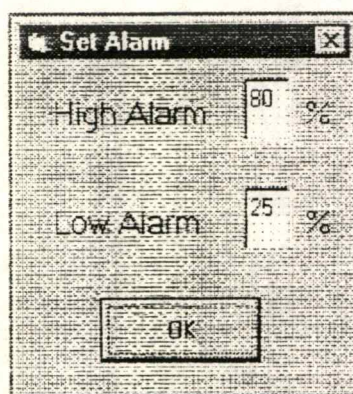
ส่วนของการส่งสัญญาณเตือนจะสามารถตั้ง ค่า High Alarm , Low Alarm ได้ตามรูปที่ 4.3 ซึ่งเมื่อสัญญาณความดันอินพุต มีค่าเกินจาก High Alarm หรือ มีค่าต่ำกว่า Low Alarm จะเกิดแถบสีแดงขึ้น และมีเสียงสัญญาณเตือน



รูปที่ 4.1 แสดงฟอร์มการบันทึกข้อมูล

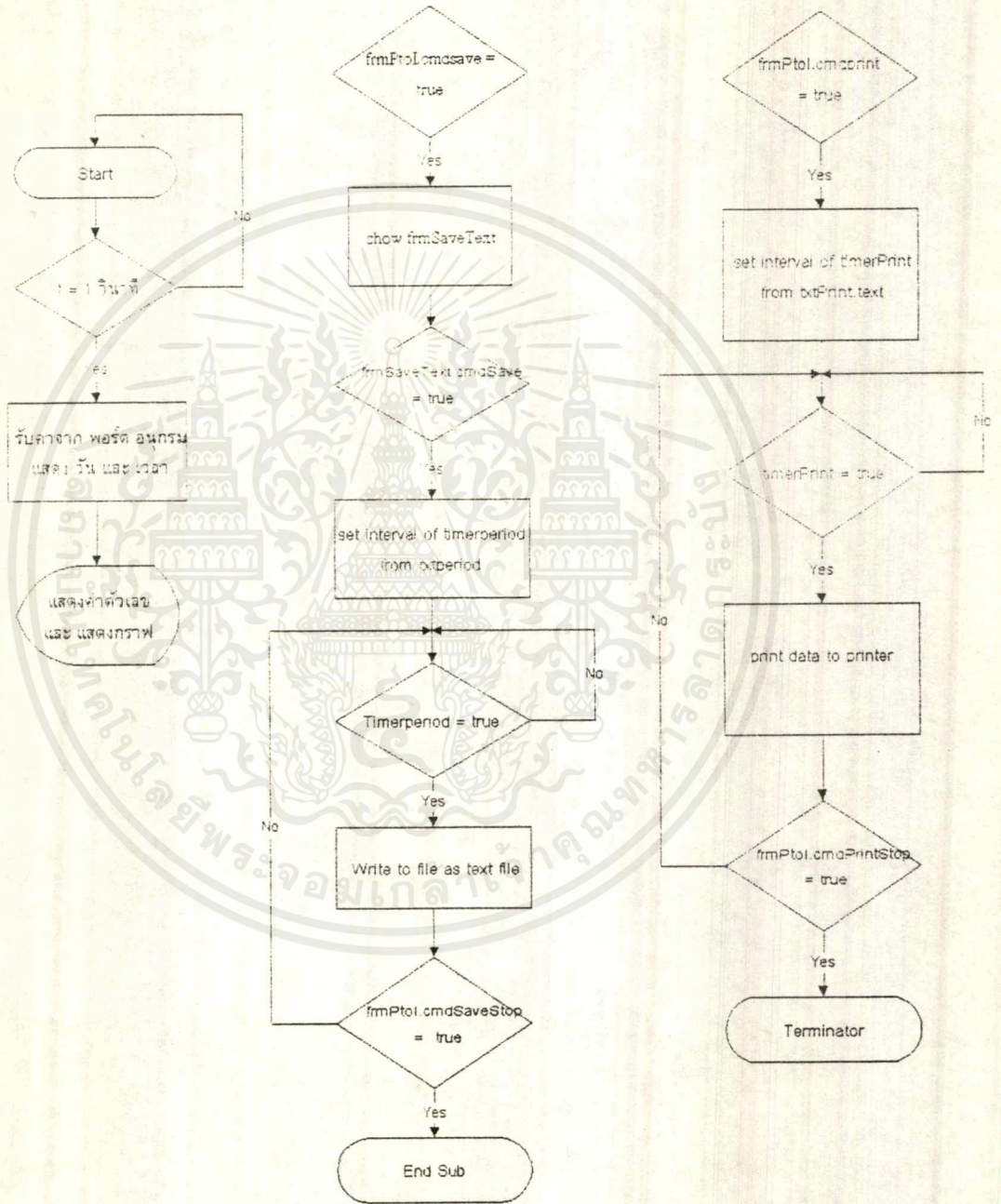


รูปที่ 4.2 แสดงการทำงานของโปรแกรม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 แสดงรูปแบบของการตั้งค่า Alarm การทำงานของโปรแกรมแสดงได้โดยโฟลวชาร์ตดังนี้

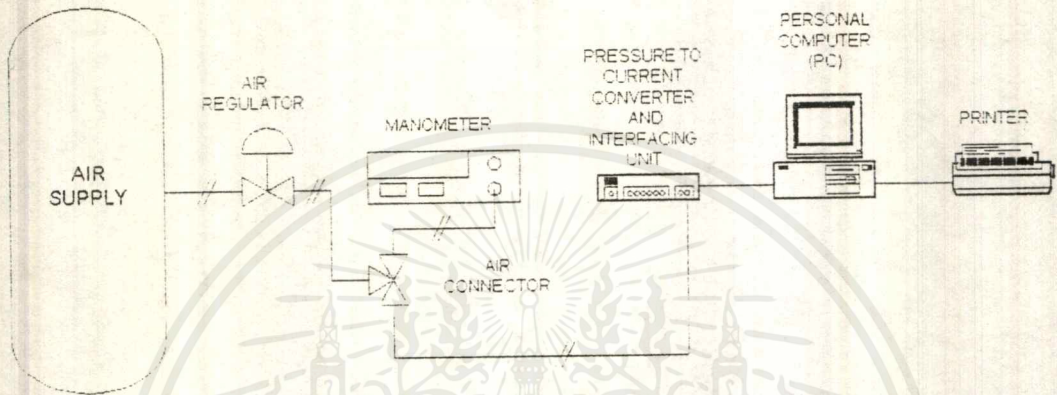


รูปที่ 4.4 แสดงไฟล์ชาร์ตการทำงานของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การทดลอง

การทดลอง เครื่องแปลงแรงดันเป็นสัญญาณกระแส เพื่อทดสอบคุณสมบัติต่างๆ และประสิทธิภาพการใช้งานนั้น จะมีการเตรียมการทดลองโดยจะต่อเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงภาพการต่อเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นสัญญาณกระแส และส่วนอินเตอร์เฟซ

จากนั้นจึงทำการปรับแต่ง ทั้งในส่วนของ การแปลงแรงดันลมเป็นแรงดันไฟฟ้า และการแปลงแรงดันไฟฟ้าให้เป็นสัญญาณกระแส ตามวิธีที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

การทดลองเครื่องแปลงสัญญาณความดัน เป็นสัญญาณกระแสนี้สามารถทำได้โดยวิธีการดังต่อไปนี้

- 1.) เปิดเครื่องจ่ายลม และ เครื่องปรับสัญญาณความดัน (Air Supply and Pressure Regulator)

- 2.) ตรวจสอบค่าเอาต์พุตที่ได้จากส่วนต่างๆ ดังนี้

- สัญญาณแรงดันไฟฟ้าเอาต์พุตซึ่งมีช่วงการวัด 1-5 โวลท์
- สัญญาณกระแสไฟฟ้าเอาต์พุตซึ่งมีช่วงการวัด 4-20 มิลลิแอมป์
- ค่าของตัวเลขที่แสดงค่าสัญญาณความดัน (ที่ป้อนให้กับเครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นสัญญาณกระแส) บนคอมพิวเตอร์และกราฟแสดงผล

- 3.) เปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณความดันอินพุต เพื่อทดสอบคุณสมบัติและประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นสัญญาณกระแส ซึ่งการทดสอบสามารถทำได้ โดยการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงของ เอาต์พุต (ในข้อ 2.) เทียบกับการเปลี่ยนแปลงของ สัญญาณอินพุตที่ป้อนเข้า

## บทที่ 5

### แนวทางการพัฒนาต่อ

เนื่องจากระบบเครื่องมือวัดในปัจจุบันมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนจากระบบเก่า มาเป็นระบบดิจิทัล แต่ในปัจจุบันนี้ยังไม่มีมาตรฐานที่ใช้ในการสื่อสารได้ แต่ละผู้ผลิตก็ยังผลิตให้เครื่องมือวัดของตนเองสามารถสื่อสารได้กับเครื่องมือวัดของตนเองได้เท่านั้นไม่สามารถติดต่อกับเครื่องมือวัดของผู้ผลิตอื่นได้ ดังนั้นถ้าหากในภายหลังได้มีการตกลงมาตรฐานที่จะใช้ในการสื่อสารแบบดิจิทัลได้แล้ว ก็ควรจะมีการปรับปรุงให้โรงงานนี้มีการสื่อสารที่เป็นมาตรฐานเพื่อจะได้สามารถติดต่อกับเครื่องมือวัดอื่น ๆ ได้

### ข้อจำกัดของโครงการ

จะเห็นได้ว่า ค่าที่แสดงผลออกมาทางจอภาพของคอมพิวเตอร์นั้นจะเป็นค่าที่ไม่นิ่ง จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาทั้งนี้เป็นเพราะ เกิดสัญญาณรบกวนเข้าไปที่ส่วนอินเตอร์เฟซ ซึ่งผู้จัดทำโครงการนี้ได้ทำอย่างดีที่สุดแล้วที่ จะขจัดสัญญาณรบกวนเหล่านี้ออกไปแต่ก็ยังมีส่วนหลงเหลือ อยู่บ้างจึงทำให้ค่าที่แสดงผลออกมาทางจอภาพของคอมพิวเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงอยู่บ้าง และเมื่อมีการปรับแรงดันลมที่จ่ายเข้าสู่ภาคทรานซิสเตอร์ จะเห็นได้ว่าค่าแรงดันที่ปรากฏบนจอภาพของคอมพิวเตอร์นั้นจะเป็นไปอย่างไม่ต่อเนื่องนัก ส่วนหนึ่งมาจากการที่โปรแกรมที่เขียนไว้เป็นการกำหนดให้มีการรับค่ามาจากพอร์ตอนุกรมทุก 1 วินาที อีกส่วนหนึ่งคือค่าที่รับมาจากพอร์ตอนุกรมนั้นเมื่อแปลงเป็นเลขฐานสิบแล้วจะมีค่าอยู่ในช่วง 0 - 255 ซึ่งเมื่อนำ มาแสดงผลจะต้อง นำมาผ่านการคำนวณทางคณิตศาสตร์เพื่อให้สามารถแสดงผลให้อยู่ในช่วง 0.2 - 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยค่าที่รับเข้ามา (0-255) และทำการแปลงเป็นตัวเลขนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงเอาท์พุท 0.004 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตัวอย่างเช่น เมื่อมีอินพุท (ซึ่งในที่นี้จะหมายถึงค่า 0-255 ในระบบเลขฐานสิบ หรือ 00000000-11111111 ในระบบเลขฐานสอง) 255 (หรือ11111111) จะมีค่าเอาท์พุทออกมาแสดงบนฟอร์มแสดง ผลเท่ากับ 1.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร จากนั้นหากระดับอินพุทที่เข้ามาลดลงเหลือ 254 (หรือ 11111110) ค่าเอาท์พุทที่ออกมาแสดงบนฟอร์มแสดงผลจะมีค่าเท่ากับ 0.996 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

## บทสรุป

ในระบบอุตสาหกรรมสมัยปัจจุบันได้มีการนำระบบใหม่ๆ มาใช้งาน เช่น ระบบอิเล็กทรอนิกส์ และ คอมพิวเตอร์ จึงเป็นที่มาของโครงการนี้ เพื่อทำหน้าที่ เชื่อมระหว่าง ระบบนิวแมติกส์ ระบบอิเล็กทรอนิกส์ และ คอมพิวเตอร์ ให้สามารถใช้งานร่วมกันได้ ลดค่าใช้จ่ายในการเปลี่ยนระบบเก่า ให้เป็นระบบใหม่ทั้งหมด

จากที่ได้กล่าวอธิบายมาทั้งหมดได้อธิบายถึงหลักการการทำงานและการนำไปใช้งานของ เครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นกระแส และ ส่วนอินเตอร์เฟซ โดยแยกอธิบายเป็นส่วนๆ ไป ซึ่งหวังว่าคงจะมีประโยชน์ได้ ใช้งานในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

ซึ่งจากผลการทดลองที่ได้ โครงการนี้ สำเร็จตามจุดประสงค์และเป้าหมายที่ตั้งไว้ทุกประการคือ

- สามารถเชื่อมต่อระบบอุตสาหกรรมทั้งสองแบบเข้าด้วยกันโดยสมบูรณ์
- มีงบประมาณน้อยกว่า
- สามารถพัฒนารูปแบบของ เครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นสัญญาณกระแส ใน คำนเอาท์พุทที่สามารถนำไปใช้ในส่วนต่างๆ ดังกล่าวมาแล้ว
- สัญญาณต่างๆ สามารถนำมาใช้งานได้จริง เช่น สัญญาณดิจิตอลที่ได้สามารถนำมาเป็นข้อมูลในการ แสดงค่า , กราฟ และ ทำการบันทึกค่า ตลอดจนพิมพ์ออกมาทาง เครื่องพิมพ์ได้ โดยผ่านโปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อรองรับการทำงานนั้นๆ

ภาคผนวก

SOURCE PROGRAM

DATA SHEET

วงจร SCHEMATIC

วงจรPCB



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Attribute VB\_Name = "Module1"

Option Explicit

Public Setport As Integer 'set port

Public instring As String \* 1 'data of comport

Public Ddate As String 'data of date

Public Dtime As String 'data of time

Public Dpressure As Single 'data of pressure

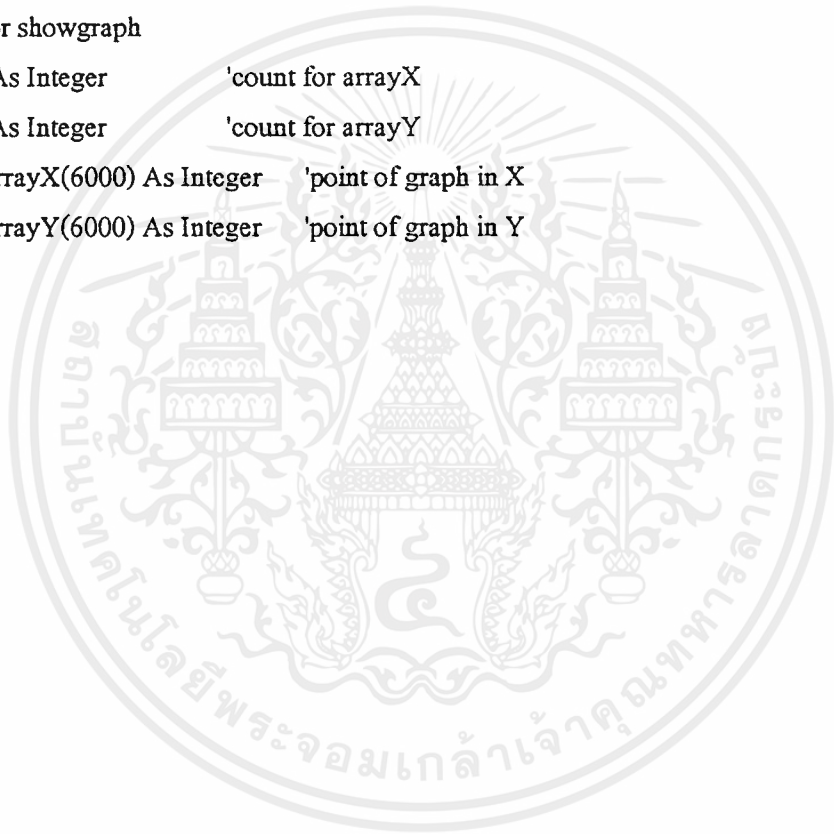
'define for showgraph

Public i As Integer 'count for arrayX

Public j As Integer 'count for arrayY

Public ArrayX(6000) As Integer 'point of graph in X

Public ArrayY(6000) As Integer 'point of graph in Y



ภาคผนวก

SOURCE PROGRAM

DATA SHEET

วงจร SCHEMATIC

วงจรPCB



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VERSION 4.00

Begin VB.Form frmPtoI

AutoRedraw = -1 'True  
BackColor = &H00C0C0C0&  
Caption = "PtoI"  
ClientHeight = 6615  
ClientLeft = 1935  
ClientTop = 1530  
ClientWidth = 6690  
Height = 7020  
Left = 1875  
LinkTopic = "Form1"  
MaxButton = 0 'False  
ScaleHeight = 6615  
ScaleWidth = 6690  
Top = 1185  
Width = 6810

Begin VB.CommandButton cmdExit

Caption = "Exit"  
Height = 495  
Left = 5160  
TabIndex = 24  
Top = 6000  
Width = 1215

End

Begin VB.TextBox txtPrint

Height = 375  
Left = 3120  
TabIndex = 22  
Text = "1"  
Top = 6120  
Width = 495

End

Begin VB.CommandButton cmdStopSave

Caption = "Save Stop"  
Enabled = 0 'False  
Height = 495  
Left = 240

```
TabIndex = 19
Top = 6000
Width = 1215
```

End

Begin VB.CommandButton cmdStopPrint

```
Caption = "Stop Print"
Enabled = 0 'False
Height = 495
Left = 3120
TabIndex = 18
Top = 5400
Width = 1215
```

End

Begin VB.CommandButton cmdPrint

```
Caption = "Print"
Height = 495
Left = 1680
TabIndex = 17
Top = 5400
Width = 1215
```

End

Begin VB.PictureBox ShowGraph

```
AutoRedraw = -1 'True
BackColor = &H00FFFFFF&
FillColor = &H0080FF80&
FillStyle = 6 'Cross
ForeColor = &H00FFFFFF&
Height = 1815
Left = 600
ScaleHeight = 255
ScaleMode = 0 'User
ScaleWidth = 6000
TabIndex = 8
Top = 3240
Width = 4335
```

End

Begin VB.Timer TimerClock

```
Interval = 1000
```

```

Left      = 4080
Top       = 1320
End
Begin GaugeLib.Gauge Gauge
Height    = 5715
Left      = 5880
TabIndex = 1
Top       = 180
Width     = 705
_Version  = 65536
_ExtentX = 1244
_ExtentY = 10081
_StockProps = 73
ForeColor = 16744576
BackColor = -2147483633
InnerTop  = 12
InnerLeft = 13
InnerRight = 14
InnerBottom = 11
Style     = 1
NeedleWidth = 1
Picture   = "ProjectPtoI.frx":0000
End
Begin VB.Timer TimerComm
Enabled   = 0 'False
Left      = 3480
Top       = 2160
End
Begin VB.Timer Timerprint
Enabled   = 0 'False
Interval  = 3000
Left      = 4080
Top       = 2160
End
Begin VB.CommandButton cmdSave
Caption   = "Save File"
Height    = 495
Left      = 240

```

```
TabIndex = 7
Top = 5400
Width = 1215
```

End

Begin VB.Label Label11

```
Caption = "Min"
```

BeginProperty Font

```
name = "MS Sans Serif"
charset = 222
weight = 400
size = 12
underline = 0 'False'
italic = 0 'False'
strikethrough = 0 'False'
```

EndProperty

```
Height = 495
Left = 3720
TabIndex = 23
Top = 6120
Width = 615
```

End

Begin VB.Label Label9

```
Alignment = 1 'Right Justify'
```

```
Caption = "Print Every :"
```

BeginProperty Font

```
name = "MS Sans Serif"
charset = 222
weight = 400
size = 12
underline = 0 'False'
italic = 0 'False'
strikethrough = 0 'False'
```

EndProperty

```
Height = 495
Left = 1680
TabIndex = 21
```

```
Top = 6120
Width = 1215
```

End

Begin VB.Line Line9

X1 = 480

X2 = 600

Y1 = 4680

Y2 = 4680

End

Begin VB.Label Label10

Caption = "0.2"

Height = 375

Left = 120

TabIndex = 20

Top = 4560

Width = 255

End

Begin VB.Label Label8

Alignment = 1 'Right Justify

Caption = "0%"

Height = 375

Left = 5280

TabIndex = 16

Top = 5520

Width = 495

End

Begin VB.Label Label7

Alignment = 1 'Right Justify

Caption = "25%"

Height = 495

Left = 5280

TabIndex = 15

Top = 4320

Width = 495

End

Begin VB.Label Label6

Alignment = 1 'Right Justify

Caption = "50%"

Height = 495

Left = 5280

```
TabIndex = 14
Top = 2880
Width = 495
Ehd
Begin VB.Label Label5
Alignment = 1 'Right Justify
Caption = "75%"
Height = 495
Left = 5280
TabIndex = 13
Top = 1560
Width = 495
```

End

```
Begin VB.Label Label4
Alignment = 1 'Right Justify
Caption = "100%"
Height = 495
Left = 5280
TabIndex = 12
Top = 240
Width = 495
```

End

```
Begin VB.Line Line8
X1 = 240
X2 = 4920
Y1 = 1920
Y2 = 1920
```

End

```
Begin VB.Line Line7
X1 = 240
X2 = 4920
Y1 = 1080
Y2 = 1080
```

End

```
Begin VB.Line Line6
X1 = 240
X2 = 4920
Y1 = 2760
```

```
Y2      = 2760
End
Begin VB.Line Line5
X1      = 4920
X2      = 4920
Y1      = 2760
Y2      = 240
```

End

```
Begin VB.Line Line4
X1      = 4920
X2      = 240
Y1      = 240
Y2      = 240
```

End

```
Begin VB.Line Line3
X1      = 240
X2      = 240
Y1      = 240
Y2      = 2760
```

End

```
Begin VB.Label Label2
Alignment = 2 'Center
Caption   = ""
Height   = 255
Left     = 4560
TabIndex = 10
Top      = 5280
Width    = 375
```

End

```
Begin VB.Label Label1
Alignment = 2 'Center
BackColor = &H00C0C0C0&
Caption   = "kg/cm2"
```

BeginProperty Font

```
name      = "MS Sans Serif"
charset   = 222
weight    = 400
size      = 12
```

```
underline = 0 'False
italic = 0 'False
strikethrough = 0 'False
```

```
EndProperty
```

```
Height = 495
Left = 3480
TabIndex = 9
Top = 360
Width = 1215
```

```
End
```

```
Begin VB.Line Line2
```

```
X1 = 360
X2 = 5040
Y1 = 5160
Y2 = 5160
```

```
End
```

```
Begin VB.Line Line1
```

```
BorderColor = &H00000000&
X1 = 480
X2 = 480
Y1 = 3120
Y2 = 5280
```

```
End
```

```
Begin VB.Label lblDate
```

```
Alignment = 1 'Right Justify
BackColor = &H00C0C0C0&
Caption = "Date/Month/Year : "
Height = 495
Left = 240
TabIndex = 6
Top = 2160
Width = 1455
```

```
End
```

```
Begin VB.Label ShowTime
```

```
Alignment = 2 'Center
BackColor = &H00C0C0C0&
Height = 495
Left = 2040
```

TabIndex = 5  
Top = 1320  
Width = 1215

End

Begin VB.Label lblTime

Alignment = 2 'Center  
BackColor = &H00C0C0C0&  
Caption = "Time: "  
Height = 495  
Left = 480  
TabIndex = 4  
Top = 1320  
Width = 1215

End

Begin VB.Label ShowDate

Alignment = 2 'Center  
BackColor = &H00C0C0C0&  
Height = 495  
Left = 2040  
TabIndex = 3  
Top = 2160  
Width = 1215

End

Begin VB.Label lblPressure

Alignment = 1 'Right Justify  
BackColor = &H00C0C0C0&  
Caption = "Pressure :"

BeginProperty Font

name = "MS Sans Serif"  
charset = 222  
weight = 400  
size = 12  
underline = 0 'False  
italic = 0 'False  
strikethrough = 0 'False

EndProperty

Height = 495

Left = 360

```

TabIndex    = 2
Top         = 360
Width      = 1215
End
Begin VB.Label ShowPressure
    BackColor = &H00C0C0C0&
    BeginProperty Font
        name      = "MS Sans Serif"
        charset   = 222
        weight    = 400
        size      = 24
        underline = 0 'False
        italic    = 0 'False
        strikethrough = 0 'False
    EndProperty
    Height     = 495
    Left       = 2040
    TabIndex   = 0
    Top        = 360
    Width      = 1215
    WordWrap   = -1 'True
End
Begin MSCommLib.MSComm MSComm1
    Left       = 3480
    Top        = 1320
    _Version   = 65536
    _ExtentX   = 847
    _ExtentY   = 847
    _StockProps = 0
    CDTimeout  = 0
    CommPort   = 1
    CTSTimeout = 0
    DSRTIMEOUT = 0
    DTREnable  = 0 'False
    Handshaking = 0
    InBufferSize = 1

```

```

NullDiscard = 0 'False
OutBufferSize = 512
ParityReplace = "?"
RThreshold = 0
RTSEnable = 0 'False
Settings = "9600,n,8,1"
SThreshold = 0

```

End

Begin VB.Label Label3

```

BackColor = &H00C0C0C0&
Caption = "Kg/cm2"
Height = 375
Left = 120
TabIndex = 11
Top = 2880
Width = 615

```

End

End

Attribute VB\_Name = "frmPtoI"

Attribute VB\_Creatable = False

Attribute VB\_Exposed = False

Option Explicit

Sub drawgraph1()

```

Dim x1 As Integer 'start of line in X
Dim y1 As Integer 'start of line in y
Dim x2 As Integer 'end of line in X
Dim y2 As Integer 'end of line in Y
ArrayY(i) = Dpressure
x1 = ArrayX(i)
x2 = x1
y1 = 255 - ArrayY(i)
y2 = ShowGraph.ScaleHeight
ShowGraph.Line (x1, y1)-(x2, y2), 14410
i = i + 1

```

End Sub

Sub drawgraph2()

```

Dim x1 As Integer 'start of line in X
Dim y1 As Integer 'start of line in y

```

```

Dim x2 As Integer 'end of line in X
Dim y2 As Integer 'end of line in Y
Dim k As Integer
Dim temp As Integer
temp = Dpressure
k = 1
j = 1
For j = 1 To 2999 'change data form n+1 to n
    k = j + 3000
    ArrayY(j) = ArrayY(k)
Next j
    ArrayY(3001) = temp
    ShowGraph.Cls
j = 1
For j = 1 To 3000
    x1 = ArrayX(j)
    x2 = x1
    y1 = ArrayY(j)
    y2 = ShowGraph.ScaleHeight
    ShowGraph.Line (x1, y1)-(x2, y2), 14410
Next j
    x1 = ArrayX(3001)
    x2 = x1
    y1 = ArrayY(3001)
    y2 = ShowGraph.ScaleHeight
    ShowGraph.Line (x1, y1)-(x2, y2), 14410
    i = 3001
    drawgraph1

```

End Sub

Private Sub cmdExit\_Click()

Unload frmsaveText

Unload frmSelect

Unload Me

End Sub

Private Sub cmdPrint\_Click()

Timerprint.Enabled = True

cmdPrint.Enabled = False

cmdStopPrint.Enabled = True

```

Timerprint.Interval = txtPrint * 60000 'convert to minute
txtPrint.Enabled = False
End Sub
Private Sub cmdSave_Click()
    frmsaveText.Show
    frmsaveText.cmdCancel.Enabled = True
    cmdStopSave.Enabled = True
    cmdSave.Enabled = False
End Sub
Private Sub cmdStopPrint_Click()
    Timerprint.Enabled = False
    cmdPrint.Enabled = True
    cmdStopPrint.Enabled = False
    txtPrint.Enabled = True
End Sub
Private Sub cmdStopSave_Click()
    cmdSave.Enabled = True
    cmdStopSave.Enabled = False
    frmsaveText.timerperiod.Enabled = False
    frmsaveText.cmdCancel.Enabled = True
    frmsaveText.cmdSave.Enabled = True
    frmsaveText.txtFileName.Enabled = True
    frmsaveText.txtperiod.Enabled = True
    frmsaveText.Dir1.Enabled = True
    frmsaveText.Drive1.Enabled = True
    frmsaveText.Hide
End Sub
Private Sub Form_load()
    Dim count As Integer
    For count = 1 To 6000 'define array for graph on X axis
        ArrayX(count) = count
    Next count
    TimerComm.Interval = 1000 'activate timercomm every 1 sec
    i = 1 'start for arrayX
    j = 1 'start for arrayY
    frmSelect.Show 'load form for select communication port
    frmPtoI.Hide

```

เอกสารนี้ **End Sub** การที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
Private Sub TimerClock_Timer()
```

```
' show clock and date
```

```
ShowDate.Caption = Format(Now, "dd/mm/yy")
```

```
ShowTime.Caption = Format(Now, "hh:mm:ss AM/PM")
```

```
Ddate = ShowDate.Caption
```

```
Dtime = ShowTime.Caption
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Timercomm_Timer()
```

```
Dim Tempdata As Integer
```

```
Dim x1 As Integer
```

```
Dim x2 As Integer
```

```
Dim y1 As Integer
```

```
Dim y2 As Integer
```

```
.
```

```
' draw lower line of graph
```

```
x1 = 0
```

```
x2 = 6000
```

```
y1 = 204
```

```
y2 = 204
```

```
ShowGraph.Line (x1, y1)-(x2, y2), vbYellow
```

```
MSComm1.CommPort = Setport ' Use selected communication port.
```

```
MSComm1.Settings = "9600,N,8,1" ' 9600 baud, no parity, 8 data, and 1 stop bit.
```

```
MSComm1.InputLen = 1 ' Tell the control to read one byte buffer when Input is used.
```

```
MSComm1.PortOpen = True ' Open the port.
```

```
instring = MSComm1.Input
```

```
Tempdata = Asc(instring)
```

```
' show and change input to true range
```

```
ShowPressure.Caption = Format(Tempdata * (0.8 / 204), "0.000")
```

```
Dpressure = Tempdata ' keep data for all form
```

```
MSComm1.PortOpen = False ' Close the serial port.
```

```
' show gauge
```

```
If Tempdata >= 51 Then
```

```
Gauge.Value = ((Tempdata - 51) * (100 / 204))
```

```
Else: Gauge.Value = 0
```

```
End If
```

```
If i <= 6000 Then
```

```
drawgraph1
```

```
Else: drawgraph2
End If
End Sub
Private Sub Timerprint_Timer()
Dim temp As Variant
temp = Format(Dpressure * (0.8 / 204), "0.000")
Printer.Print Ddate; Tab(20); Dtime; Tab(40); "Pressure = " & temp & " kg/cm2"
DoEvents
End Sub
```



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VERSION 4.00

Begin VB.Form frmsaveText

Caption = "saveText"

ClientHeight = 3015

ClientLeft = 1920

ClientTop = 1545

ClientWidth = 6690

Height = 3420

Left = 1860

LinkTopic = "Form1"

LockControls = -1 'True

MaxButton = 0 'False

MinButton = 0 'False

ScaleHeight = 3015

ScaleWidth = 6690

Top = 1200

Width = 6810

Begin VB.DirListBox Dir1

Height = 1950

Left = 3120

TabIndex = 8

Top = 720

Width = 2175

End

Begin VB.DriveListBox Drive1

Height = 330

Left = 5400

TabIndex = 7

Top = 720

Width = 1215

End

Begin VB.Timer Timerperiod

Enabled = 0 'False

Left = 0

Top = 2520

End

Begin VB.TextBox txtFileName

Height = 495

```
Left      = 1440
TabIndex  = 4
Text      = "c:\viroj\testfile.txt"
Top       = 120
Width     = 5055
```

End

Begin VB.CommandButton cmdCancel

```
Caption   = "Cancel"
Height    = 495
Left      = 1680
TabIndex  = 2
Top       = 1560
Width     = 1215
```

End

Begin VB.TextBox txtperiod

```
Height    = 495
Left      = 1440
TabIndex  = 1
Text      = "1"
Top       = 720
Width     = 375
```

End

Begin VB.CommandButton cmdSave

```
Caption   = "SaveStart"
Height    = 495
Left      = 120
TabIndex  = 0
Top       = 1560
Width     = 1215
```

End

Begin VB.Label lblMin

```
Caption   = "Min"
BeginProperty Font
    name    = "MS Sans Serif"
    charset = 222
    weight  = 400
    size    = 12
    underline = 0 False
```

```
italic      = 0 'False
strikethrough = 0 'False
EndProperty
'Height    = 375
Left      = 1920
TabIndex  = 6
Top       = 840
Width     = 495
End
```

```
Begin VB.Label lblFileName
```

```
Alignment  = 2 'Center
Caption    = "Save File As"
```

```
BeginProperty Font
```

```
name      = "MS Sans Serif"
charset   = 222
weight    = 400
size      = 12
underline = 0 'False
italic    = 0 'False
strikethrough = 0 'False
```

```
EndProperty
```

```
Height    = 375
'Left     = 0
TabIndex  = 5
Top       = 240
Width     = 1455
```

```
End
```

```
Begin VB.Label lblperiod
```

```
Alignment  = 2 'Center
Caption    = "Save Every"
```

```
BeginProperty Font
```

```
name      = "MS Sans Serif"
charset   = 222
weight    = 400
size      = 12
underline = 0 'False
italic    = 0 'False
strikethrough = 0 'False
```

```
EndProperty
Height = 375
Left = 240
TabIndex = 3
Top = 840
Width = 1215

End

End
Attribute VB_Name = "frmsaveText"
Attribute VB_Creatable = False
Attribute VB_Extensible = False
Attribute VB_Exposed = False
Option Explicit
```

```
Public dname As String
```

```
Private Sub cmdSave_Click()
```

```
    timerperiod.Interval = txtperiod.Text * 60000 'convert to minute
    timerperiod.Enabled = True
    cmdCancel.Enabled = True
    cmdSave.Enabled = False
    txtFileName.Enabled = False
    txtperiod.Enabled = False
    Dir1.Enabled = False
    Drive1.Enabled = False
    dname = txtFileName.Text
    frmPtoI.cmdSave.Enabled = False
    frmsaveText.Hide
```

```
End Sub
```

```
Private Sub cmdCancel_Click()
```

```
    timerperiod.Enabled = False
    cmdCancel.Enabled = False
    cmdSave.Enabled = True
    txtFileName.Enabled = True
    txtperiod.Enabled = True
    Dir1.Enabled = True
    Drive1.Enabled = True
    frmPtoI.cmdStopSave.Enabled = False
    frmPtoI.cmdSave.Enabled = True
    frmsaveText.Hide
```

```

End Sub
Private Sub Dir1_Change()
    txtFileName.Text = Dir1.List(Dir1.ListIndex) + "\"
End Sub
Private Sub Dir1_Click()
    txtFileName.Text = Dir1.List(Dir1.ListIndex) + "\"
End Sub
Private Sub Dir1_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If KeyAscii = vbKeyReturn Then
        txtFileName.Text = Dir1.List(Dir1.ListIndex)
    End If
End Sub
Private Sub Drive1_Change()
    Dir1.Path = Drive1.Drive
    txtFileName.Text = Drive1.Drive + "\"
End Sub
Private Sub timerperiod_Timer()
    Dim Dstring1 As String
    Dim Dstring2 As String
    Dim dstring3 As String
    Dim Pdata As Single 'variable for save
    Dim temp As Variant
    Pdata = Format((Dpressure * (0.8 / 204)), "0.000") 'change for true range
    Open dname For Append Access Read Write Shared As #1 ' Open file for read and write
        Write #1, Ddate; Tab(20); Dtime; Tab(40); "Pressure = " & Pdata & " kg/cm2"
    Close #1
End Sub

```

VERSION 4.00

Begin VB.Form frmSelect

Caption = "Select Port"

ClientHeight = 2160

ClientLeft = 3045

ClientTop = 1530

ClientWidth = 3840

Height = 2565

Left = 2985

LinkTopic = "Form1"

MaxButton = 0 'False

MinButton = 0 'False

ScaleHeight = 2160

ScaleWidth = 3840

Top = 1185

Width = 3960

Begin VB.CommandButton cmdNext

Caption = "Next"

Height = 495

Left = 2160

TabIndex = 2

Top = 720

Width = 1215

End

Begin VB.OptionButton optPort

Caption = "Comm 2"

Height = 495

Index = 1

Left = 720

TabIndex = 1

Top = 1440

Width = 1215

End

Begin VB.OptionButton optPort

Caption = "Comm 1"

Height = 495

Index = 0

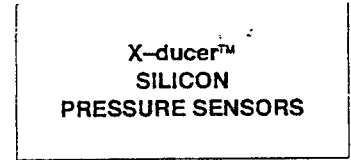
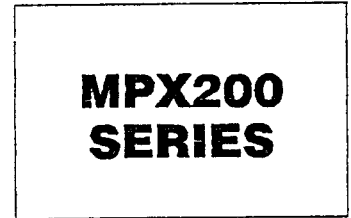
Left = 720

```

TabIndex    = 0
Top         = 720
Value       = -1 'True
Width       = 1215
End
Begin VB.Label Label1
    Alignment    = 2 'Center
    Caption      = "Please select your Serial Communication Port"
    Height       = 375
    Left         = 120
    TabIndex     = 3
    Top          = 120
    Width        = 3615
End
End
Attribute VB_Name = "frmSelect"
Attribute VB_Creatable = False
Attribute VB_Exposed = False
Option Explicit
Private Sub cmdNext_Click()
    Dim index As Integer
    If (index = 0) Then 'set communication port
        Setport = 1
    Else
        Setport = 2
    End If
    frmPtoI.Show
    frmPtoI.TimerComm.Enabled = True 'start timer for recieve data from port
    frmSelect.Hide
End Sub

```

# 0 to 200 kPa (0 to 29 PSI) Uncompensated, Silicon Pressure Sensors



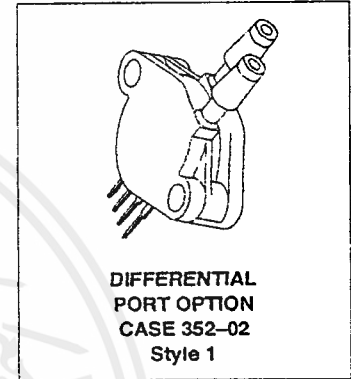
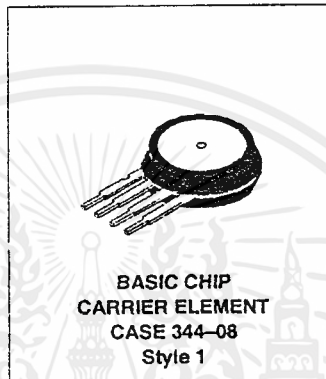
The MPX200 series device is a silicon piezoresistive pressure sensors provide a very accurate and linear voltage output — directly proportional to the applied pressure. This standard, low cost, uncompensated sensor permits manufacturers to design and add their own external temperature compensating and signal conditioning networks. Compensation techniques are simplified because of the predictability of Motorola's single element strain gauge design.

**Features**

- Low Cost
- Patented Silicon Shear Stress Strain Gauge
- ±0.25% (max) Linearity
- Full Scale Span 60 mV (Typ)
- Easy to Use Chip Carrier Package Options
- Ratiometric to Supply Voltage
- Absolute, Differential and Gauge Options

**Application Examples**

- Pump/Motor Controllers
- Robotics
- Level Indicators
- Medical Diagnostics
- Pressure Switching
- Barometers
- Altimeters



Pin Number			
1	2	3	4
Ground	+V <sub>out</sub>	V <sub>S</sub>	-V <sub>out</sub>

**MAXIMUM RATINGS**

Rating	Symbol	Value	Unit
Overpressure <sup>(8)</sup> (P1 > P2)	P <sub>max</sub>	400	kPa
Burst Pressure <sup>(8)</sup> (P1 > P2)	P <sub>burst</sub>	2000	kPa
Storage Temperature	T <sub>stg</sub>	-50 to +150	°C
Operating Temperature	T <sub>A</sub>	-40 to +125	°C

**VOLTAGE OUTPUT versus APPLIED DIFFERENTIAL PRESSURE**

The differential voltage output of the X-ducer is directly proportional to the differential pressure applied. The absolute sensor has a built-in reference vacuum. The output voltage will decrease as vacuum, relative to ambient, is drawn on the pressure (P1) side. The output voltage of the differential or gauge sensor increases with increasing pressure applied to the pressure (P1) side relative to the vacuum (P2) side. Similarly, output voltage increases as increasing vacuum is applied to the vacuum (P2) side relative to the pressure (P1) side. Figure 1 illustrates a schematic of the internal circuitry on the stand-alone pressure sensor chip.

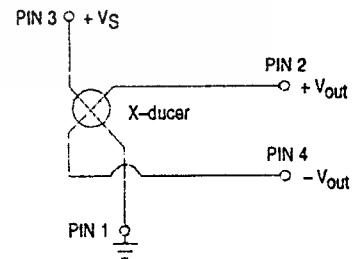


Figure 1. Uncompensated Pressure Sensor Schematic

X-ducer is a trademark of Motorola, Inc.

## MPX200 SERIES

OPERATING CHARACTERISTICS ( $V_S = 3.0$  Vdc,  $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise noted,  $P_1 > P_2$ )

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Pressure Range <sup>(1)</sup>	$P_{OP}$	0	—	200	kPa
Supply Voltage <sup>(2)</sup>	$V_S$	—	3.0	6.0	Vdc
Supply Current	$I_o$	—	6.0	—	mAdc
Full Scale Span <sup>(3)</sup>	$V_{FSS}$	45	60	90	mV
Offset <sup>(4)</sup>	$V_{off}$	0	20	35	mV
Sensitivity	$\Delta V/\Delta P$	—	0.3	—	mV/kPa
Linearity <sup>(5)</sup>	—	-0.25	—	0.25	% $V_{FSS}$
Pressure Hysteresis <sup>(5)</sup> (0 to 200 kPa)	—	—	$\pm 0.1$	—	% $V_{FSS}$
Temperature Hysteresis <sup>(5)</sup> ( $-40^\circ\text{C}$ to $+125^\circ\text{C}$ )	—	—	$\pm 0.5$	—	% $V_{FSS}$
Temperature Coefficient of Full Scale Span <sup>(5)</sup>	$TCV_{FSS}$	-0.22	—	-0.16	% $V_{FSS}/^\circ\text{C}$
Temperature Coefficient of Offset <sup>(5)</sup>	$TCV_{off}$	—	$\pm 15$	—	$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Temperature Coefficient of Resistance <sup>(5)</sup>	$TCR$	0.21	—	0.27	% $Z_{in}/^\circ\text{C}$
Input Impedance	$Z_{in}$	400	—	550	$\Omega$
Output Impedance	$Z_{out}$	750	—	1800	$\Omega$
Response Time <sup>(6)</sup> (10% to 90%)	$t_R$	—	1.0	—	ms
Offset Stability <sup>(5)</sup>	—	—	$\pm 0.5$	—	% $V_{FSS}$

## MECHANICAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Weight (Basic Element Case 344)	—	—	2.0	—	Grams
Warm-Up	—	—	15	—	Sec
Cavity Volume	—	—	—	0.01	$\text{IN}^3$
Volumetric Displacement	—	—	—	0.001	$\text{IN}^3$
Common Mode Line Pressure <sup>(7)</sup>	—	—	—	690	kPa

### NOTES:

- 1.0 kPa (kiloPascal) equals 0.145 psi.
- Device is ratiometric within this specified excitation range. Operating the device above the specified excitation range may induce additional error due to device self-heating.
- Full Scale Span ( $V_{FSS}$ ) is defined as the algebraic difference between the output voltage at full rated pressure and the output voltage at the minimum rated pressure.
- Offset ( $V_{off}$ ) is defined as the output voltage at the minimum rated pressure.
- Accuracy (error budget) consists of the following:
  - Linearity: Output deviation from a straight line relationship with pressure, using end point method, over the specified pressure range.
  - Temperature Hysteresis: Output deviation at any temperature within the operating temperature range, after the temperature is cycled to and from the minimum or maximum operating temperature points, with zero differential pressure applied.
  - Pressure Hysteresis: Output deviation at any pressure within the specified range, when this pressure is cycled to and from the minimum or maximum rated pressure, at  $25^\circ\text{C}$ .
  - Offset Stability: Output deviation, after 1000 temperature cycles,  $-40$  to  $125^\circ\text{C}$ , and 1.5 million pressure cycles, with zero differential pressure applied.
  - TcSpan: Output deviation at full rated pressure over the temperature range of  $0$  to  $85^\circ\text{C}$ , relative to  $25^\circ\text{C}$ .
  - TcOffset: Output deviation with minimum rated pressure applied, over the temperature range of  $0$  to  $85^\circ\text{C}$ , relative to  $25^\circ\text{C}$ .
  - TCR:  $Z_{in}$  deviation with minimum rated pressure applied, over the temperature range of  $-40^\circ\text{C}$  to  $+125^\circ\text{C}$ , relative to  $25^\circ\text{C}$ .
- Response Time is defined as the time for the incremental change in the output to go from 10% to 90% of its final value when subjected to a specified step change in pressure.
- Common mode pressures beyond specified may result in leakage at the case-to-lead interface.
- Exposure beyond these limits may cause permanent damage or degradation to the device.

**LINEARITY**

Linearity refers to how well a transducer's output follows the equation:  $V_{out} = V_{off} + \text{sensitivity} \times P$  over the operating pressure range (see Figure 2). There are two basic methods for calculating nonlinearity: (1) end point straight line fit or (2) a least squares best line fit. While a least squares fit gives the "best case" linearity error (lower numerical value), the calculations required are burdensome.

Conversely, an end point fit will give the "worse case" error (often more desirable in error budget calculations) and the calculations are more straightforward for the user. Motorola's specified pressure sensor linearities are based on the end point straight line method measured at the midrange pressure.

**TEMPERATURE COMPENSATION**

Figure 3 shows the typical output characteristics of the MPX200 series over temperature. The output is directly proportional to the pressure and is essentially a straight line.

The X-ducer piezoresistive pressure sensor element is a semiconductor device which gives an electrical output signal

proportional to the pressure applied to the device. This device uses a unique transverse voltage diffused semiconductor strain gauge which is sensitive to stresses produced in a thin silicon diaphragm by the applied pressure.

Because this strain gauge is an integral part of the silicon diaphragm, there are no temperature effects due to differences in the thermal expansion of the strain gauge and the diaphragm, as are often encountered in bonded strain gauge pressure sensors. However, the properties of the strain gauge itself are temperature dependent, requiring that the device be temperature compensated if it is to be used over an extensive temperature range.

Temperature compensation and offset calibration can be achieved rather simply with additional resistive components or by designing your system using the MPX2200/MPX7200 series sensors.

Several approaches to external temperature compensation over both -40 to +125°C and 0 to +80°C ranges are presented in Motorola Applications Note AN840.

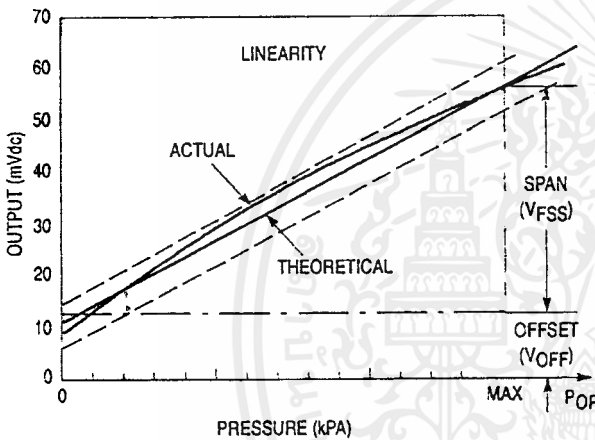


Figure 2. Linearity Specification Comparison

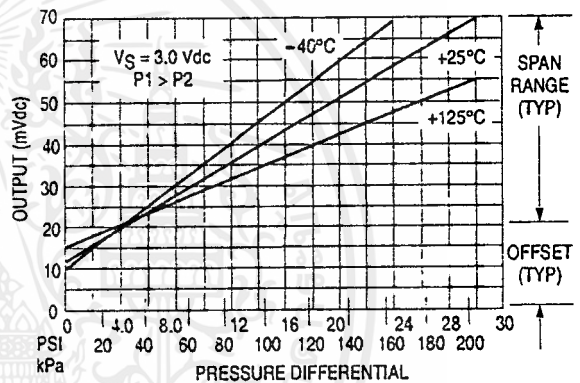


Figure 3. Output versus Pressure Differential

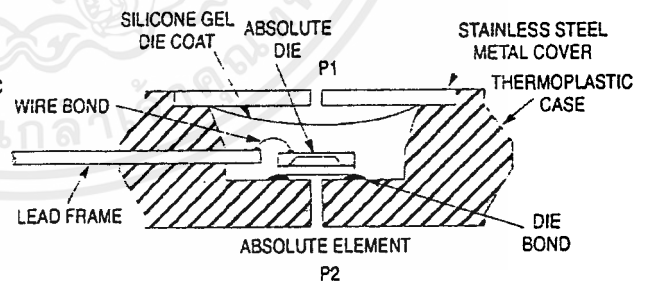
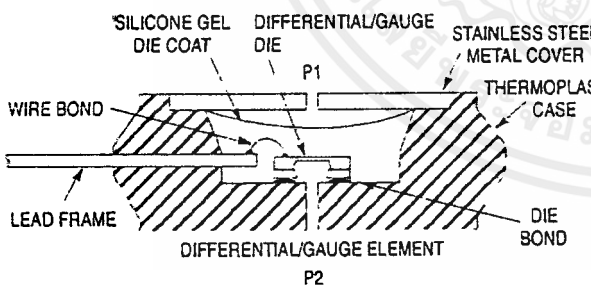


Figure 4. Cross-Sectional Diagrams (Not to Scale)

Figure 4 illustrates the absolute sensing configuration (right) and the differential or gauge configuration in the basic chip carrier (Case 344). A silicone gel isolates the die surface and wire bond from harsh environments, while allowing the pressure signal to be transmitted to the silicon diaphragm. The MPX200 series pressure sensor operating characteris-

tics and internal reliability and qualification tests are based on use of dry air as the pressure media. Media other than dry air may have adverse effects on sensor performance and long term reliability. Contact the factory for information regarding media compatibility in your application.

## MPX200 SERIES

### PRESSURE (P1)/VACUUM (P2) SIDE IDENTIFICATION TABLE

Motorola designates the two sides of the pressure sensor as the Pressure (P1) side and the Vacuum (P2) side. The Pressure (P1) side is the side containing the silicone gel which protects the die from harsh media. The differential or gauge sensor is designed to operate with positive differential

pressure applied,  $P1 > P2$ . The absolute sensor is designed for vacuum applied to P1 side.

The Pressure (P1) side may be identified by using the table below:

Part Number	Case Type	Pressure (P1) Side Identifier
MPX200A, MPX200D	344-08	Stainless Steel Cap
MPX200DP	352-02	Side with Part Marking
MPX200AP, MPX200GP	350-03	Side with Port Attached
MPX200GVP	350-04	Stainless Steel Cap
MPX200AS, MPX200GS	371-06	Side with Port Attached
MPX200GVS	371-05	Stainless Steel Cap
MPX200ASX, MPX200GSX	371C-02	Side with Port Attached
MPX200GVSX	371D-02	Stainless Steel Cap

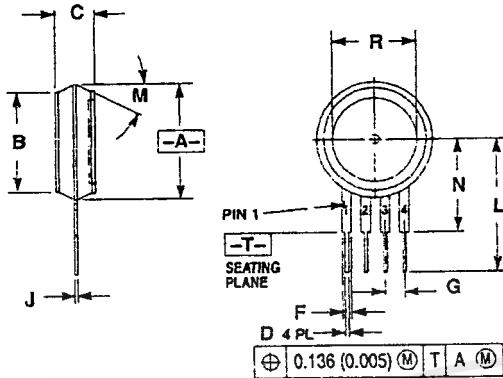
### ORDERING INFORMATION

MPX200 series pressure sensors are available in absolute, differential and gauge configurations. Devices are available in the basic element package or with pressure port fittings which provide printed circuit board mounting ease and barbed hose pressure connections.

Device Type	Options	Case Type	MPX Series	
			Order Number	Device Marking
Basic Element	Absolute, Differential	Case 344-08	MPX200A MPX200D	MPX200A MPX200D
Ported Elements	Differential	Case 352-02	MPX200DP	MPX200DP
	Absolute, Gauge	Case 350-03	MPX200AP MPX200GP	MPX200AP MPX200GP
	Gauge Vacuum	Case 350-04	MPX200GVP	MPX200GVP
	Absolute, Gauge Stove Pipe	Case 371-06	MPX200AS MPX200GS	MPX200A MPX200D
	Gauge Vacuum Stove Pipe	Case 371-05	MPX200GVS	MPX200D
	Absolute, Gauge Axial	Case 371C-02	MPX200ASX MPX200GSX	MPX200A MPX200D
	Gauge Vacuum Axial	Case 371D-02	MPX200GVSX	MPX200D

Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters can and do vary in different applications. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and M are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

PACKAGE DIMENSIONS



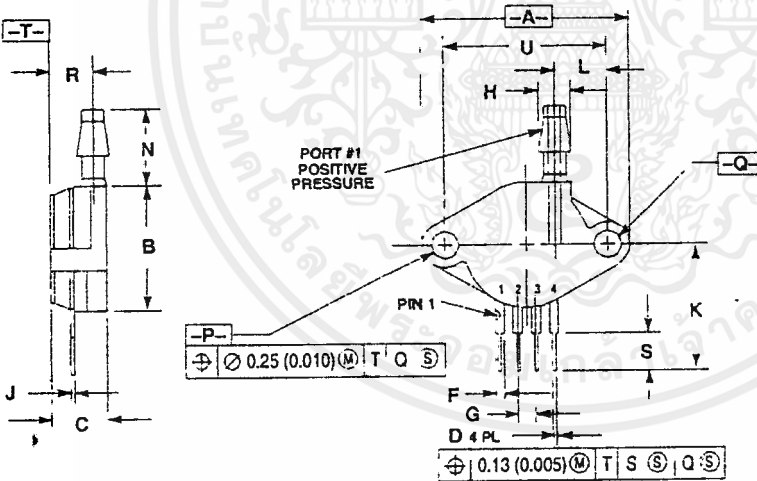
NOTES:  
 1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.  
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.590	0.615	14.99	15.62
B	0.505	0.525	12.83	13.34
C	0.195	0.225	4.95	5.72
D	0.016	0.020	0.41	0.51
F	0.048	0.052	1.22	1.32
G	0.100 BSC 2.54 BSC			
J	0.014	0.016	0.38	0.40
L	0.685	0.715	17.40	18.16
M	30° NOM		30° NOM	
N	0.480	0.500	12.19	12.70
R	0.420	0.450	10.67	11.43

STYLE 1:  
 PIN 1. GROUND  
 2. + OUTPUT  
 3. + SUPPLY  
 4. - OUTPUT

CASE 344-08  
 ISSUE M

BASIC ELEMENT (A, D)



NOTES:  
 1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5, 1982.  
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	1.140	1.180	28.95	29.97
B	0.685	0.751	17.39	18.16
C	0.305	0.321	7.74	8.15
D	0.018	0.020	0.40	0.50
F	0.048	0.052	1.21	1.32
G	0.100 BSC 2.54 BSC			
H	0.182	0.194	4.62	4.92
J	0.014	0.016	0.35	0.40
K	0.685	0.715	17.39	18.16
L	0.290	0.300	7.34	7.62
N	0.420	0.440	10.67	11.12
P	0.153	0.158	3.88	4.01
Q	0.153	0.158	3.88	4.01
R	0.231	0.250	5.86	6.35
S	0.230 REF		5.84 REF	
U	0.910 BSC		23.11 BSC	

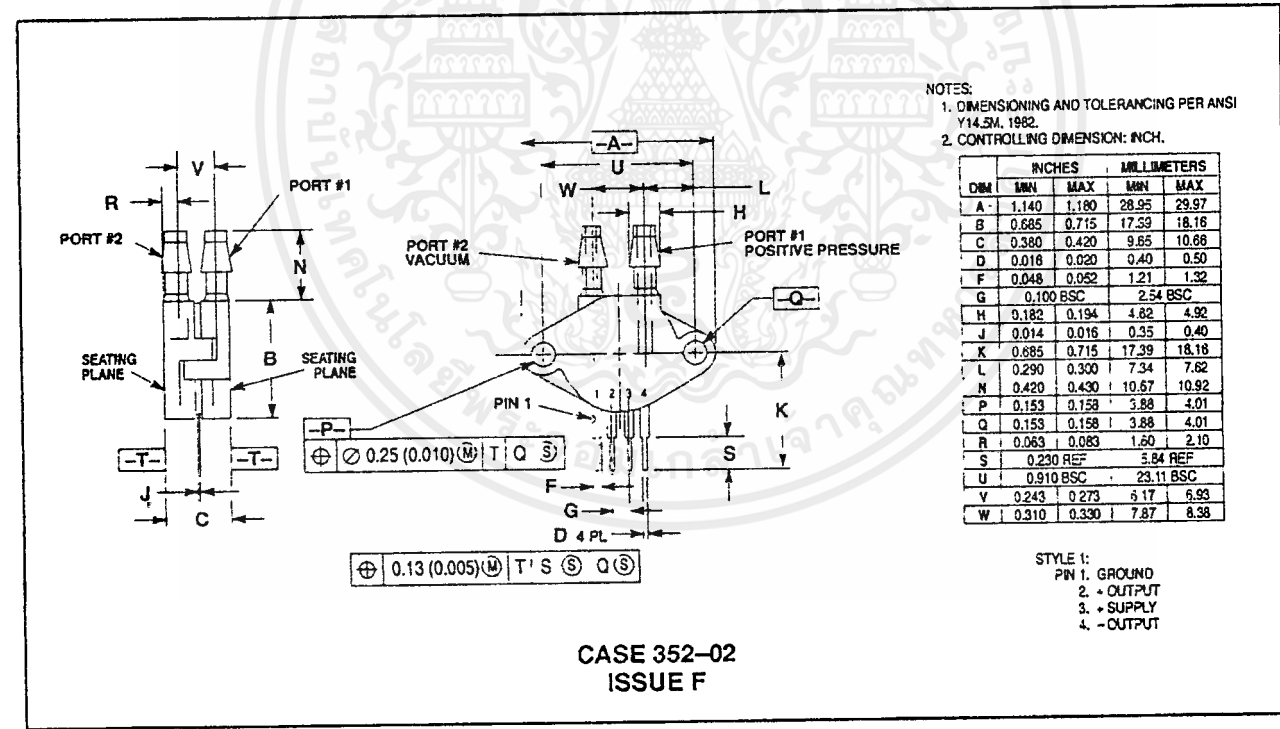
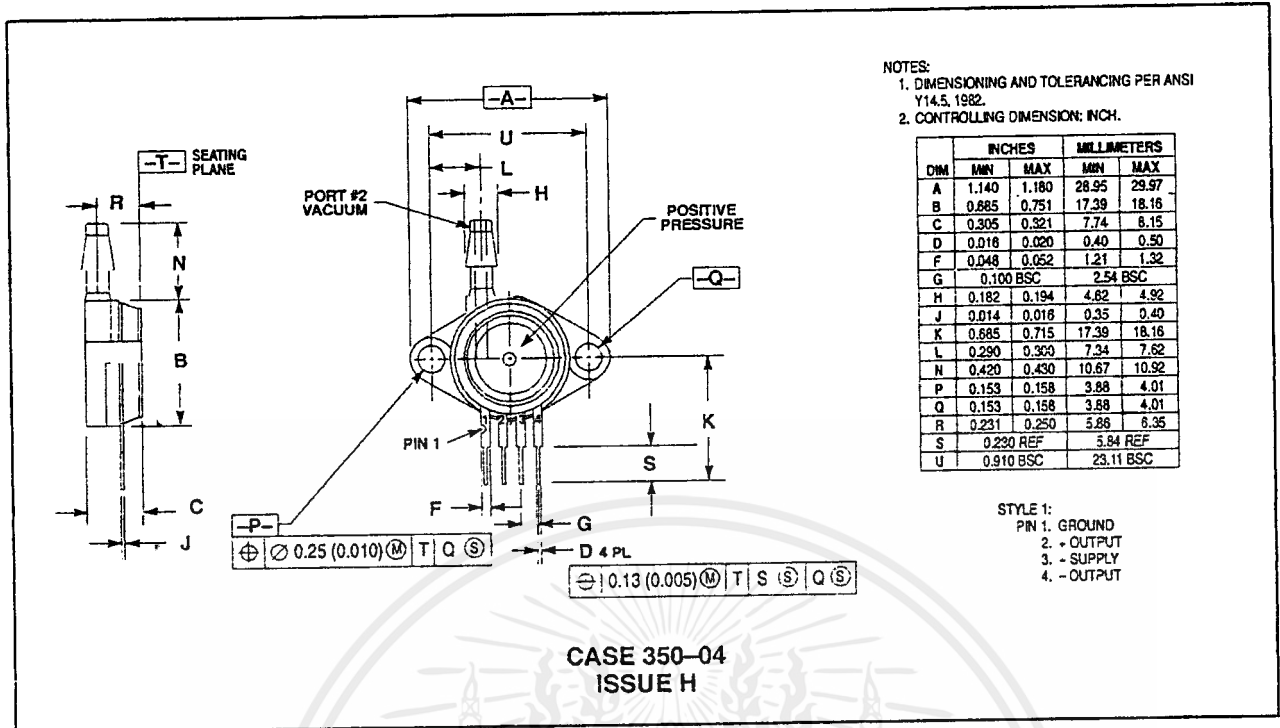
STYLE 1:  
 PIN 1. GROUND  
 2. - OUTPUT  
 3. + SUPPLY  
 4. - OUTPUT

CASE 350-03  
 ISSUE H

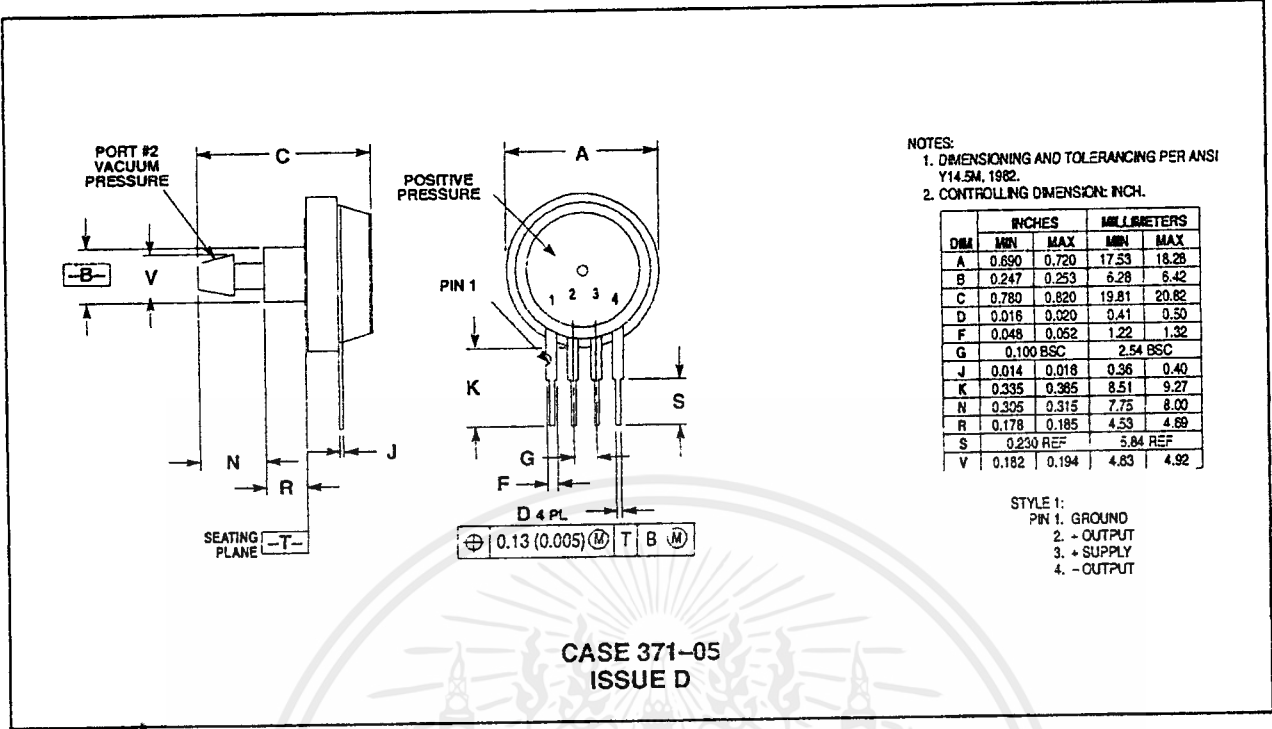
PRESSURE SIDE PORTED (AP, GP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

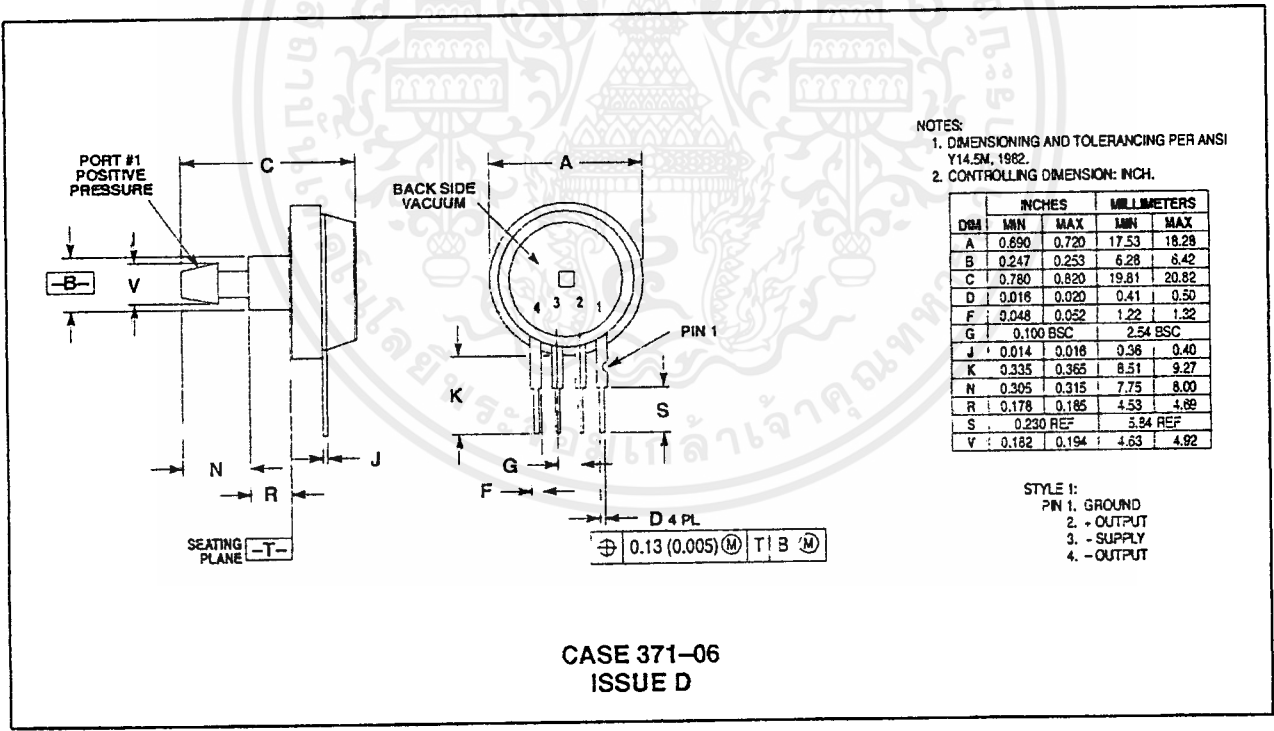
PACKAGE DIMENSIONS — CONTINUED



PACKAGE DIMENSIONS — CONTINUED

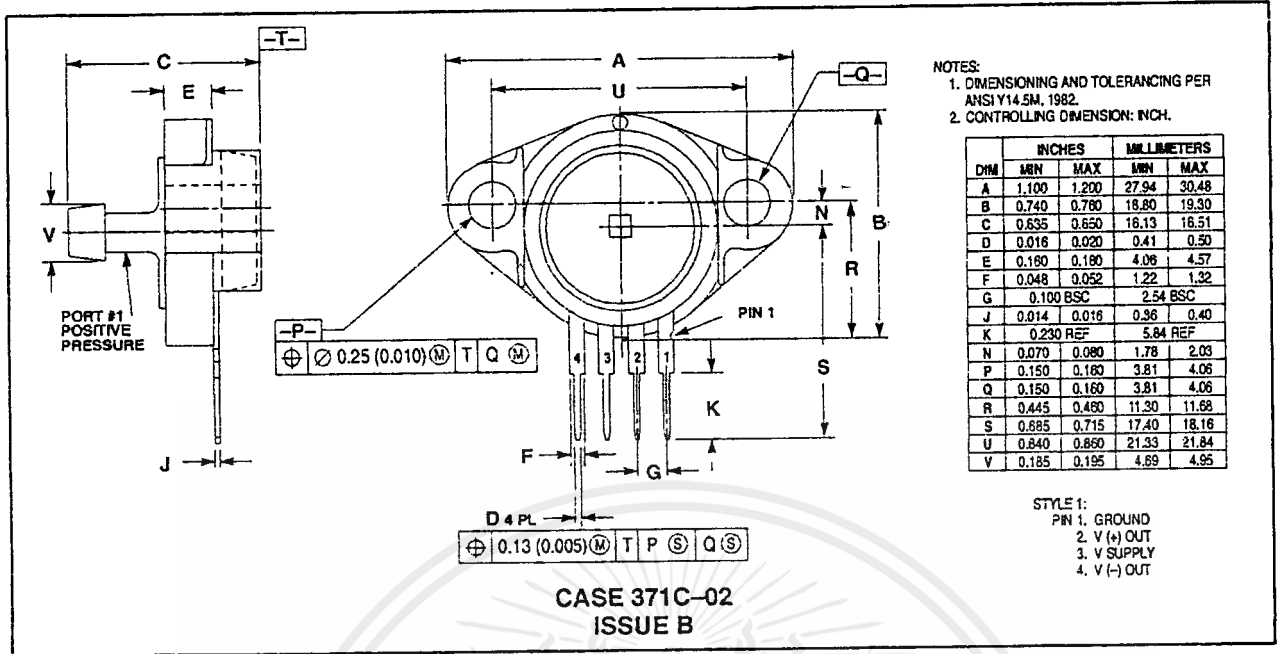


VACUUM SIDE PORTED (GVS)

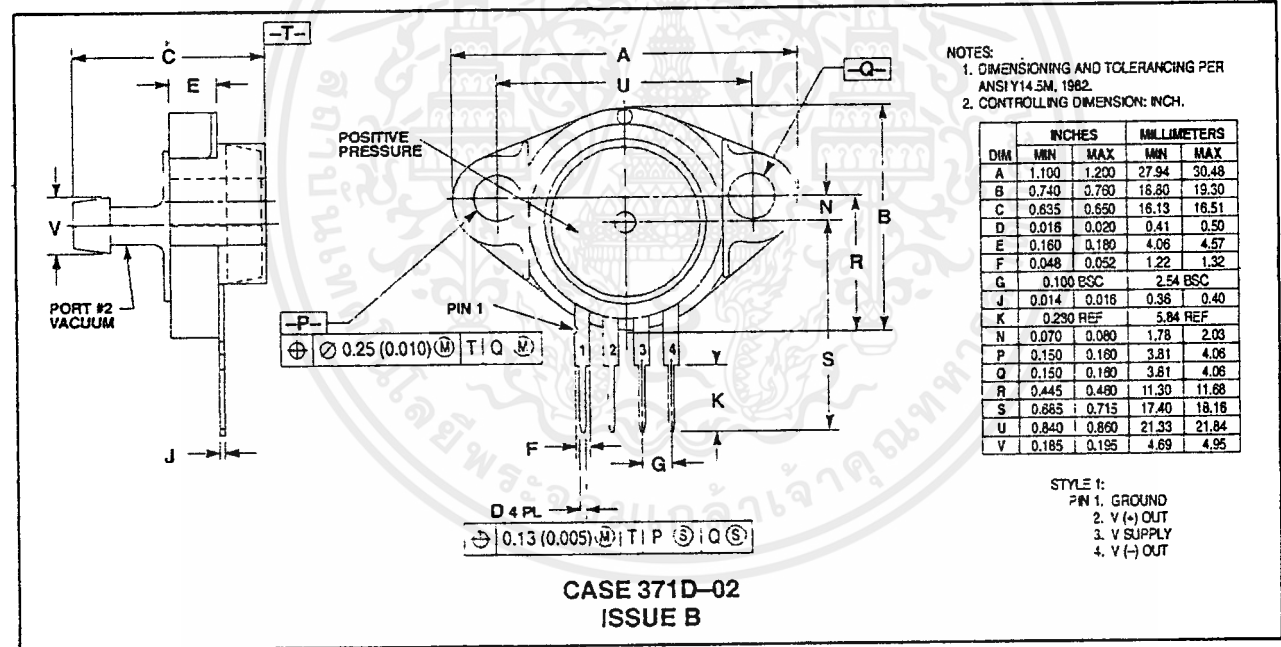


PRESSURE SIDE PORTED (AS, GS)

PACKAGE DIMENSIONS — CONTINUED



PRESSURE SIDE PORTED (ASX, GSX)



VACUUM SIDE PORTED (GVSX)

Literature Distribution Centers:

USA: Motorola Literature Distribution; P.O. Box 20912; Phoenix, Arizona 85036.

EUROPE: Motorola Ltd.; European Literature Centre; 88 Tanners Drive, Blakelands, Milton Keynes, MK14 5BP, England.

JAPAN: Nippon Motorola Ltd.; 4-32-1, Nishi-Gotanda, Shinagawa-ku, Tokyo 141, Japan.

ASIA PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; Silicon Harbour Center, No. 2 Dai King Street, Tai Po Industrial Estate, Tai Po, N.T., Hong Kong.



**MOTOROLA**

MPX200/D



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

## General Description

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

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

## Features

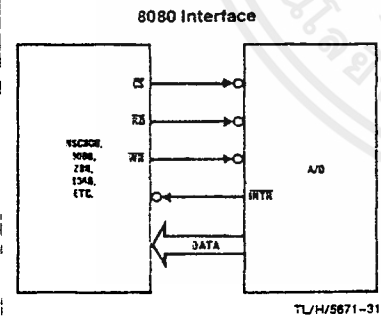
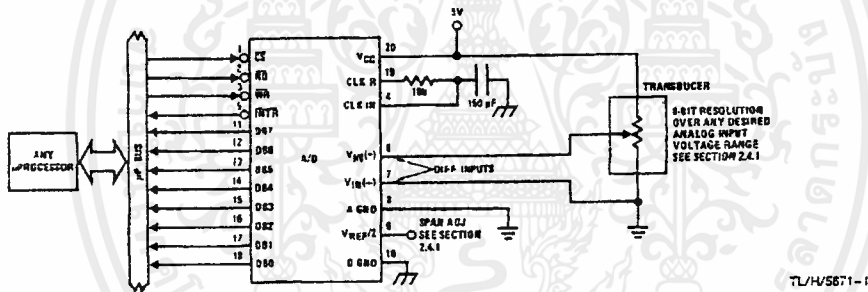
- Compatible with 8080  $\mu$ P derivatives—no interfacing logic needed - access time - 135 ns
- Easy interface to all microprocessors, or operates "stand alone"

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

## Key Specifications

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

## Typical Applications



Error Specification (Includes Full-Scale, Zero Error, and Non-Linearity)			
Part Number	Full-Scale Adjusted	V <sub>REF/2</sub> = 2.500 V <sub>DC</sub> (No Adjustments)	V <sub>REF/2</sub> = No Connection (No Adjustments)
ADC0801	$\pm 1/4$ LSB		
ADC0802		$\pm 1/2$ LSB	
ADC0803	$\pm 1/2$ LSB		
ADC0804		$\pm 1$ LSB	
ADC0805			$\pm 1$ LSB

TRI-STATE<sup>®</sup> is a registered trademark of National Semiconductor Corp.  
Z-80<sup>®</sup> is a registered trademark of Zilog Corp.

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Absolute Maximum Ratings (Notes 1 & 2)

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

Supply Voltage ( $V_{CC}$ ) (Note 3)	6.5V
Voltage	
Logic Control Inputs	-0.3V to +18V
At Other Input and Outputs	-0.3V to ( $V_{CC} + 0.3V$ )
Lead Temp. (Soldering, 10 seconds)	
Dual-In-Line Package (plastic)	260°C
Dual-In-Line Package (ceramic)	300°C
Surface Mount Package	
Vapor Phase (60 seconds)	215°C
Infrared (15 seconds)	220°C

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

## Operating Ratings (Notes 1 & 2)

Temperature Range	$T_{MIN} \leq T_A \leq T_{MAX}$
ADC0801/02LJ, ADC0802LJ/883	$-55^\circ\text{C} \leq T_A \leq +125^\circ\text{C}$
ADC0801/02/03/04LCJ	$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$
ADC0801/02/03/05LCN	$-40^\circ\text{C} \leq T_A \leq +85^\circ\text{C}$
ADC0804LCN	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$
ADC0802/03/04LCV	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$
ADC0802/03/04LCWM	$0^\circ\text{C} \leq T_A \leq +70^\circ\text{C}$
Range of $V_{CC}$	4.5 $V_{DC}$ to 6.3 $V_{DC}$

## Electrical Characteristics

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

Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
ADC0801: Total Adjusted Error (Note 8)	With Full-Scale Adj. (See Section 2.5.2)			$\pm 1/4$	LSB
ADC0802: Total Unadjusted Error (Note 8)	$V_{REF}/2 = 2.500 V_{DC}$			$\pm 1/2$	LSB
ADC0803: Total Adjusted Error (Note 8)	With Full-Scale Adj. (See Section 2.5.2)			$\pm 1/2$	LSB
ADC0804: Total Unadjusted Error (Note 8)	$V_{REF}/2 = 2.500 V_{DC}$			$\pm 1$	LSB
ADC0805: Total Unadjusted Error (Note 8)	$V_{REF}/2$ -No Connection			$\pm 1$	LSB
$V_{REF}/2$ Input Resistance (Pin 9)	ADC0801/02/03/05 ADC0804 (Note 9)	2.5 0.75	8.0 1.1		k $\Omega$ k $\Omega$
Analog Input Voltage Range	(Note 4) $V(+)$ or $V(-)$	Gnd-0.05		$V_{CC} + 0.05$	$V_{DC}$
DC Common-Mode Error	Over Analog Input Voltage Range		$\pm 1/16$	$\pm 1/8$	LSB
Power Supply Sensitivity	$V_{CC} = 5 V_{DC} \pm 10\%$ Over Allowed $V_{IN}(+)$ and $V_{IN}(-)$ Voltage Range (Note 4)		$\pm 1/16$	$\pm 1/8$	LSB

## AC Electrical Characteristics

The following specifications apply for  $V_{CC} = 5 V_{DC}$  and  $T_A = 25^\circ\text{C}$  unless otherwise specified.

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

**CONTROL INPUTS** (Note: CLK IN (Pin 4) is the input of a Schmitt trigger circuit and is therefore specified separately)

$V_{IN}(1)$	Logical "1" Input Voltage (Except Pin 4 CLK IN)	$V_{CC} = 5.25 V_{DC}$	2.0	15	$V_{DC}$
-------------	---	------------------------	-----	----	----------

## AC Electrical Characteristics (Continued)

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

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

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

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

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

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

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

Note 6: With an asynchronous start pulse, up to 8 clock periods may be required before the internal clock phases are proper to start the conversion process. The start request is internally latched, see Figure 2 and section 2.0.

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

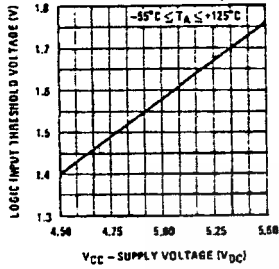
Note 8: None of these A/Ds requires a zero adjust (see section 2.5.1). To obtain zero code at other analog input voltages see section 2.5 and Figure 5.

Note 9: The  $V_{REF}/2$  pin is the center point of a two-resistor divider connected from  $V_{CC}$  to ground. In all versions of the ADC0801, ADC0802, ADC0803, and ADC0805, and in the ADC0804LCN, each resistor is typically 16 k $\Omega$ . In all versions of the ADC0804 except the ADC0804LCJ, each resistor is typically 2.2 k $\Omega$ .

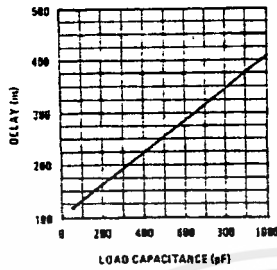
Note 10: Human body model, 100 pF discharged through a 1.5 k $\Omega$  resistor.

# Typical Performance Characteristics

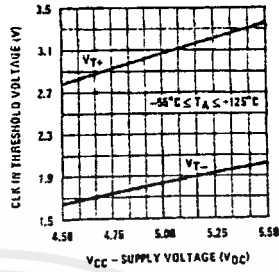
Logic Input Threshold Voltage vs. Supply Voltage



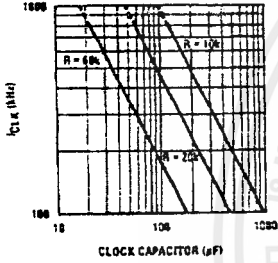
Delay From Falling Edge of RD to Output Data Valid vs. Load Capacitance



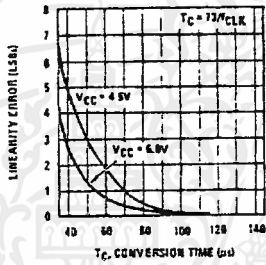
CLK IN Schmitt Trip Levels vs. Supply Voltage



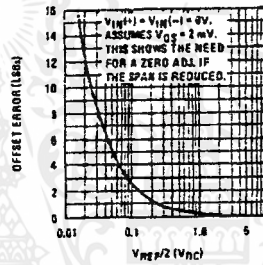
fCLK vs. Clock Capacitor



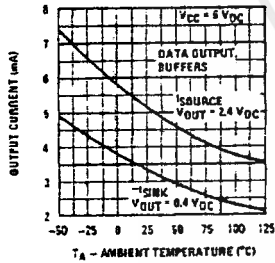
Full-Scale Error vs Conversion Time



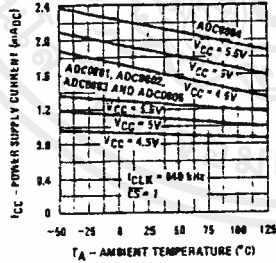
Effect of Unadjusted Offset Error vs. VREF/2 Voltage



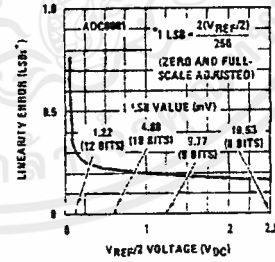
Output Current vs Temperature



Power Supply Current vs Temperature (Note 9)



Linearity Error at Low VREF/2 Voltages



TL/H/5671-2

# Functional Description

## 1.0 UNDERSTANDING A/D ERROR SPECS

A perfect A/D transfer characteristic (staircase waveform) is shown in *Figure 1a*. The horizontal scale is analog input voltage and the particular points labeled are in steps of 1 LSB (19.53 mV with 2.5V tied to the  $V_{REF}/2$  pin). The digital output codes that correspond to these inputs are shown as D-1, D, and D+1. For the perfect A/D, not only will center-value ( $A-1, A, A+1, \dots$ ) analog inputs produce the correct output digital codes, but also each riser (the transitions between adjacent output codes) will be located  $\pm 1/2$  LSB away from each center-value. As shown, the risers are ideal and have no width. Correct digital output codes will be provided for a range of analog input voltages that extend  $\pm 1/2$  LSB from the ideal center-values. Each tread (the range of analog input voltage that provides the same digital output code) is therefore 1 LSB wide.

*Figure 1b* shows a worst case error plot for the ADC0801. All center-valued inputs are guaranteed to produce the correct output codes and the adjacent risers are guaranteed to be no closer to the center-value points than  $\pm 1/4$  LSB. In

other words, if we apply an analog input equal to the center-value  $\pm 1/4$  LSB, we guarantee that the A/D will produce the correct digital code. The maximum range of the position of the code transition is indicated by the horizontal arrow and it is guaranteed to be no more than  $1/2$  LSB.

The error curve of *Figure 1c* shows a worst case error plot for the ADC0802. Here we guarantee that if we apply an analog input equal to the LSB analog voltage center-value the A/D will produce the correct digital code.

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

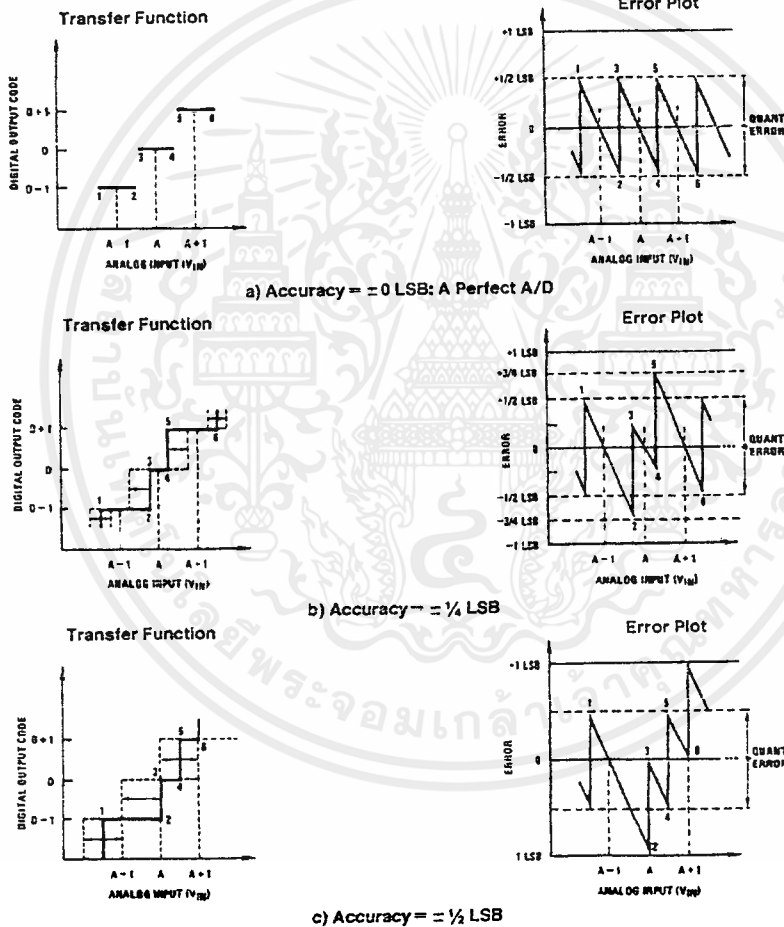


FIGURE 1. Clarifying the Error Specs of an A/D Converter

TL/H/5671-12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Functional Description (Continued)

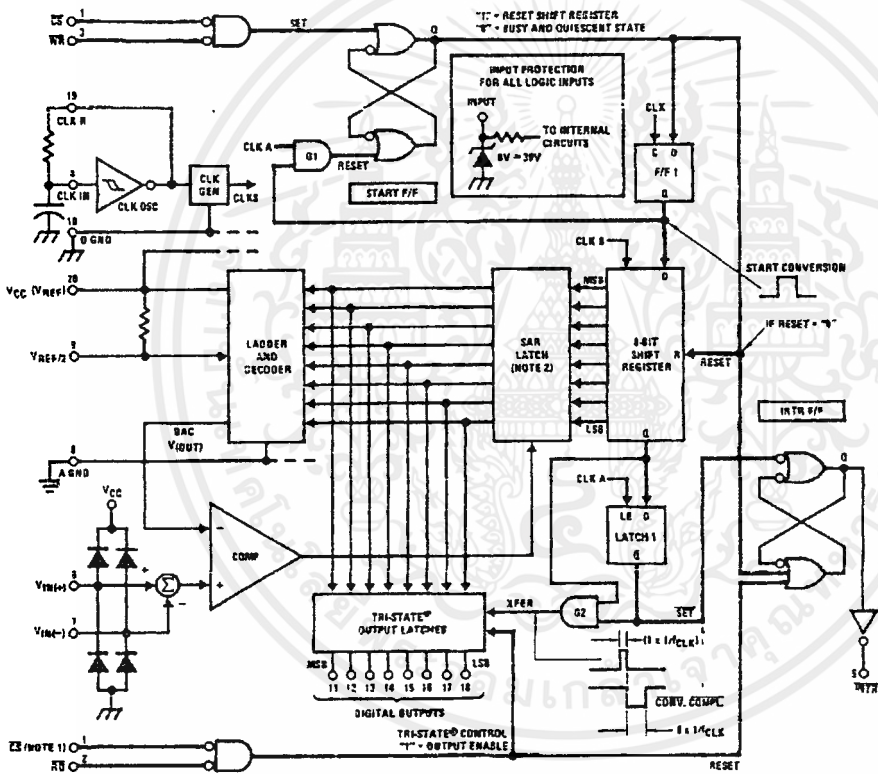
### 2.0 FUNCTIONAL DESCRIPTION

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

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

A functional diagram of the A/D converter is shown in Figure 2. All of the package pinouts are shown and the major logic control paths are drawn in heavier weight lines.

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



Note 1:  $\overline{CS}$  shown twice for clarity.

Note 2: SAR = Successive Approximation Register.

FIGURE 2. Block Diagram

## Functional Description (Continued)

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

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

When operating in the free-running or continuous conversion mode ( $\overline{\text{INTR}}$  pin tied to  $\overline{\text{WR}}$  and  $\overline{\text{CS}}$  wired low—see also section 2.8), the START F/F is SET by the high-to-low transition of the  $\overline{\text{INTR}}$  signal. This resets the SHIFT REGISTER which causes the input to the D-type latch, LATCH 1, to go low. As the latch enable input is still present, the  $\overline{\text{Q}}$  output will go high, which then allows the INTR F/F to be RESET. This reduces the width of the resulting  $\overline{\text{INTR}}$  output pulse to only a few propagation delays (approximately 300 ns).

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

### 2.1 Digital Control Inputs

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

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

This A/D has additional applications flexibility due to the analog differential voltage input. The  $V_{\text{IN}}(-)$  input (pin 7) can be used to automatically subtract a fixed voltage value from the input reading (tare correction). This is also useful in 4 mA–20 mA current loop conversion. In addition, common-mode noise can be reduced by use of the differential input. The time interval between sampling  $V_{\text{IN}}(+)$  and  $V_{\text{IN}}(-)$  is  $4 \frac{1}{2}$  clock periods. The maximum error voltage due to this

slight time difference between the input voltage samples is given by:

$$\Delta V_{\text{e}}(\text{MAX}) = (V_{\text{p}}) (2\pi f_{\text{cm}}) \left( \frac{4.5}{f_{\text{CLK}}} \right),$$

where:

$\Delta V_{\text{e}}$  is the error voltage due to sampling delay

$V_{\text{p}}$  is the peak value of the common-mode voltage

$f_{\text{cm}}$  is the common-mode frequency

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

$$V_{\text{p}} = \frac{[\Delta V_{\text{e}}(\text{MAX})] (f_{\text{CLK}})}{(2\pi f_{\text{cm}})} (4.5)$$

or

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

which gives

$$V_{\text{p}} \approx 1.9\text{V}.$$

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

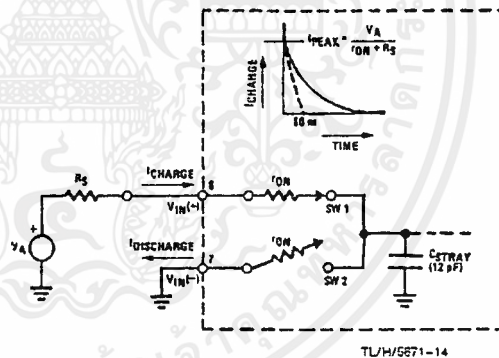
An analog input voltage with a reduced span and a relatively large zero offset can be handled easily by making use of the differential input (see section 2.4 Reference Voltage).

## 2.3 Analog Inputs

### 2.3.1 Input Current

#### Normal Mode

Due to the internal switching action, displacement currents will flow at the analog inputs. This is due to on-chip stray capacitance to ground as shown in Figure 3.



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

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

FIGURE 3. Analog Input Impedance

## Functional Description (Continued)

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

### Fault Mode

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

### 2.3.2 Input Bypass Capacitors

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

### 2.3.3 Input Source Resistance

Large values of source resistance where an input bypass capacitor is not used, will not cause errors as the input currents settle out prior to the comparison time. If a low pass filter is required in the system, use a low valued series resistor ( $\leq 1$  k $\Omega$ ) for a passive RC section or add an op amp RC active low pass filter. For low source resistance applications, ( $\leq 1$  k $\Omega$ ), a 0.1  $\mu$ F bypass capacitor at the inputs will prevent noise pickup due to series lead inductance of a long wire. A 100 $\Omega$  series resistor can be used to isolate this capacitor—both the R and C are placed outside the feedback loop—from the output of an op amp, if used.

### 2.3.4 Noise

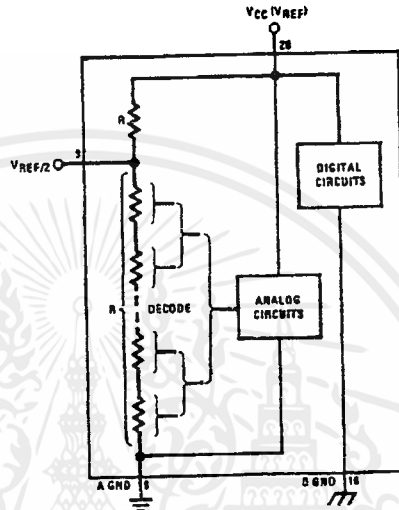
The leads to the analog inputs (pin 6 and 7) should be kept as short as possible to minimize input noise coupling. Both noise and undesired digital clock coupling to these inputs can cause system errors. The source resistance for these inputs should, in general, be kept below 5 k $\Omega$ . Larger values of source resistance can cause undesired system noise pickup. Input bypass capacitors, placed from the analog inputs to ground, will eliminate system noise pickup but can create analog scale errors as these capacitors will average the transient input switching currents of the A/D (see section 2.3.1.). This scale error depends on both a large source

resistance and the use of an input bypass capacitor. This error can be eliminated by doing a full-scale adjustment of the A/D (adjust  $V_{REF}/2$  for a proper full-scale reading—see section 2.5.2 on Full-Scale Adjustment) with the source resistance and input bypass capacitor in place.

## 2.4 Reference Voltage

### 2.4.1 Span Adjust

For maximum applications flexibility, these A/Ds have been designed to accommodate a 5  $V_{DC}$ , 2.5  $V_{DC}$  or an adjusted voltage reference. This has been achieved in the design of the IC as shown in Figure 4.



TL/H/5671-15

FIGURE 4. The  $V_{REFERENCE}$  Design on the IC

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

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

## Functional Description (Continued)

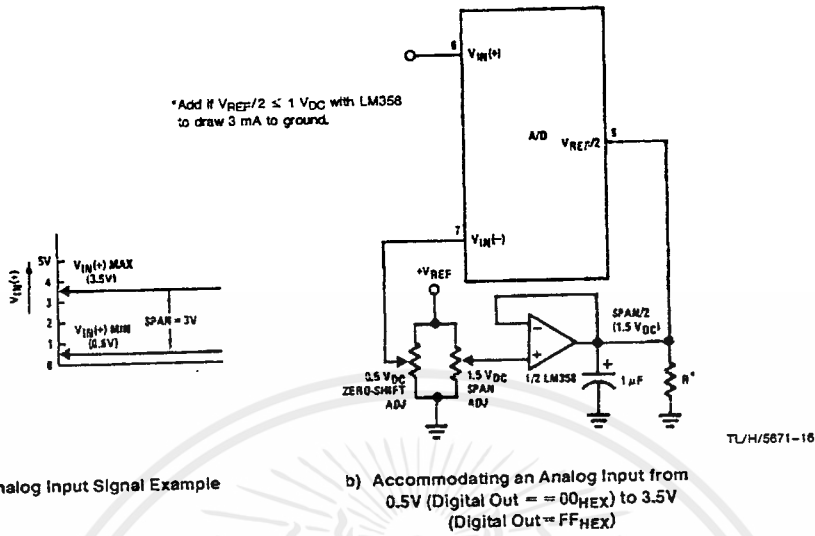


FIGURE 5. Adapting the A/D Analog Input Voltages to Match an Arbitrary Input Signal Range

### 2.4.2 Reference Accuracy Requirements

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

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

### 2.5 Errors and Reference Voltage Adjustments

#### 2.5.1 Zero Error

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

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

#### 2.5.2 Full-Scale

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

## Functional Description (Continued)

### 2.5.3 Adjusting for an Arbitrary Analog Input Voltage Range

If the analog zero voltage of the A/D is shifted away from ground (for example, to accommodate an analog input signal that does not go to ground) this new zero reference should be properly adjusted first. A  $V_{IN}(+)$  voltage that equals this desired zero reference plus  $\frac{1}{2}$  LSB (where the LSB is calculated for the desired analog span,  $1 \text{ LSB} = \text{analog span}/256$ ) is applied to pin 6 and the zero reference voltage at pin 7 should then be adjusted to just obtain the 00<sub>HEX</sub> to 01<sub>HEX</sub> code transition.

The full-scale adjustment should then be made (with the proper  $V_{IN}(-)$  voltage applied) by forcing a voltage to the  $V_{IN}(+)$  input which is given by:

$$V_{IN}(+) \text{ fs adj} = V_{MAX} - 1.5 \left[ \frac{(V_{MAX} - V_{MIN})}{256} \right],$$

where:

$V_{MAX}$  = The high end of the analog input range and

$V_{MIN}$  = the low end (the offset zero) of the analog range. (Both are ground referenced.)

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

### 2.6 Clocking Option

The clock for the A/D can be derived from the CPU clock or an external RC can be added to provide self-clocking. The CLK IN (pin 4) makes use of a Schmitt trigger as shown in Figure 6.

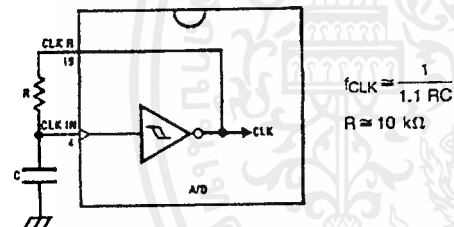


FIGURE 6. Self-Clocking the A/D

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

### 2.7 Restart During a Conversion

If the A/D is restarted ( $\overline{CS}$  and  $\overline{WR}$  go low and return high) during a conversion, the converter is reset and a new conversion is started. The output data latch is not updated if the

conversion in process is not allowed to be completed, therefore the data of the previous conversion remains in this latch. The  $\overline{INTR}$  output simply remains at the "1" level.

### 2.8 Continuous Conversions

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

### 2.9 Driving the Data Bus

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

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

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

Finally, if time is short and capacitive loading is high, external bus drivers must be used. These can be TRI-STATE buffers (low power Schottky such as the DM74LS240 series is recommended) or special higher drive current products which are designed as bus drivers. High current bipolar bus drivers with PNP inputs are recommended.

### 2.10 Power Supplies

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

### 2.11 Wiring and Hook-Up Precautions

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

## Functional Description (Continued)

A single point analog ground that is separate from the logic ground points should be used. The power supply bypass capacitor and the self-clocking capacitor (if used) should both be returned to digital ground. Any  $V_{REF}/2$  bypass capacitors, analog input filter capacitors, or input signal shielding should be returned to the analog ground point. A test for proper grounding is to measure the zero error of the A/D converter. Zero errors in excess of  $1/4$  LSB can usually be traced to improper board layout and wiring (see section 2.5.1 for measuring the zero error).

### 3.0 TESTING THE A/D CONVERTER

There are many degrees of complexity associated with testing an A/D converter. One of the simplest tests is to apply a known analog input voltage to the converter and use LEDs to display the resulting digital output code as shown in Figure 7.

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

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

The digital output LED display can be decoded by dividing the 8 bits into 2 hex characters, the 4 most significant (MS) and the 4 least significant (LS). Table I shows the fractional binary equivalent of these two 4-bit groups. By adding the voltages obtained from the "VMS" and "VLS" columns in Table I, the nominal value of the digital display (when

$V_{REF}/2 = 2.560V$ ) can be determined. For example, for an output LED display of 1011 0110 or B6 (in hex), the voltage values from the table are  $3.520 + 0.120$  or  $3.640 V_{DC}$ . These voltage values represent the center-values of a perfect A/D converter. The effects of quantization error have to be accounted for in the interpretation of the test results.

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

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

For operation with a microprocessor or a computer-based test system, it is more convenient to present the errors digitally. This can be done with the circuit of Figure 9, where the output code transitions can be detected as the 10-bit DAC is incremented. This provides  $1/4$  LSB steps for the 8-bit A/D under test. If the results of this test are automatically plotted with the analog input on the X axis and the error (in LSB's) as the Y axis, a useful transfer function of the A/D under test results. For acceptance testing, the plot is not necessary and the testing speed can be increased by establishing internal limits on the allowed error for each code.

### 4.0 MICROPROCESSOR INTERFACING

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

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

This converter has been designed to directly interface with derivatives of the 8080 microprocessor. The A/D can be mapped into memory space (using standard memory address decoding for  $\overline{CS}$  and the  $\overline{MEMR}$  and  $\overline{MEMW}$  strobes) or it can be controlled as an I/O device by using the  $\overline{I/O R}$  and  $\overline{I/O W}$  strobes and decoding the address bits A0  $\rightarrow$  A7 (or address bits A8  $\rightarrow$  A15 as they will contain the same 8-bit address information) to obtain the  $\overline{CS}$  input. Using the I/O space provides 256 additional addresses and may allow a simpler 8-bit address decoder but the data can only be input to the accumulator. To make use of the additional memory reference instructions, the A/D should be mapped into memory space. An example of an A/D in I/O space is shown in Figure 10.

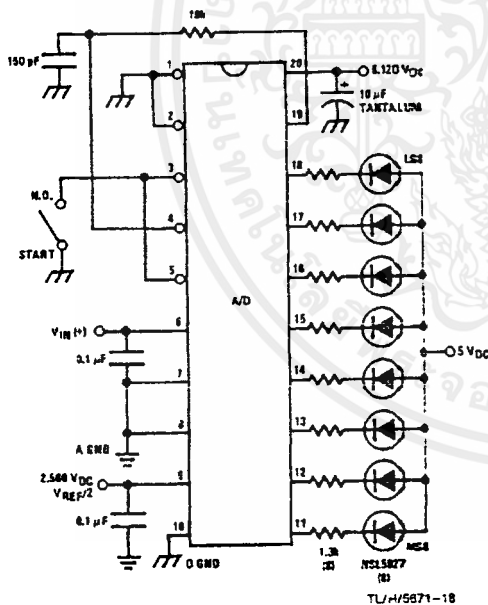


FIGURE 7. Basic A/D Tester

Functional Description (Continued)

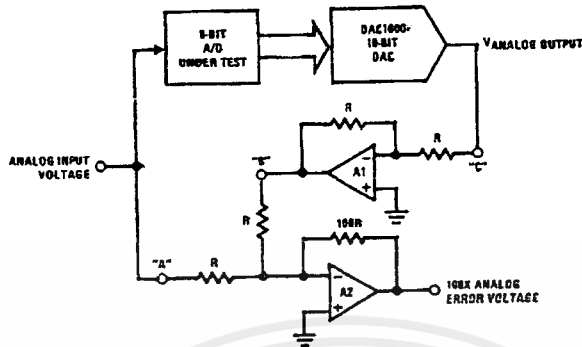


FIGURE 8. A/D Tester with Analog Error Output



FIGURE 9. Basic "Digital" A/D Tester

TL/H/6871-18

TABLE I. DECODING THE DIGITAL OUTPUT LEDs

HEX	BINARY	FRACTIONAL BINARY VALUE FOR		OUTPUT VOLTAGE CENTER VALUES WITH $V_{REF}/2 = 2.560 V_{DC}$	
		MS GROUP	LS GROUP	VMS GROUP*	VLS GROUP*
F	1 1 1 1	15/16	15/256	4.800	0.300
E	1 1 1 0	7/8	7/128	4.480	0.280
D	1 1 0 1	13/16	13/256	4.160	0.260
C	1 1 0 0	3/4	3/64	3.840	0.240
B	1 0 1 1	11/16	11/256	3.520	0.220
A	1 0 1 0	5/8	5/128	3.200	0.200
9	1 0 0 1	9/16	9/256	2/880	0.180
8	1 0 0 0	1/2	1/32	2/560	0.160
7	0 1 1 1	7/16	7/256	2.240	0.140
6	0 1 1 0	3/8	3/128	1.920	0.120
5	0 1 0 1	5/16	2/256	1.600	0.100
4	0 1 0 0	1/4	1/64	1/280	0.080
3	0 0 1 1	3/16	3/256	0.960	0.060
2	0 0 1 0	1/8	1/128	0.640	0.040
1	0 0 0 1	1/16	1/256	0.320	0.020
0	0 0 0 0			0	0

\*Display Output = VMS Group + VLS Group

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

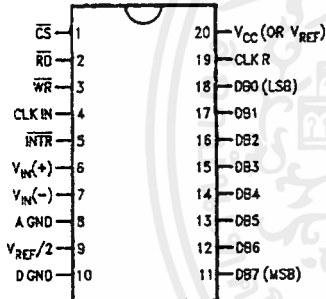
## Ordering Information

TEMP RANGE		0°C TO 70°C	0°C TO 70°C	0°C TO 70°C	-40°C TO +85°C
ERROR	± ¼ Bit Adjusted	ADC0802LCWM	ADC0802LCV	ADC0804LCN	ADC0801LCN
	± ½ Bit Unadjusted				ADC0802LCN
	± ½ Bit Adjusted	ADC0803LCWM	ADC0803LCV		ADC0803LCN
	± 1Bit Unadjusted	ADC0804LCWM	ADC0804LCV		ADC0805LCN
PACKAGE OUTLINE		M20B—Small Outline	V20A—Chip Carrier	N20A—Molded DIP	

TEMP RANGE		-40°C TO +85°C	-55°C TO +125°C
ERROR	± ¼ Bit Adjusted	ADC0801LCJ	ADC0801LJ
	± ½ Bit Unadjusted	ADC0802LCJ	ADC0802LJ,
	± ½ Bit Adjusted	ADC0803LCJ	ADC0802LJ/883
	± 1Bit Unadjusted	ADC0804LCJ	
PACKAGE OUTLINE		J20A—Cavity DIP	J20A—Cavity DIP

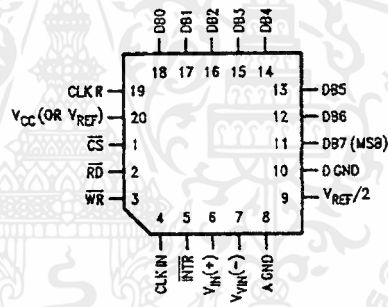
## Connection Diagrams

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



TL/H/5871-30

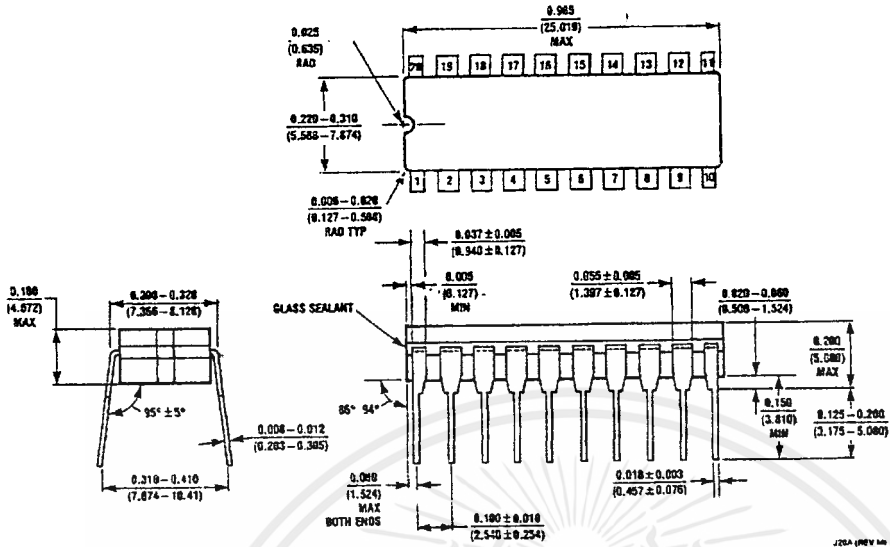
ADC080X  
Molded Chip Carrier (PCC) Package



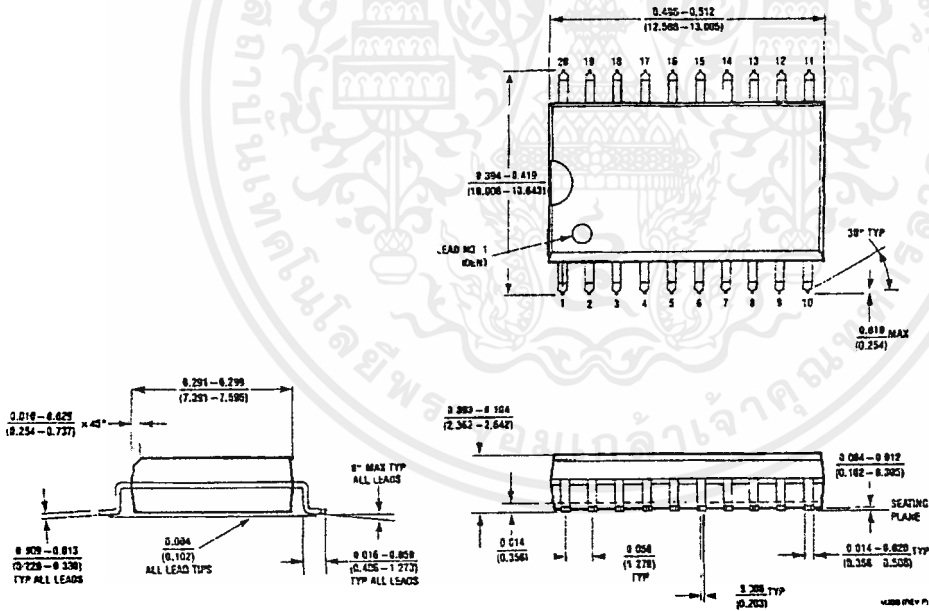
TL/H/5871-32

See Ordering Information

**Physical Dimensions** Inches (millimeters)



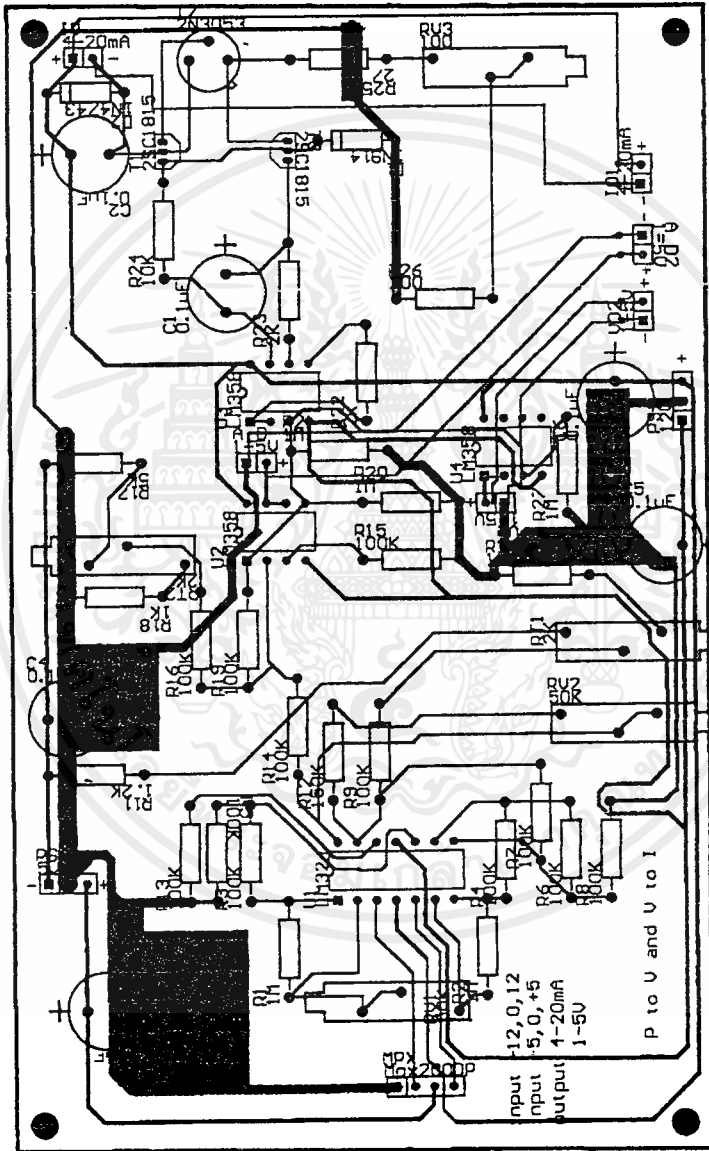
**Dual-In-Line Package (J)**  
 Order Number ADC0801LJ, ADC0802LJ, ADC0801LCJ,  
 ADC0802LCJ, ADC0803LCJ or ADC0804LCJ  
 ADC0802LJ/883 or 5962-9096601MRA  
 NS Package Number J20A



**SO Package (M)**  
 Order Number ADC0802LCWM, ADC0803LCWM or ADC0804LCWM  
 NS Package Number M20B







เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





## บรรณานุกรม

- สุทธิศักดิ์ พงศ์ธนาพานิช, VISUAL BASIC 4.0 PROFESSIONAL, บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2539
- วารสาร คอมพิวเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์เวิลด์ ฉบับที่149,150 เรื่องการใช้งาน PROTEL FOR WINDOWS PCB1.5, การใช้งาน PROTEL ADVANCE SCHEMATICS
- ทวีชัย ภูริทิพย์, ไขปัญหา RS-232, ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด (มหาชน), 2538
- Peter Norton and Harold Phyllis Davis, Peter Norton's Guide to VISUAL BASIC FOR WINDOWS95, SAMS Premier,1995

