

ปีการศึกษา 2531

เครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นสัญญาณกระแส

P/I CONVERTER MODULE

โดย

นายพยัพ พลแก้ว รหัส 286807

นายพิทักษ์ อุ่นชู รหัส 286808

นายเรวัตต์ เหาทองทิพย์ รหัส 286810

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ธนิตย์ ตริสุวรรณวัฒน์

อาจารย์ วิทยา ทิพย์สุวรรณพร



ปริญญาโท ปีการศึกษา 2531

เรื่อง เครื่องแปลงสัญญาณความถี่เป็นสัญญาณกระแส

ผู้จัดทำ

1. นายพยัม พลแก้ว รหัส 2868๐7
2. นายพิทักษ์ อุ่นชู รหัส 2868๐8
3. นายเรวัตต์ เลาทองทินย์ รหัส 28681๐



อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ ธานีเย่ ตริสุวรรณวัฒน์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ วิทยา ทิพย์สุวรรณพร)

หัวข้อวิทยานิพนธ์

เครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นสัญญาณกระแส

ชื่อนักศึกษา

นายณัฏ พลแก้ว

รหัส 286807

นายนิทัศน์ อุ่นชู

รหัส 286808

นายเรวัตต์ เอาทองทิพย์

รหัส 286810

ชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ธนิตย์ ตรีสุวรรณวัฒน์

อาจารย์ วิทษา ทิพย์สุวรรณพร

## บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ จะกล่าวถึงการออกแบบและสร้าง เครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นสัญญาณกระแส โดยใช้อุปกรณ์ตรวจจับความดัน (pressure Sensors) ที่ใช้ เป็นแบบโซลิตสเตต (Solid State) ซึ่งอาศัยหลักการของสเตรนเกจ (Strain gage) เปลี่ยนความดัน (Pressure) เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า (Voltage) และนำสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้มาเข้าวงจรขยายสัญญาณและนำไปแสดงผลด้วยตัวเลข (Digital Display) ไททหน่วยของความดันเป็นปอนด์ต่อตารางนิ้ว และขณะเดียวกันสัญญาณไฟฟ้าที่ผ่านวงจรขยาย จะถูกนำมาเข้าวงจรเปลี่ยนสัญญาณ โดยเปลี่ยนจากสัญญาณแรงดันไฟฟ้า เป็นสัญญาณกระแสและสัญญาณกระแสนี้สามารถนำไปควบคุมอุปกรณ์ควบคุมในระบบควบคุมต่อไป

PROJECT

P/I CONVERTER MODULE

STAFF

Mr. PHAYUP POLKAEO 286807

Mr. PITAK OUNCHOO 286808

Mr. RAWAN AU-THONGTHIP 286810

ADVISER

Mr. THANIT TREESUWANWAT

Mr. VITTAYA THIPSUWANPORN

SEMESTER

1988

ABSTRACT

This project emphasized circuit design and planned to make P/I converter module. The solid state pressure sensors must be transduce to voltage by principle of strain gage. The voltage output from strain gage to be amplified by signal amplifier circuit, and shown by digital display. The voltage output from amplifier circuit to be transduced to current by V/I converter circuit. The current output signal can be used for drive load, control final element in process control.

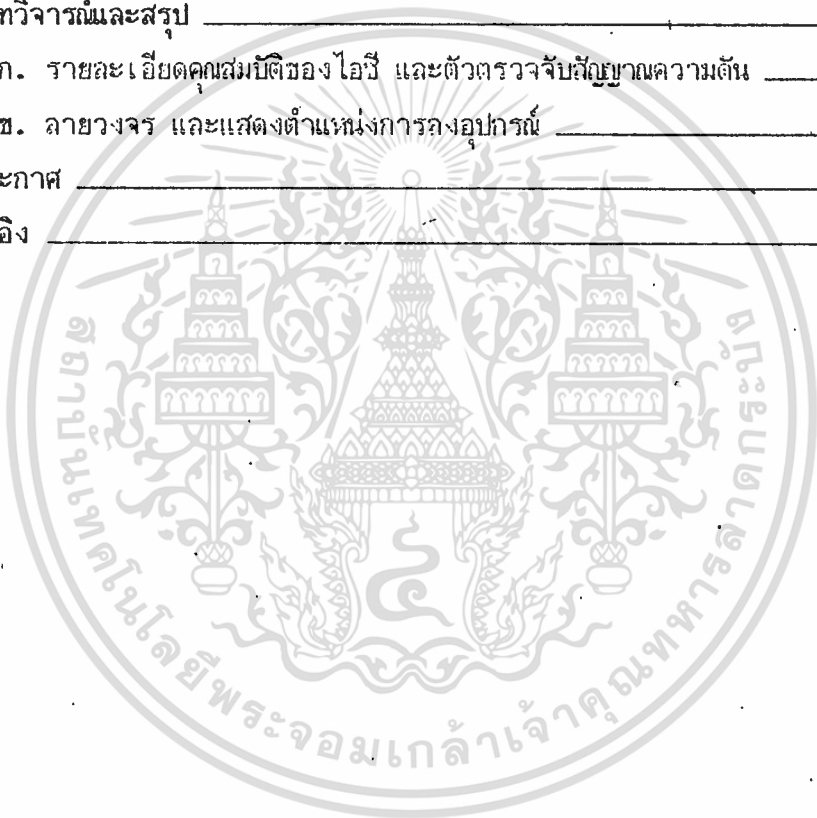
## สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย _____	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ _____	ง
บทที่ 1 บทนำ _____	1
1.1 ความเบื้องต้น _____	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ _____	1
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ _____	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ _____	2
2.1 เครื่องวัดสัญญาณความดัน _____	2
2.2 ชนิดของเครื่องมือวัดความดัน _____	3
2.3 เครื่องมือวัดความดันทางกล _____	4
2.4 เครื่องมือวัดความดันทางไฟฟ้า _____	15
2.5 มาตรฐานแสดงผล _____	21
บทที่ 3 การออกแบบสร้างและทดสอบเครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นกระแส _____	26
3.1 ข้อกำหนดในการออกแบบเครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นกระแส _____	26
3.2 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นกระแส _____	26
3.3 มาตรฐานแสดงผลเชิงเลข _____	28
3.4 มาตรฐานสวิตช์ เซอร์ _____	30
3.5 มาตรฐานเปลี่ยนสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณกระแส _____	31
3.6 มาตรฐานจ่ายไฟหลัก _____	32
3.7 การประกอบวงจร _____	34
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง _____	35
4.1 ตารางข้อมูลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของภาคจ่ายไฟ + 15 โวลต์ สำหรับภาคแสดงผลและภาคเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแส _____	36
4.2 ตารางข้อมูลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของภาคจ่ายไฟ + 5 โวลต์ สำหรับภาคเปลี่ยนสัญญาณความดันเป็นแรงดันไฟฟ้า _____	36
4.3 ตารางการทดสอบภาคแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสจากค่าน้อยไปหาค่ามาก _____	37
4.4 ตารางการทดสอบภาคแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสจากค่ามากไปหาค่าน้อย _____	37
4.5 ตารางข้อมูลทดสอบภาคแสดงผลเชิงเลข โดยเปรียบเทียบกับดิจิตอลมิเตอร์ _____	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 ตารางข้อมูลการทดสอบ ภาคแปลงสัญญาณความดันเป็นแรงดันไฟฟ้าจาก ความดันต่ำไปหาความดันสูง _____	39
4.7 ตารางข้อมูลการทดสอบ ภาคแปลงสัญญาณความดันเป็นแรงดันไฟฟ้าจาก ความดันสูงไปหาความดันต่ำ _____	40
4.8 ตารางข้อมูลการทดสอบ เมื่อป้อนสัญญาณอินพุทและตรวจสอบสัญญาณเอาต์พุท เมื่อป้อนอินพุทจากน้อยไปหามาก _____	41
4.9 ตารางข้อมูลการทดสอบ เมื่อป้อนสัญญาณอินพุทและตรวจสอบสัญญาณเอาต์พุท เมื่อป้อนอินพุทจากน้อยไปหามาก _____	42
บทที่ 5 บทวิจารณ์และสรุป _____	46
ภาคผนวก ก. รายละเอียดคุณสมบัติของไอซี และตัวตรวจจับสัญญาณความดัน _____	47
ภาคผนวก ข. ลายวงจร และแสดงตำแหน่งการลงอุปกรณ์ _____	64
กิตติกรรมประกาศ _____	69
หนังสืออ้างอิง _____	70



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเบื้องต้น

การแปลงสัญญาณความดันเป็นสัญญาณกระแส เป็นหลักการที่มีความจำเป็นและสำคัญ ในงานการวัดและควบคุมทางอุตสาหกรรมอย่างมาก ที่ใช้ระบบการควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งการควบคุมระบบอิเล็กทรอนิกส์มีข้อดีคือการส่งสัญญาณเป็นสัญญาณไฟฟ้าสามารถส่งไปได้ระยะไกล ๆ โดยที่ time lags มีค่าน้อยมากและสัญญาณไฟฟ้ายังสามารถต่อเข้ากับดิจิทัลคอมพิวเตอร์ได้โดยง่าย ดังนั้นการเปลี่ยนสัญญาณนิวแมติกส์ เป็นสัญญาณไฟฟ้า หรือแม้กระทั่งการเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าเป็นสัญญาณนิวแมติกส์ต่างก็มีความจำเป็นและสำคัญทั้งสิ้น เพื่อที่จะทำให้การควบคุมในระบบทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ อุปกรณ์ที่ใช้แปลงสัญญาณหนึ่งให้ เป็นสัญญาณอีกชนิดหนึ่งนี้ เรียกกันโดยทั่วไปว่าทรานสดิวเซอร์ เช่น ตัวแปลงสัญญาณกระแส เป็นสัญญาณความดันเราก็เรียกว่า I/P Transducer เป็นต้น

สำหรับโครงการปริญญาโทฉบับนี้ เป็นการออกแบบสร้างเครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นสัญญาณกระแส โดยใช้หลักการของส.ทรนแกจ แทนการใช้วีลสโตมบริดจ์แบบเดิมที่เคยใช้กัน ทำให้ได้แรงดันเอาต์พุตที่มีความเป็นเชิงเส้นและความไวสูง นำค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากส.ทรนแกจที่มีการเปลี่ยนแปลงมา ข้างจรขยายและนำไปแสดงค่า พร้อมกับนำค่าสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ขยายแล้ว ไป ข้างจรเปลี่ยนสัญญาณจากแรงดันไฟฟ้า เป็นกระแสไฟฟ้า

### 1.2 วัตถุประสงค์ของการจัดทำโครงการ

1.2.1 เป็นการศึกษาค้นคว้าออกแบบสร้างอุปกรณ์ เปลี่ยนสัญญาณความดันเป็นสัญญาณกระแส

1.2.2 เนื่องจากคณะผู้จัดทำโครงการเป็นครู - อาจารย์ จากวิทยาลัยเทคนิคของกรมอาชีวศึกษา โครงการที่ได้ออกแบบสร้างชิ้นนี้จึง เป็นลักษณะของโมดูล ซึ่งเหมาะสำหรับใช้เป็นอุปกรณ์ประกอบการเรียนการสอนนักศึกษา ที่ศึกษาวิชา เครื่องมือวัดและการควบคุมทางอุตสาหกรรม

### 1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการออกแบบจัดทำโครงการ

1.3.1 ได้เครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นสัญญาณกระแส 1 เครื่อง ซึ่งสามารถเปลี่ยนความดันมาตรฐานในระบบควบคุม 3-15 ปอนด์/ตารางนิ้ว เป็นสัญญาณกระแส 4-20 มิลลิแอมแปร์

1.3.2 ใช้เครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นสัญญาณกระแส เป็นอุปกรณ์สาขิตประกอบการเรียนการสอนนักศึกษาที่ศึกษาวิชา เครื่องมือวัดและการควบคุมทางอุตสาหกรรม โดยสามารถใช้งานได้ดังนี้

- เพื่อใช้วัดความดันของสัญญาณควบคุมในระบบควบคุม
- ใช้แสดงการวัดและเปลี่ยนสัญญาณที่เป็นความดันมาตรฐานไป เป็นกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ

เครื่องมือวัดแรงดัน P/I CONVERTER เป็นทรานสดิวเซอร์ สำหรับเปลี่ยนสัญญาณความดันขนาด 3-15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ไปเป็นสัญญาณกระแสขนาด 4-20 มิลลิแอมแปร์

### 2.1 เครื่องวัดสัญญาณความดัน (pressure)

แรงดันคือ แรงกระทำต่อวัตถุในลักษณะดัน อัด หรือกด แรงดันวัดเป็นแรงต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กรัมหรือกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) บางทีก็แสดงเป็นความสูงของของเหลว เช่น บอกเป็นมิลลิเมตรหรือฟุตของน้ำ เป็นเซ็นติเมตรหรือนิ้วของปรอท แต่หน่วยที่แสดงเป็นความสูงเหล่านี้อาจได้เป็นหน่วยที่หมายถึงแรงดันจริง ๆ แต่เป็นหน่วยแทนแรงดันที่รองรับของเหลวในหลอด ซึ่งถูกดันสูงขึ้นจากระดับสมดุลง่ายปกติ นอกจากนี้ยังใช้หน่วยอื่น ๆ ที่แสดงเป็นบรรยากาศ บาร์ และมิลลิบาร์

แรงดัน 1 บรรยากาศ ที่ระดับน้ำทะเล ภายใต้แรงดันและอุณหภูมิปกติมีค่าเท่ากับ 14.696 ปอนด์/ตารางนิ้วกัมบูรณ์

1 บาร์ = 1,000,000 ไดน์ต่อตารางเซนติเมตร

1 มิลลิบาร์ = 1,000 ไดน์ต่อตารางเซนติเมตร

1 บรรยากาศ = 1.013 บาร์ = 1013 มิลลิบาร์

แรงดันบอกเป็นค่าแรงดันสัมบูรณ์ (Absolute Pressure) และแรงดันเกจ (Gage Pressure)

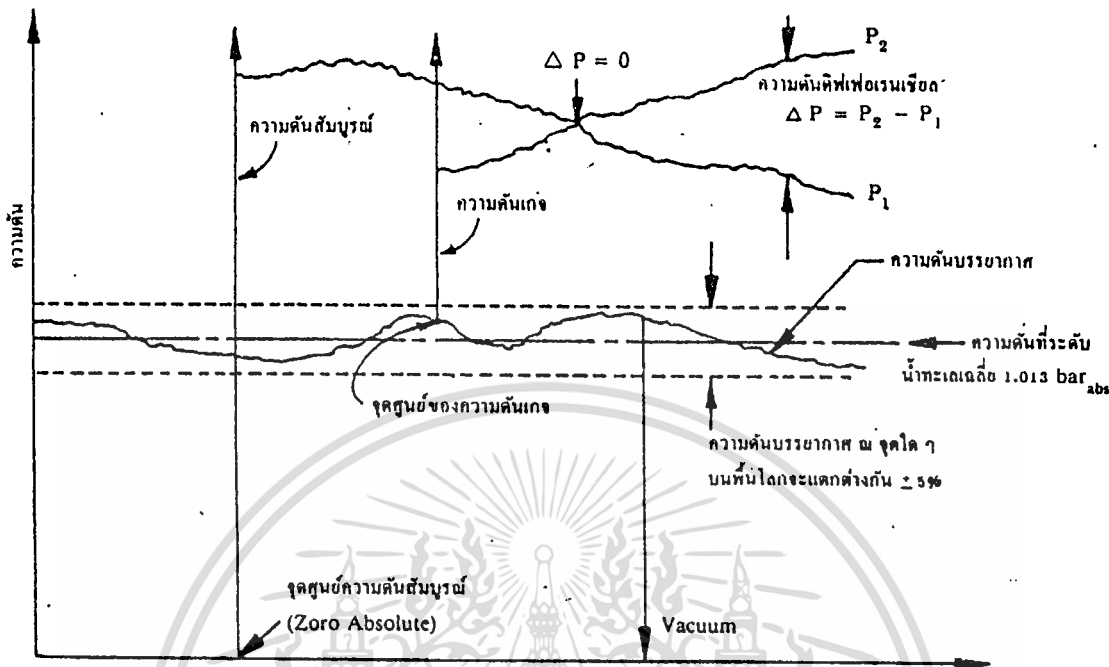
แรงดันสัมบูรณ์ คือ แรงดันจริง ๆ ซึ่งนับจากสุญญากาศ สัมบูรณ์เป็น 0 (ศูนย์)

แรงดันเกจ คือ แรงดันซึ่งนับจากแรงดันบรรยากาศเป็น 0 (ศูนย์) หรือคือผลต่างระหว่างแรงดันสัมบูรณ์และแรงดันบรรยากาศ ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ปกติจะบอกเป็นแรงดันเกจ แรงดันเกจเป็นลบ คือแรงดันสุญญากาศ (Vacuum) ตัวอย่างเช่น แรงดันบรรยากาศเท่ากับ 760 มิลลิเมตรปรอท (mm.Hg) ถ้าแรงดันสุญญากาศเท่ากับ 300 มิลลิเมตรปรอท แรงดันสัมบูรณ์จะเท่ากับ  $760 - 300 = 460$  มิลลิเมตรปรอทซึ่งในทางปฏิบัติแสดงดังนี้

$460 \text{ mmHg} = - 300 \text{ mmHg} \quad \text{Gage} = 300 \text{ mmHg Vac}$

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันสัมบูรณ์ แรงดันเกจ แรงดันบรรยากาศ แสดงเป็นสูตร

แรงดันสัมบูรณ์ = แรงดันเกจ + แรงดันบรรยากาศ



รูปที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบความดันทั้งสี่รูปแบบ

### 2.2 ชนิดของเครื่องมือวัดแรงดัน

วิธีวัดแรงดันนี้ใช้หลักการต่าง ๆ เช่น วิธีให้แรงดันที่เราต้องการวัดสมดุลย์กับแรงดันซึ่งเราทราบค่าแน่นอน เป็นต้นว่า น้ำหนักของของแข็ง หรือน้ำหนักของของเหลว หรือวิธีอาศัยแรงเครียด ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงรูปของวัตถุที่ยึดออกไป ทำให้แรงดันที่ต้องการวัดสมดุลย์กับแรงที่ทราบค่าดังกล่าวข้างต้น

วิธีวัดเหล่านี้เป็นวิธีวัดทางกล และเครื่องมือวัดแรงดันแบบนี้เรียกว่า เครื่องมือวัดแรงดันทางกล

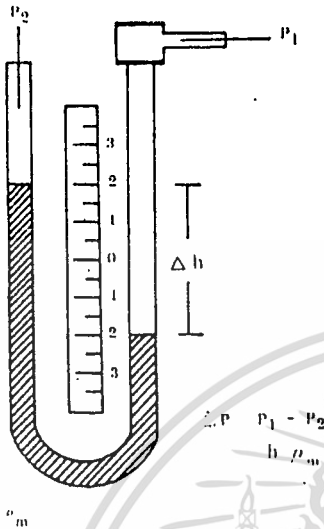
นอกจากวิธีวัดทางกลนี้แล้วยังมีวิธีซึ่งไม่วัดแรงดันโดยตรงแต่วัด โดยการเปลี่ยนแปลงแรงดันเป็นปริมาณไฟฟ้า ซึ่งเครื่องมือที่ใช้วัดวิธีนี้เรียกว่า เครื่องมือวัดแรงดันทางไฟฟ้า

### 2.3 เครื่องมือวัดแรงดันทางกล

ชนิด		ช่วงการวัด	ความเที่ยง
เครื่องวัดแรงดันแบบ ท่อบรรจุของเหลว	แบบท่อตัวยู	5 - 2,000 mmH <sub>2</sub> O	± 0.1 mmH <sub>2</sub> O
	แบบท่อเดี่ยว	5 - 2,000 mmH <sub>2</sub> O	± 0.1 mmH <sub>2</sub> O
	แบบท่อเอียง	10 - 50 mmH <sub>2</sub> O	± 0.1 mmH <sub>2</sub> O
	แบบของเหลว 2 ชนิด	0.5 - 30 mmH <sub>2</sub> O	± 0.1 mmH <sub>2</sub> O
	แบบลูกลอย	500 - 6,000 mmH <sub>2</sub> O	± 0.1 mmH <sub>2</sub> O
เครื่องวัดแรงดันแบบตาชั่งวงแหวน		25 - 3,000 mmH <sub>2</sub> O	± 1 - ± 2 %
เครื่องวัดแรงดันแบบลูกสูบ		0.6 - 100 Kgw/cm <sup>2</sup>	± 0.02 - ± 0.12
เครื่องวัดแรงดันแบบภาชนะคว่ำ		5 - 20 mmH <sub>2</sub> O	± 1%
เครื่องวัดแรงดันแบบ อาศัยแรงยึดหยุ่น	แบบท่อบูร์ดองนี	0.5-3,000 Kgw/cm <sup>2</sup>	± 1 - ± 2 %
	แบบเบลโลสค์	10 mmH <sub>2</sub> O-10 Kgw/cm <sup>2</sup>	± 1 - ± 2 %
	แบบไดอะแฟรม		
	(ไดอะแฟรมโลหะ)	10 mmH <sub>2</sub> O - 50 Kgw/cm <sup>2</sup>	± 1 - ± 2
	(ไดอะแฟรมอโลหะ)	1 - 2,000 mmH <sub>2</sub> O	± 1 - ± 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 เครื่องวัดแรงดันแบบท่อบรรจุของเหลว (Liquid Column Manometer)



ก. เครื่องวัดแรงดันแบบท่อตัวยู (U-tube Manometer) เป็นเครื่องวัดแรงดันแบบง่าย ๆ ทำด้วยหลอดแก้วอเป็นรูปตัวยูภายในบรรจุด้วยน้ำ น้ำมัน แอลกอฮอล์ หรือปรอท

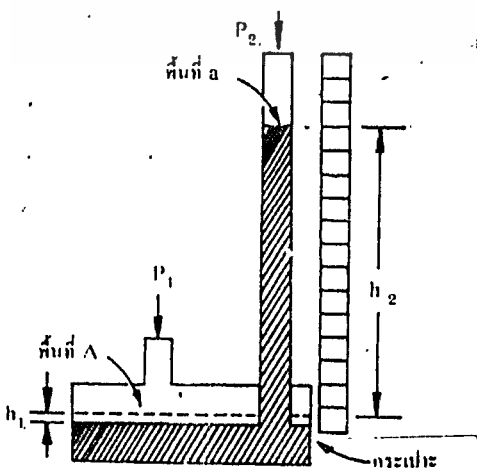
รูปที่ 2.2 มาโนมิเตอร์รูปตัว U แสดงหลักการของมาโนมิเตอร์

จากรูปที่ 2.2 แรงดันแตกต่างกันระหว่าง  $P_1$  และ  $P_2$  วัดความสูง  $h$  ผิวหน้าของของเหลวที่บรรจุในหลอดตัวยู จะสัมพันธ์กับของเหลวที่ต้องการวัด (จากข้อต่อ) ถ้าให้ของเหลวที่ต้องการวัดแรงดันมีความหนาแน่นเป็น  $P_2$  และของเหลวที่บรรจุภายในหลอดตัวยู มีความหนาแน่นเป็น  $P_1$  ความสูงแตกต่างกัน  $h$  จะใช้สูตรความสัมพันธ์ดังนี้

$$P_1 - P_2 = \Delta h (\rho_1 - \rho_2) g$$

ในกรณีของที่จะวัดเป็นแก๊ส ความหนาแน่นของ  $\rho_2$  เมื่อเปรียบเทียบกับ  $\rho_1$  แล้วตัดทิ้งได้จากสูตรข้างบนจะได้

$$P_1 - P_2 = h(\rho_1) g$$



ข. เครื่องวัดแรงดันแบบท่อเดี่ยว (Single Tube Manometer)

รูปที่ 2.3 แสดงหลักการของมาโนมิเตอร์แบบท่อเดี่ยว

ถ้าทำให้ข้างหนึ่งของหลอดรูปตัวยู มีเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่าอีกข้างหนึ่งมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.3 ถ้าวัดหน้าของของเหลวด้านที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางโตกว่า ก็เกือบจะไม่เปลี่ยนแปลงระดับความสูง-ต่ำด้วยแรงดันแตกต่างกันเลย ดังนั้นจึงอ่านค่าความสูง h ของของเหลวในท่อที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กได้โดยตรง

$$P_1 - P_2 = \rho \cdot g \cdot h_2 \cdot (1 + a/A)$$

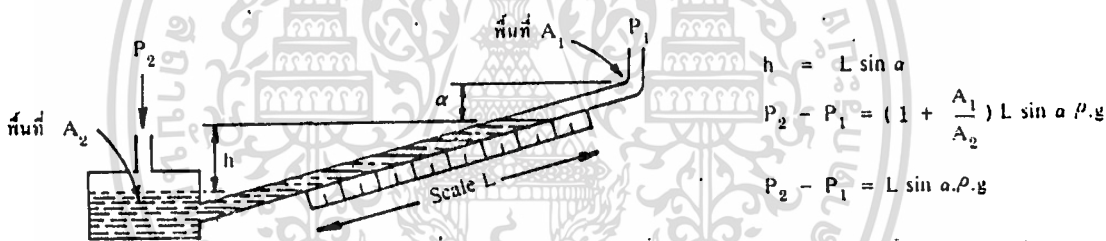
เนื่องจาก  $a \gg A$  ผลต่างของความสูงจึงเท่ากับ  $h_2$

ค. เครื่องวัดแบบท่อเอียง (Inclined-tube Manometer)

มาโนมิเตอร์แบบท่อเอียง ได้รับการออกแบบมาเพื่อใช้วัดความดันต่ำ ๆ จนถึง 10 มิลลิบาร์ ระดับความสูงต่ำของความดันที่จะวัดขึ้นอยู่กับมุม ...

$$P_2 - P_1 = \rho \cdot G \cdot L \cdot \sin \alpha$$

เมื่อ  $h = L \sin \alpha$



รูปที่ 2.4 เป็นมาโนมิเตอร์แบบท่อเอียง

เครื่องวัดแรงดันที่บรรจุของเหลวแบบท่อนี้จะต้องมีคุณสมบัติ

1. สะอาดและบริสุทธิ์
2. มีการเปลี่ยนแปลงค่าความหนาแน่นน้อยเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนไป
3. มีขอบเขตผิวที่ขีด เจนแน่นอน
4. ไม่เปียกติดหลอดของเครื่องวัด
5. ความโตของท่อจะต้องสม่ำเสมอ
6. มีความหนืดน้อย (Viscosity) น้อย
7. ไม่ทำให้เกิดไอเบ็งงิม

นอกจากนี้หลอดรูปตัวยูต้องตั้งตรงและภายในสะอาด ถ้าเอียงจะทำให้เกิดการวัดผิดพลาดได้

## ข้อดีและข้อเสียของเครื่องวัดแรงดันบรรจุท่อของเหลว

### ข้อดี (Advantages)

1. เหมาะสำหรับงานวัดค่าความดันต่ำ ๆ จาก 1-2 mmH<sub>2</sub>O ไปจนถึง 1 bar สามารถใช้วัด Vaccuum หรือความดันดินเฟอเรนเซียลค่าต่ำ ๆ ได้
2. ให้ความเที่ยงตรง (Accuracy) และความไวในการวัดสูง (Sensitivity)
3. สามารถเลือกของเหลวที่มีความหนาแน่น (Density) ต่าง ๆ กันได้มาก
4. เป็นแบบที่มีโครงสร้างง่ายที่สุด ราคาถูก สามารถทำขึ้นใช้เองได้

### ข้อเสีย (Disadvantages)

1. ไม่มีอุปกรณ์ป้องกันเมื่อเกิดความดันเกินขนาด (Over range)
2. วัดความดันได้ในย่านต่ำ ๆ เท่านั้น
3. อาจเกิดปฏิกิริยาทางเคมีหรือเกิดการระเหยตัว ถ้าเลือกของเหลวที่ใช้เติมไม่ถูกต้อง
4. ต้องปรับระดับก่อนใช้งานทุกครั้ง

### 2.3.1 เครื่องวัดแรงดันแบบแรงยืดหยุ่น (Elastic Gages)

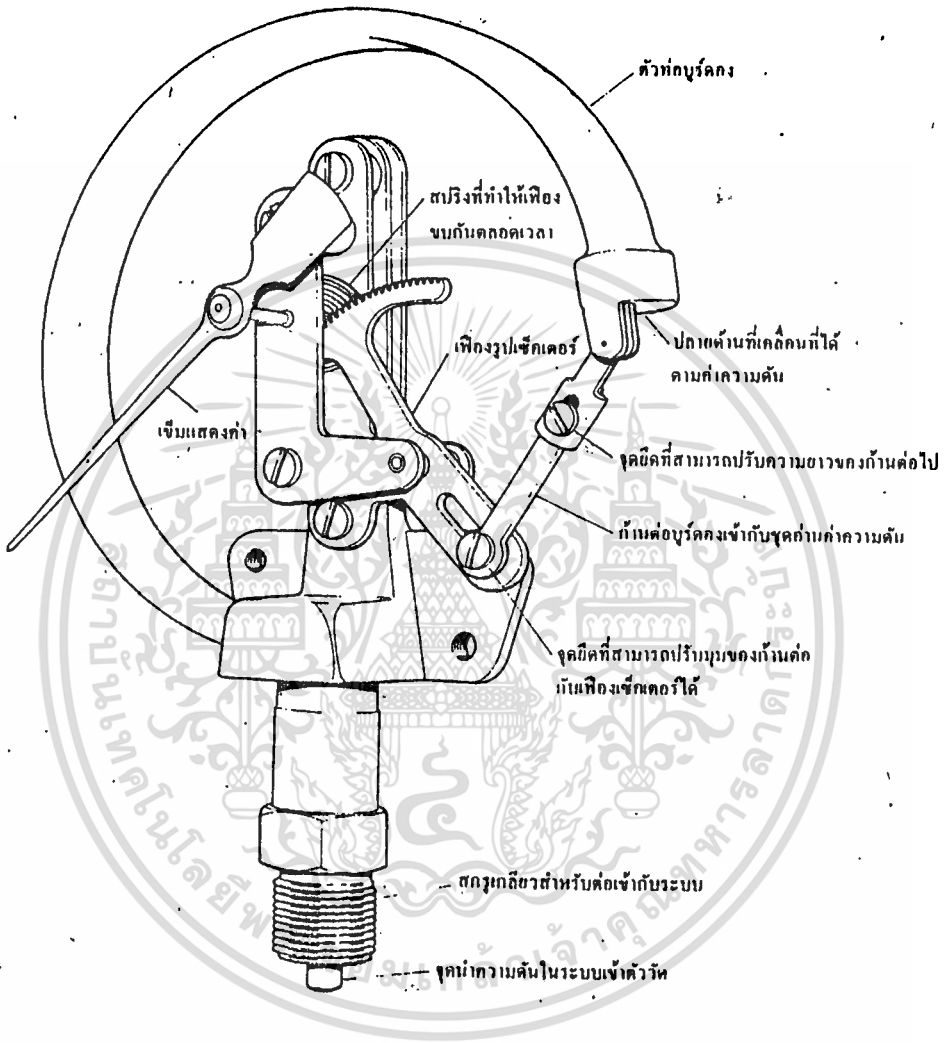
เครื่องวัดแบบนี้อาศัยการเปลี่ยนรูปวัตถุยืดหยุ่น

#### ก. เครื่องวัดแบบท่อบูร์ดอง (Bourdon tube Gages)

เครื่องวัดแบบนี้นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางมาก โดยเฉพาะพวกเกจวัดแรงดัน (Pressure Gages) แบ่งได้เป็น 3 แบบ

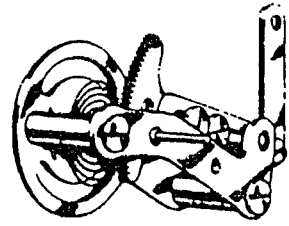
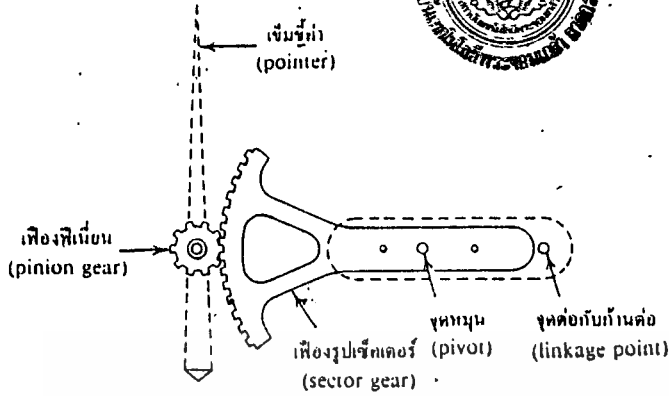
#### ข. เครื่องวัดท่อรูปตัวซี (C Gages)

ท่อบูร์ดองนี้ทำจากท่อที่มีผนังบาง ๆ ซึ่งมีลักษณะแบน ส่วนขนาดเล็กหรือใหญ่ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้และแรงดันที่ต้องการวัด ปลายด้านหนึ่งปิดท่อนี้มีลักษณะรูปตัว "C" เมื่อมีแรงดันเข้ามาทางปลายเปิดก็จะทำให้ท่อพยายามจะยืดตรง ซึ่งมีผลทำให้ ซีมที่ปลายปิดเคลื่อนที่ไปด้วย ดังแสดงในรูป ซึ่งช่วยการทำงานของเครื่องวัดนี้คือ 0-1 ถึง 0-700 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

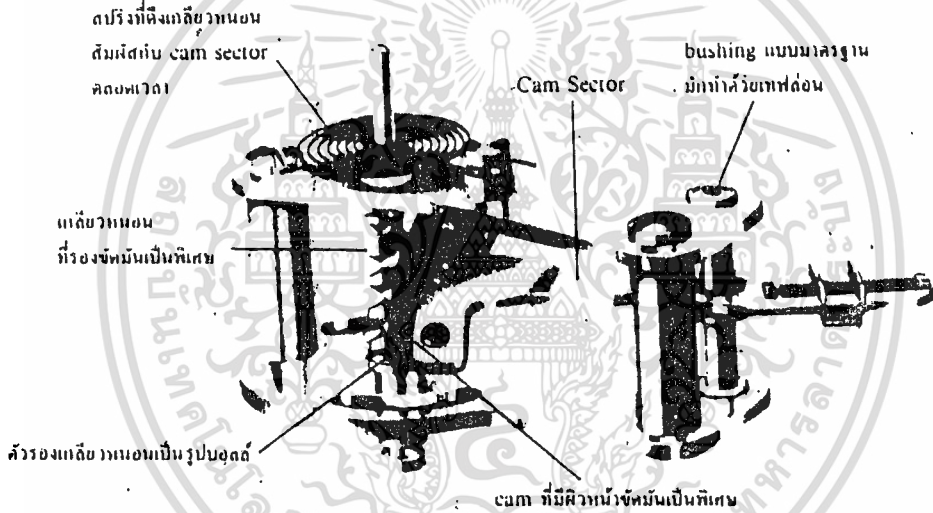


รูป 2.5 แสดงส่วนประกอบของบูร์ดอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) เป็นการขยายแบบใช้เฟือง



(ข) เป็นการขยายแบบไร้เฟืองท่อนพิเศษที่ทนต่อการผันสะเทือนได้ดี

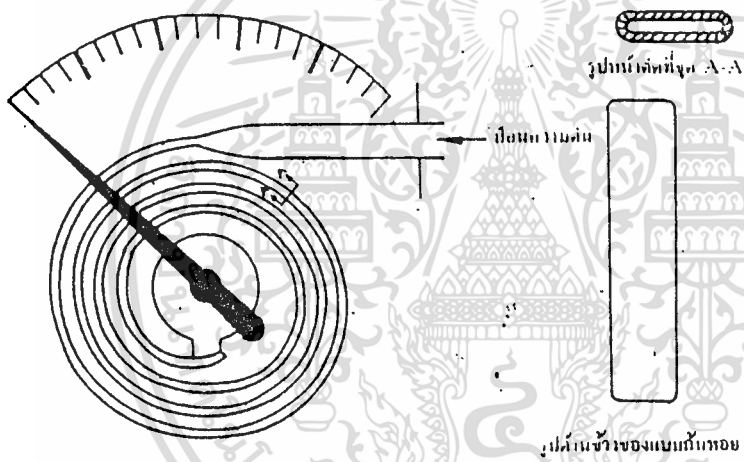
รูปที่ 2.6 แสดงการขยาย เพื่ออ่านความดันของบูร์ดอง

ค. เครื่องวัดที่รูปก้นหอย (Spiral Gages)

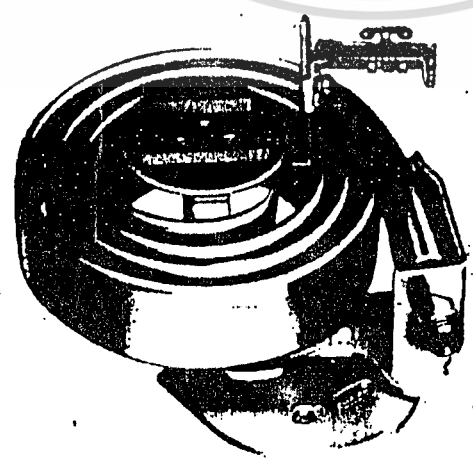
การใช้เครื่องวัดแบบนี้ใช้กันมากในโรงงานอุตสาหกรรม ประกอบด้วยท่อบาง ๆ ด้านสองด้านมีลักษณะแบนเรียบ ภาคตัดขวางมีลักษณะรูปวงรี ท่อนี้ถูกนำมาขดเป็นรูปก้นหอย เมื่อมีความดันเข้าปลายเปิดท่อนี้จะแบนตัวท่อนี้ไปจากรูปขด

เครื่องวัดชนิดนี้แสดงในรูปที่ 2.7, 2.8, 2.9, 2.10 การเคลื่อนที่ของปลายอิสระนั้น เราสามารถนำไปต่อเข้ากับเครื่องชี้บอกหรือบันทึกได้ เครื่องวัดชนิดนี้นิยมใช้วัดแรงดันในเข็วระหว่าง 1-300 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร การต่อเชื่อมกับเครื่องชี้บอก หรือบันทึกจะใช้วิธีต่อโดยตรง

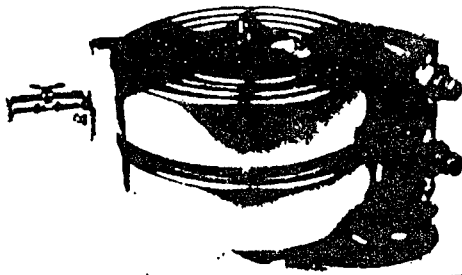
วัสดุที่ใช้ทำมีหลายชนิด ได้แก่ ทองแดง เหล็กกล้า สแตนเลส



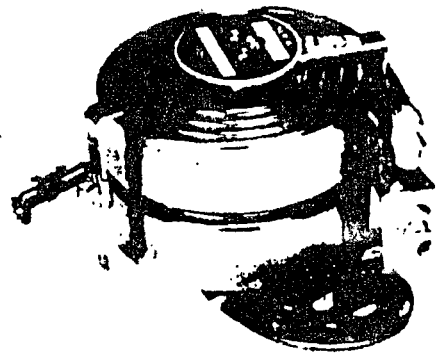
รูปที่ 2.7 บูร์ดองแบบก้นหอย



รูปที่ 2.8 ตัวบูร์ดองแบบก้นหอย (Spiral element)



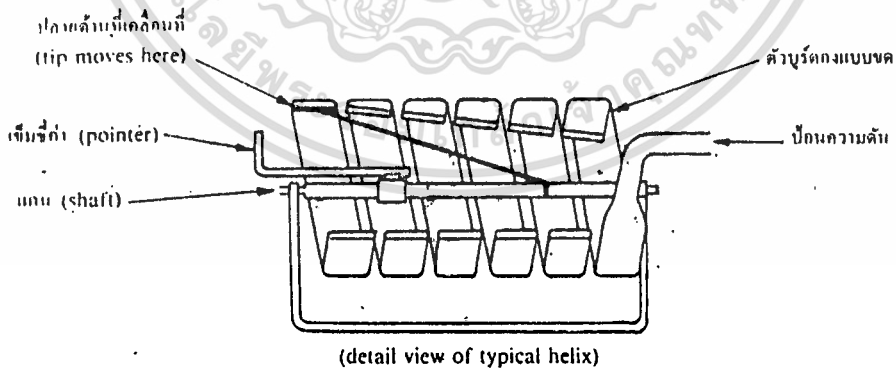
รูปที่ 2.9 แบบก้นหยอดคู่ที่ใช้แรงขับมากขึ้น (Double spiral element)



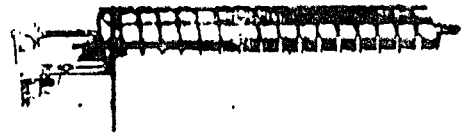
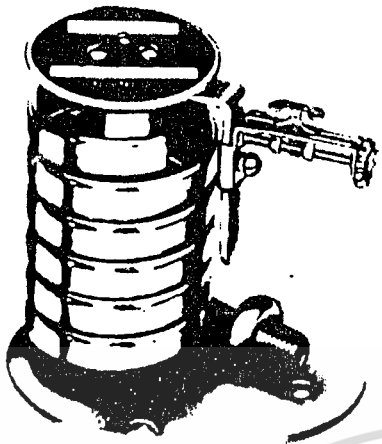
รูปที่ 2.10 แบบก้นหยอดที่ใช้วัดค่าความดันสัมบูรณ์ (Absolute double spiral element)

ง. เครื่องวัดแบบท่อนขดรูปสปริง (Helix pressure gage)  
 เครื่องวัดแบบนี้ประกอบด้วยท่อที่มีลักษณะแบน เรียบตั้งสองด้านและถูกขดให้เป็นรูปสปริง (Helix) ตั้งรูป เมื่อมีแรงดันเข้ามาในท่อปลายเปิด ก็จะมีผลทำให้ท่อขดรูปสปริงพยายามที่จะคลายตัวออก ดังนั้นจึงทำให้เกิดการเคลื่อนที่ ซึ่งจะถูกต้องเข้ากับเครื่องชี้บอกหรือบันทึก เครื่องแบบนี้ได้กว่าแบบท่อนก้นหยอด ที่ว่ามีโครงสร้างแข็งแรงกว่าจึงใช้ติดตั้งในที่ที่มีการสั่นไหวได้

ช่วงความตึงที่วัดคือ 0-20 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (ต่ำสุด) ถึง 0-700 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (สูงสุด)



รูปที่ 2.11 ภาพตัดของบู่รูดองแบบขดซ้อน(helix)



2.12 (ข) แบบทนต่อสภาพงานหนักได้ดี  
(heavy duty helical  
element)

### 2.12 (ก) แบบทั่วๆ ไปที่ใช้ในงานกลาง

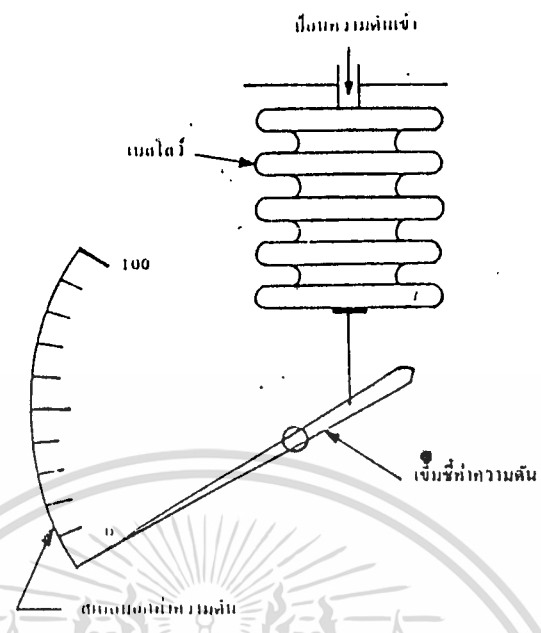
รูปที่ 2.12 แสดงบูร์ดองชนิดข้อที่ใช้งานอยู่

#### จ. เครื่องวัดแบบเบลโลว์ (Spring & Bellows)

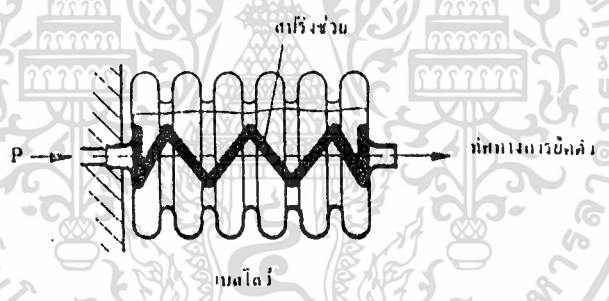
สำหรับแรงดันในระดับกลางและต่ำซึ่งเครื่องวัดแบบทอกันหอยไม่สามารถจะวัดได้ ดังนั้นจึงได้มีการพัฒนาเครื่องวัดแบบเบลโลว์ขึ้น เพื่อวัดแรงดันในช่วงที่ต่ำ

สำหรับแรงดันระดับกลางนิยมใช้เบลโลว์ที่ทำด้วยทองเหลืองหรือสแตนเลสซึ่งใช้วัดแรงดันในช่วงระหว่าง 2,500 มม. น้ำ หรือ 3 กก./ ตรซม. (แรงดันเกจ) หรือใช้วัดสุญญากาศในช่วงระหว่าง 250 - 760 มม.ปรอท เครื่องวัดแบบนี้ประกอบด้วยเบลโลว์โลหะ รูปร่างเป็นลอนคล้ายโคมไฟกระดาษที่รับแรงดันมาก จึงสามารถให้แรงได้มาก ขยายหรือหดตัวตามแนวแกนตัวเบลโลว์เองมีความยืดหยุ่น ทำให้เกิดฮิสเตอรีซิส เมื่อมีแรงมากกระทำแล้วค่อยให้กลับคืนสู่สภาพเดิม อาจคืนตัวไม่สมบูรณ์ ความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับแรงดันจะเสียไป ดังนั้นมักจะทำให้มีโครงสร้างดังรูป โดยให้แรงดันสมดุลกับสปริงที่สร้างขึ้นต่างหาก การขยายระยะเคลื่อนที่ของเบลโลว์นั้นอาศัยคันต่อ

สำหรับแรงดันต่ำและสุญญากาศนั้น เบลโลว์ที่มีมีขนาดใหญ่มากกว่า เพื่อที่จะให้ค่าแรงต่อหน่วยพื้นที่มีค่ามากกว่า ซึ่งแรงนี้จะถูกต่อต้านด้วยสปริง สำหรับการวัดสุญญากาศนี้สปริงที่ใช้มักมีขนาดเล็กกว่า การวัดแรงดันระดับนี้มักจะใช้เบลโลว์ที่ทำจากทองเหลืองซึ่งวัดแรงดันระหว่าง 100 มม.น้ำ ถึง 2,500 มม.น้ำ



รูปที่ 2.13 การทำงานของเบรคโลว์



รูปที่ 2.14 ใช้สปริงช่วยการทำงานของเบรคโลว์

ฉ. เครื่องวัดแบบไดอะแฟรม (Diaphragm Gage)

ไดอะแฟรมเป็นแผ่นโลหะหรือสารสังเคราะห์ลักษณะกลมบางหรือเป็นลอนเมื่อมีความดันมาก กระทบลงบนแผ่น ไดอะแฟรมจะทำทำให้แผ่น ไดอะแฟรมเกิด โกงตัว ไปตามทิศทางของความดัน ขนาดของการโก่งตัวจะเป็นไปตามความเข้มของความดัน

เครื่องวัด ไดอะแฟรมมีความไวและความเที่ยงตรงสูงและวัดได้รวดเร็ว นอกจากนี้ยังสามารถทำให้ทาง เข้าของแรงดันกว้าง ได้จึงเหมาะสมสำหรับของเหลวที่มีความหนืดสูงหรือของเหลวที่มีช่อง เชิง เจือปน ถ้าใช้วัสดุทนการกัดกร่อนทำ ไดอะแฟรมก็จะสามารถใช้วัดของเหลวที่มีความกัดกร่อนได้

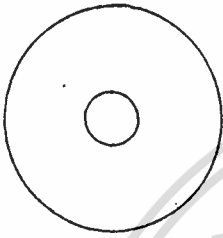
ไดอะแฟรมมีทั้งแบบที่ทำด้วย โลหะและอโลหะ ที่ทำด้วย โลหะมีทองสัมฤทธิ์ เหล็ก ไร้สนิม โลหะผสมทองแดง เบอวิลเลียม ชนิดที่ทำด้วยอโลหะมียางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์ เทพลอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่งฟอง เป็นแผ่นปกติ ไดอะแฟรมจะมีความหนาประมาณ 0.15 - 2.00 มม. และมีหลายชนิด ชนิดที่บางขนาด 0.01 มม. สำหรับวัดแรงดันน้อย ๆ ก็มี ไดอะแฟรมที่ทำจากโลหะเมื่อเปรียบเทียบกับที่ทำด้วยโลหะแล้ว อ่อนนุ่มกว่า มีอีลัสเตอริซิตีน้อย เหมาะสำหรับวัดแรงดันต่ำ ๆ แต่มีข้อเสียคือรับอิทธิพลความร้อนได้ง่าย

ไดอะแฟรมแบบแผ่นเรียบ

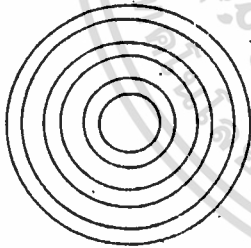
ไดอะแฟรมแบบแผ่นเรียบจะพบมากในงาน Electrical pressure transducer แบบ Capacitive sensing ไดอะแฟรมแบบแผ่นเรียบนี้จะทำให้ movement เพียงเล็กน้อยตามปกติแล้วย่านการวัดที่จะให้ผลเ็นยวติ จะอยู่ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ของความหนาของ ไดอะแฟรม



รูปที่ 2.15 แบบแผ่นเรียบ (flat Type)

ไดอะแฟรมแบบลอน

ไดอะแฟรมแบบลอน ส่วนใหญ่จะมี เส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่าแบบแผ่นเรียบ ผลดีของการสร้างลอนแบบจุดศูนย์กลางร่วม บนแผ่น ไดอะแฟรม จะทำให้ช่วงเ็นยวติเพิ่มขึ้น และลดแรงดัน ที่ความดันกระทำต่อไดอะแฟรม ซึ่งทำให้ทนต่อความกดดันเกินปกติ ได้ดีขึ้นแต่ผลต่อความดันแบบ ไดนามิคลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นเรียบจึงเหมาะกับงานที่มีความถี่ของความดันต่ำหรือเป็นแบบสแตติก



รูปที่ 2.16 แบบลอน (Corrugated Type)

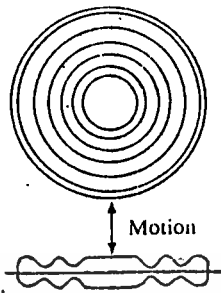
ไดอะแฟรมแบบเค็บซูล

เค็บซูล คือ ไดอะแฟรมแบบลอนสองแผ่นประกบกัน ในกรณีที่ต้องการวัดค่าความดันต่ำ ๆ เค็บซูลจะเป็นตัววัดที่ไดอะแฟรมด้านหนึ่งของตัวเค็บซูลจะตรึงอยู่กับที่และอีกด้านหนึ่งจะเคลื่อนที่ไป เมื่อเค็บซูลของตัวออกเนื่องจากความดันกระทำภายใน

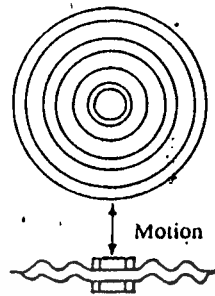
เค็บซูล เหมาะสำหรับวัดความดันก๊าซ 0-600 mmH<sub>2</sub>O (0-8 psig) หรืออาจจะออกแบบให้วัดได้ทั้งความดันและสุญญากาศ เมื่อเป็นความดันเค็บซูลจะของตัวออก และเมื่อเป็น Vacuum

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

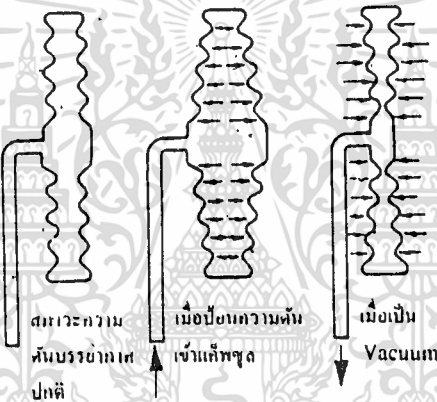
แถบรูฉลวงหดตัวเข้า



รูปที่ 2.17 แบบ Convex



รูปที่ 2.18 แบบ Nested



รูปที่ 2.19 การเปลี่ยนรูปของแหวนในสภาวะความดันต่าง ๆ

2.4 เครื่องวัดแรงดันแบบไฟฟ้า

ตารางแสดงเครื่องวัดแรงดันทางไฟฟ้าชนิดต่าง ๆ

ชนิด	ช่วงการวัด	ความเที่ยง
เครื่องวัดแรงดันแบบความต้านทาน	0.01 ~ 100 Kgw/cm <sup>2</sup>	±1 - ±2 %
เครื่องวัดแรงดันแบบฮิสเตอร์ริซิสทางแม่เหล็ก	0.5 ~ 500 Kgw/cm <sup>2</sup>	±1 - ±4 %
เครื่องวัดแรงดันแบบแรงดันไฟฟ้า	5 ~ 11,000 Kgw/cm <sup>2</sup>	± 2%

ข้อดีของเครื่องวัดแรงดันแบบไฟฟ้า มีดังนี้

1. วัดได้เที่ยงและมั่นคง
2. สามารถแสดงบันทึกการวัดได้ง่าย

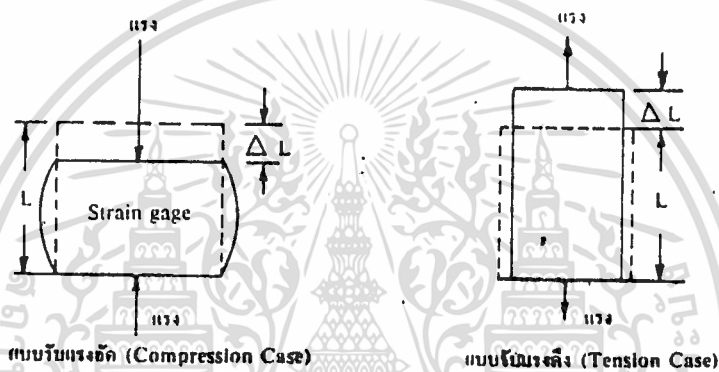
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. วัดจากระยะไกล ๆ ได้รวดเร็ว
4. สามารถทำให้มีขนาดเล็กได้

#### 2.4.1 เครื่องวัดแรงดันแบบไฟฟ้าอาศัยหลักการทรานดิวเซอร์ มีดังนี้

ก. สเตรนเกจ (Strain Gage) แบบความต้านทาน

เครื่องมือวัดความต้านทานแบบสเตรนเกจ อาศัยหลักการเปลี่ยนค่าความต้านทานของตัวนำ เมื่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเส้นลวดตัวนำ เปลี่ยน



รูปที่ 2.20 หลักการของสเตรนเกจ

ค่าสเตรน หมายถึง ความยาวที่เปลี่ยนไปหารด้วยความยาวเดิม

$$\text{Strain} = \frac{\Delta L}{L}$$

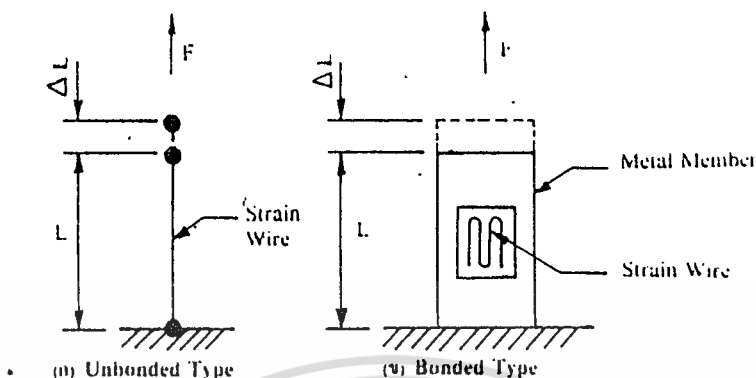
...เกิดจาก ความดันในระบบกระทำลงบนพื้นที่หน้าตัดของตัวนำ ถ้าเป็นแรงกดอันเกิดจากความดันขนาดความยาว  $L$  จะลดลง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดตัวนำจะใหญ่ขึ้นทำให้ความต้านทานของลวดตัวนำต่ำลง แต่ถ้าเป็นแรงดันอันเกิดจาก Vacuum ขนาดความยาวจะเพิ่มขึ้น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางจะเล็กลงทำให้ความต้านทานของลวดตัวนำต่ำลง

ตัวแปรสัญญาณสเตรนเกจ นี้สามารถแบ่งโครงสร้างออกเป็นส่วนใหญ่ ๆ ได้

2 ส่วนคือ

1. ตัวสเตรนเกจ
2. วงจรบริดจ์

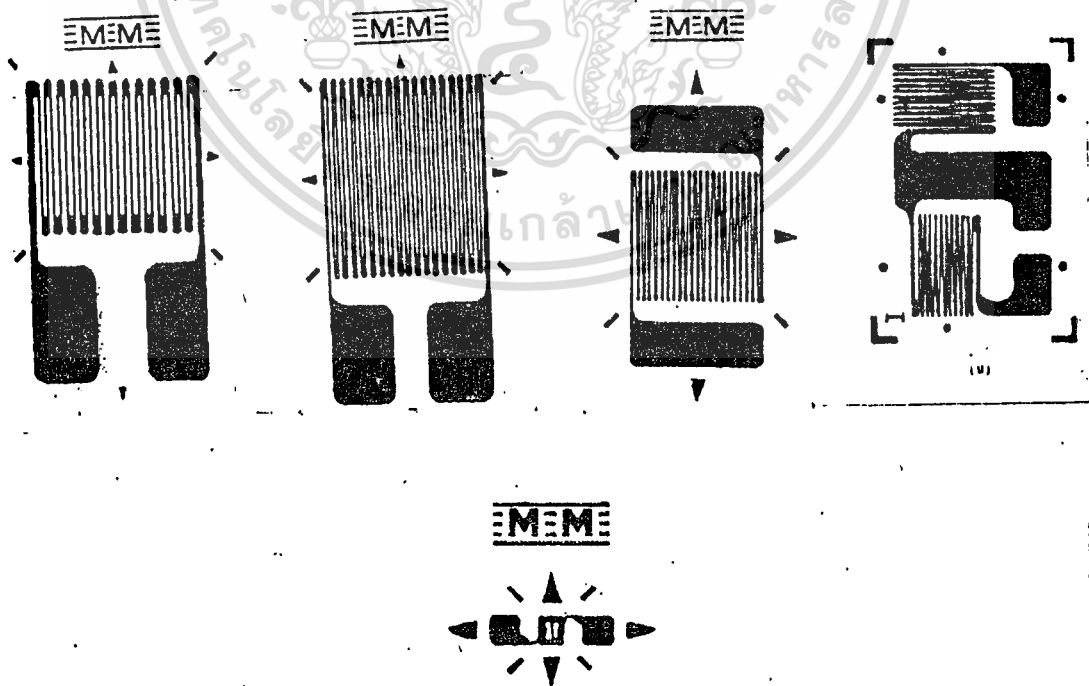
สเตรนเกจ มี 2 แบบ คือแบบบอนด์ และแบบอินบอนด์



รูป 2.21 แบบอัลบอนด์และแบบบอนด์

แบบอัลบอนด์ติดตั้งหนึ่งของตัวสเตรนเกจติดอยู่กับโครงสร้าง ถ้าสมมติเป็นต้นที่รับรู้การเปลี่ยนแปลงของความตึงเครียดแบบอัลบอนด์นี้เหมาะสำหรับการวัดค่าความตึงเครียด

แบบบอนด์ตัวสเตรนเกจจะถูกติดตั้งอยู่บนเครื่องมือ การเปลี่ยนแปลงขนาดความยาวของตัวสเตรนเกจจะเป็นไปตามตัวแป้นเปอร์เซ็นต์ ดังนั้นแบบบอนด์จึงไม่เหมาะสำหรับความตึงเครียด Vacuum รูปแบบของขดลวดสเตรนเกจมีหลายรูป



รูปที่ 2.22 แสดงความต้านทานรูปแบบต่างๆ ของสเตรนเกจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความไวของการวัดขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ

$$\text{เกจแพคเตอร์ (Strain Sensitivity)} = \frac{\Delta R/R}{\Delta L/L}$$

... $\Delta R$  คือ ค่าความต้านทานที่เปลี่ยนไปเนื่องจากความยาว  $L$  เปลี่ยนไป  $\Delta L$

$R$  คือ ความต้านทานขณะความยาว  $L$

วงจรบริดจ์

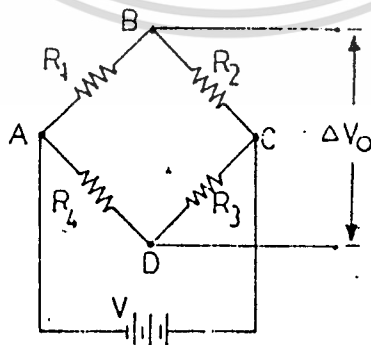
วงจรบริดจ์ ดังแสดงในรูป เป็นวงจรที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน เพราะสามารถวัดได้ทั้งแบบไดนามิก และสถิต (Static) แรงดันออกที่เปลี่ยนไป  $\Delta V_o$  จะแปรผันกับแรงดัน ถ้าให้  $V_o$  เป็นแรงดันออกจากวงจร จะเขียนสมการได้ดังนี้

$$V_o = \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} V$$

ถ้าบริดจ์สมดุล คือ  $R_1 R_3 = R_2 R_4$  จะทำให้  $V_o = 0$  ดังนั้นในสมการใช้งานวัดแบบสถิตจะปรับให้บริดจ์สมดุลในตอนเริ่มต้น ซึ่ง  $R_1, R_2, R_3$  และ  $R_4$  มีค่าเปลี่ยนไปเท่ากับ  $\Delta R_1, \Delta R_2, \Delta R_3$  และ  $\Delta R_4$  จะทำให้แรงดันออกเท่ากับ

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

โดยที่  $r = R_2/R_1$  และ  $\eta$  เป็นค่าความไม่เป็นเชิงเส้น ในกรณีของสเตรนเกจแบบสารกึ่งตัวนำ ซึ่งมีค่าเกจแพคเตอร์สูง ค่า  $\Delta R/R$  จะมีค่ามาก ทำให้ค่าความไม่เป็นเชิงเส้น ( $\eta$ ) มีค่ามากด้วย แต่ในกรณีของสเตรนเกจแบบเส้นลวดและแบบแผ่นโลหะบางที่มีค่าเกจแพคเตอร์ต่ำจะได้  $\Delta R/R$  มีค่าน้อยจึงให้ความไม่เป็นเชิงเส้น ( $\eta$ ) มีค่าน้อยซึ่งพิจารณาตัดทิ้งได้

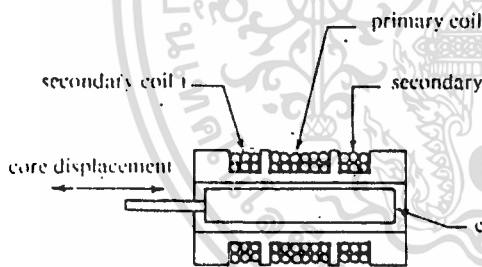


รูปที่ 2.23 วงจรวิทลิตอนบริดจ์

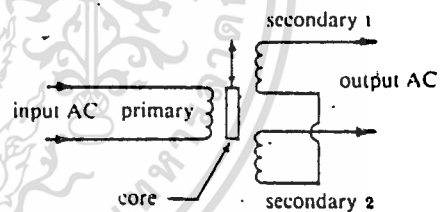
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. Linear Variable differential Transformer (LVDT) แบบแรงดันไฟฟ้า

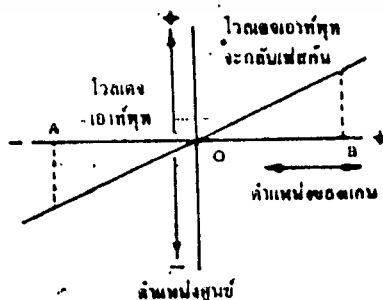
LVDT เป็นตัวเปลี่ยนระยะทางการเคลื่อนที่ (Displacement) เป็นสัดส่วนโดยตรงกับสัญญาณทางไฟฟ้า หลักการทำงานของ LVDT เหมือนกับทรานส์ฟอร์มเมอร์ที่ปรับตำแหน่งของแกนได้ตามรูปเป็นรูปผ่าตามยาวของ LVDT ซึ่งประกอบด้วยชุดไพรมารี และชุดเซคันดารี มี 2 ชุดทางด้านซ้ายและขวา ที่ต่อให้มีทิศทางสวนกันตามไดอะแกรมเมื่อป้อนไฟ AC ให้กับชุดไพรมารี เอาท์พุทรวมของชุดเซคันดารีจะขึ้นอยู่กับตำแหน่งแกนของทรานส์ฟอร์มเมอร์ ถ้าแกนอยู่ในตำแหน่งกึ่งกลาง เอาท์พุทของเซคันดารีทั้งสองจะมีค่าเท่ากันและลบข้างกันพอดี ตำแหน่งนี้เรียกว่าตำแหน่งศูนย์ (Null position) ไม่มีเอาท์พุทออกมา เมื่อเลื่อนแกนไปทางขวา โวลต์เตจของชุดเซคันดารี 2 จะเพิ่มขึ้น และเซคันดารี 1 จะลดลงทิศทางผลรวมไปทางหนึ่ง แต่ถ้าเลื่อนแกนไปทางซ้ายเซคันดารี 1 จะมีเอาท์พุทเพิ่มขึ้นและชุดเซคันดารี 2 จะมีเอาท์พุทลดลง ผลรวมจะมีทิศทางกลับกันเกี่ยวกับการเลื่อนแกนครั้งแรก (Phase shift) ซึ่งมีผลที่ได้จากการเขียนกราฟตำแหน่งของแกนและเอาท์พุทโวลต์เตจ จะให้ผลเป็นเส้นเอียงขึ้นตามรูป แต่อย่างไรก็ตามขณะที่ตำแหน่งศูนย์ (Null position) เอาท์พุทจะไม่เป็นศูนย์ทีเดียวเนื่องจากมีสนามแม่เหล็กตกค้างอยู่ ซึ่งจะทำให้มีเอาท์พุทอยู่เล็กน้อย ความไวของการวัดจะบอกเป็น Volt.out/Volt.in ต่อระยะทาง 1 นิ้ว



รูปที่ 2.24 แสดงภาพตัดของ LVDT



รูปที่ 2.25 แสดงวงจรของตัว LVDT

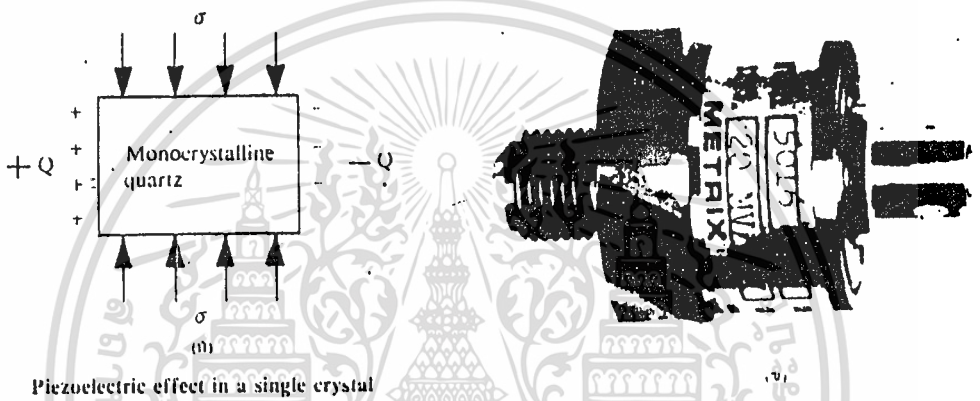


รูปที่ 2.25 แสดงตำแหน่งของแกนกับ เอาท์พุทที่ได้

ค. แบบแรงเครียดไฟฟ้า ( Piezo-electric type

เมื่อมีแรงดึงหรือแรงดันกระทำต่อผลึกของสารบางชนิดเช่น Rochelle Salt Rock Crystal จะทำให้เกิด ไฟฟ้าขึ้นที่ผิวของผลึกนั้น หรือถ้าเมื่อเอกลูกเหล็กเข้าข้างไว้ในสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ผลึกจะขยับหรือหดตัวได้ ปรากฏการณ์นี้ เรียกว่า ปรากฏการณ์แรงเครียดไฟฟ้า (Piezo electric Effect)

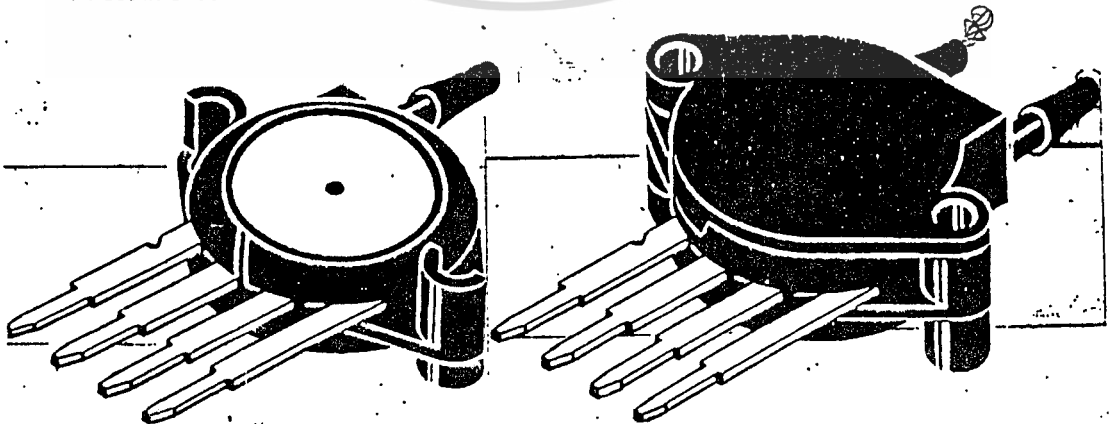
ตามรูป เมื่อบางผลึกตั้งกล้าข้างบน 2 แผ่น ประกบกัน เมื่อมีแรงดันมากระทำจะทำให้เกิดประจุไฟฟ้าขึ้นที่ผิวของหน้าประกอบ ปริมาณประจุที่เกิดขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดัน



รูปที่ 2.26 ทรานสดิวเซอร์แบบใช้ความถี่

ในโครงการปริญญาโทนั้นที่ทำมี เครื่องแปลงสัญญาณความดัน เป็นสัญญาณกระแสจะใช้ทรานสดิวเซอร์ สำหรับวัดความดันสำหรับรูปของบริษัท Motorola ซึ่งได้หลักการที่ตรงกัน ดังรูป

Pressure or Vacuum Side Ported Pressure and Vacuum Side Ported



รูปที่ 2.27 แสดงอุปกรณ์แสดงการตรวจวัดความดัน

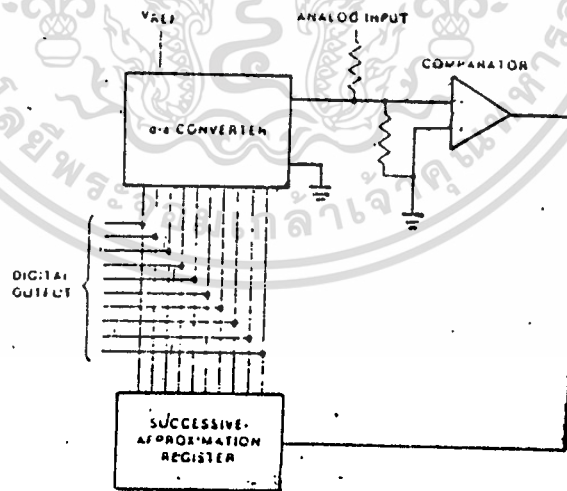
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### ภาคแสดงผล

แรงดันหรือสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จาก Bridge strain gage pressure Sensor จะถูกป้อนให้ภาคแสดงผล โดยแสดงแบบเชิงตัวเลขหรือแบบดิจิทัล (Digital) ในภาคแสดงผลแบบเชิงตัวเลขสัญญาณที่ถูกขยายแล้ว จะได้รับการแปลงเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขโดยวงจรแปลง เวกูตี (A/D converter) และแสดงผลออกมาเป็นตัวเลขทำให้ง่ายต่อการอ่านผล มีค่าความแม่นยำสูง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ก. วงจรแปลงเอวกูตี เป็นส่วนที่จะแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณเชิงตัวเลขที่บ่งขนาดของแรงดันไฟฟ้ั้น วงจรแปลงเอวกูตีมีหลายชนิดตั้งแต่แบบใช้กลไกจนกระทั่งถึงแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ สามารถแบ่งออกจางาย ๆ ได้สองประเภท คือ ประเภทที่ไม่มีอินทิเกรต (NON - integrating type) กับประเภทที่มีการอินทิเกรต (Integrating type)

1. ประเภทไม่มีการอินทิเกรต จะใช้การเปรียบเทียบแรงดันไฟกับแรงดันไฟมาตรฐาน ชนิดต่าง ๆ ที่สร้างขึ้น โดยแรงดันไฟมาตรฐานเหล่านี้ได้มาจากสัญญาณเชิงเลขหรือสามารถแปลงเป็นลักษณะเชิงเลขได้ง่าย ตัวอย่างของวงจรประเภทนี้ได้แก่ Parallel Comparator Counter type และ Successive approximation type เป็นต้น วงจรประเภทนี้สามารถแปลงแรงดันไฟเป็นสัญญาณเชิงเลขได้รวดเร็วแต่มีจุดอ่อนตรงค่าที่วัดได้ เป็นค่าแรงดันไฟจุดใดจุดหนึ่ง (Instantaneous Value) ไม่ได้วัดค่าเฉลี่ยในรอบ 1 คาบ เวลาของสัญญาณนั้น ดังนั้นค่าที่วัดได้จึงมักจะแปรเปลี่ยนไปตามเวลาเสมอ ดังรูป

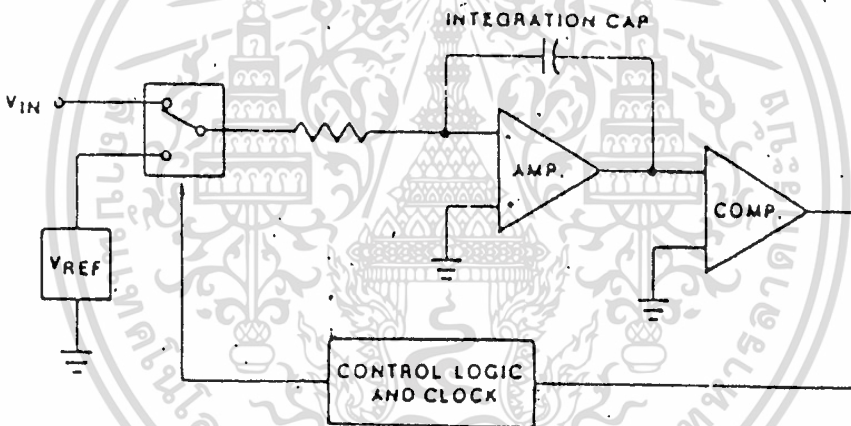


รูปที่ 2.28 โครงสร้างของวงจรแปลงเอวกูตีแบบ Successive approximation type

แสดงโครงสร้างของวงจร เวกูตี แบบ Successive approximation type ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่สำคัญคือ วงจรแปลงสัญญาณอนาลอก (Digital to analog converter) หรือวงจรแปลงดิจิทัล (D/A Converter) และ Successive approximation register เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

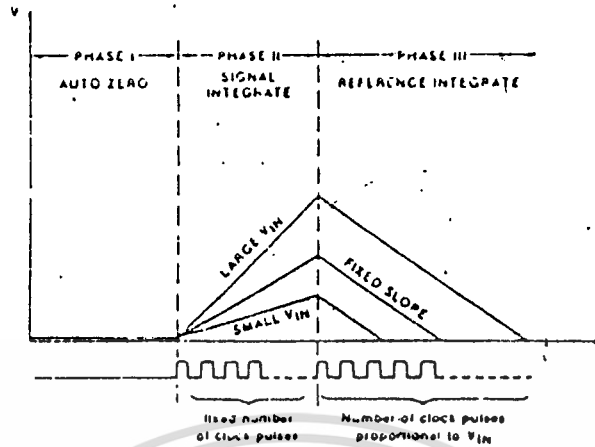
(SAR) แรงดันไฟที่ออกจากวงจรแปลงดิจิทัลจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับสัญญาณอนาล็อกหรือแรงดันไฟฟ้า โดยการเปรียบเทียบทีละบิต (Bit) เริ่มจากบิตที่มีค่าสำคัญมากที่สุด (MSB) ไปสู่อบิตที่มีน้อยสำคัญที่สุด (LSB) บิตที่จะถูกเปรียบเทียบจะถูกเซตว่าเป็น "1" ถ้าแรงดันไฟจากวงจรแปลงดิจิทัลมีค่ามากกว่าแรงดันไฟเข้า บิตนั้นจะถูกเปลี่ยนเป็น "0" แต่ถ้ามีค่าที่น้อยกว่า จะคงค่าบิตนั้นเป็น "1" จากนั้น SAR จะเลื่อนไปเปรียบเทียบกับบิตต่อไปเพื่อเสร็จการแปลงในแต่ละรอบ สัญญาณเชิงเลขจะถูกส่งไปยังวงจรแสดงผล

2. ประเภทมีการอินทิเกรต จะทำการอินทิเกรตหรือเฉลี่ยขนาดของแรงดันไฟ จึงทำให้ค่าที่วัดได้แม่นยำ และมีเสถียรภาพดี ไม่ถูกรบกวนจากสัญญาณรบกวนอื่น ๆ วงจรประเภทนี้ได้แก่ V to F Converter Pulse width modulation type และ Dual slope type เป็นต้น ดังในรูป แสดงโครงสร้างของวงจรแปลงแบบ Dual slope type วงจรชนิดนี้นิยมใช้กันมาก เพราะราคาถูกและให้ความแม่นยำสูง การทำงานของวงจรแปลงได้ 3 ช่วง



รูปที่ 2.29 แสดงโครงสร้างของวงจรแปลงแบบ Dual slope type

ช่วงที่ 1 การปรับศูนย์ ( Auto Zero ) ทั้งสัญญาณเข้าของวงจรอินทิเกรตจะถูกต่อลงกราวด์ค่าแรงดันออฟเซตของอุปกรณ์ต่าง ๆ จะถูกเก็บไว้ในตัวเก็บประจุ  
ช่วงที่ 2 อินทิเกรตสัญญาณ (Signal Integrate) ขั้วสัญญาณเข้าของวงจรอินทิเกรตจะต่อเข้ากับแรงดันไฟเข้า และอินทิเกรตด้วยเวลาคงที่ ซึ่งจะกำหนดด้วยจำนวนพัลส์นาฬิกาความชันของการอินทิเกรตจะเป็นสัดส่วนกับแรงดันไฟเข้าดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 แสดงช่วงเวลาการทำงานของวงจรแปลงแบบ Dual slope type

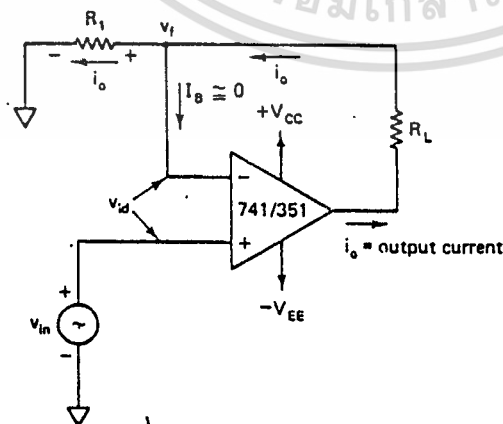
ช่วงที่ 3 อินทิเกรต แรงดันอ้างอิง (Reference Integrate) ซึ่งสัญญาณเข้าของวงจรอินทิเกรตจะต่อเข้ากับแรงดันอ้างอิง และอินทิเกรตด้วยความชันคงที่จนกระทั่งแรงดันออกของวงจรอินทิเกรตเป็นศูนย์ จำนวนพัลส์นาฬิกาที่นับได้ ในช่วงนี้จะเป็นค่าเชิงเลขของแรงดันเข้า

จากที่กล่าวมาแล้วจะเห็นว่า วงจรแปลงเอาต์ ประเภทที่มีการอินทิเกรต จะมีความเหมาะสมในการนำไปใช้งานมากกว่า เพราะเป็นการเฉลี่ยขนาดของสัญญาณที่จะวัดค่าที่ได้จึงแม่นยำ ภาควิชาแสดงการเปลี่ยนสัญญาณแรงดันไปเป็นสัญญาณกระแส (Voltage to current Converter)

Voltage to current Converter เป็นวงจรแปลงค่าแรงดันเป็นกระแสคงที่ (Constant Current Source) มีอยู่ 2 ชนิด

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

ดังรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 Voltage - to - current converter with floating load

จากสมการแรงดันเคอร์ชอฟ

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

แต่  $V_{id} \approx 0$

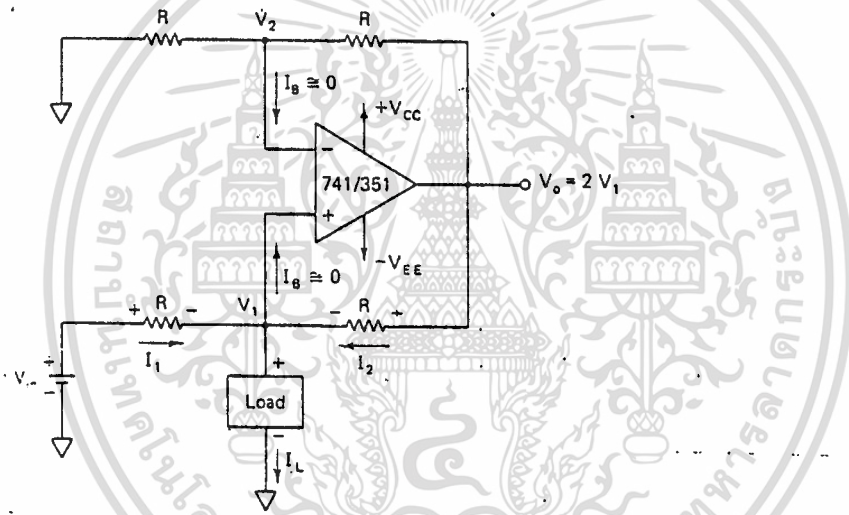
$$V_{in} = V_f$$

$$V_{in} = R_i i_o$$

$$i_o = \frac{V_{in}}{R_i}$$

แรงดันอินพุต  $V_{in}$  จะแปรโดยตรงกับกระแสเอาท์พุท  $\frac{V_{in}}{R_i}$

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



รูปที่ 2.32 Voltage-to-current converter with grounded load

จากสมการกระแสของเคอร์ชอฟ

ที่ node V1

$$I_1 + I_2 = I_L$$

$$\frac{V_{in} - V_1}{R} + \frac{V_o - V_1}{R} = I_L$$

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

ดังนั้น 
$$V_1 = \frac{V_{in} + V_o - I_L R}{2}$$

เมื่อต่อแบบนอนอินเวอร์ตติ้ง (Noninverting) อัตราการขยายจะได้

$$\frac{1 + R}{R} = 2$$

ดังนั้นแรงดันเอาต์พุต จะได้

$$\begin{aligned} V_O &= 2V_1 = V_{in} + V_O - I_i R \\ \text{ฉะนั้น } V_{in} &= I_i R \\ I_i &= \frac{V_{in}}{R} \end{aligned}$$

### ภาคแหล่งจ่ายไฟ (Power Supply)

แหล่งจ่ายไฟ จ่ายไฟเข้าสู่ภาคต่าง ๆ ในวงจร โดยมีหม้อแปลงทำเปลี่ยนระดับแรงดันให้ได้ตามที่ภาคต่าง ๆ ต้องการ โดยผ่านวงจรเปลี่ยนไฟฟ้ากระแสกลับเป็นกระแสตรง (Dectifier Circvit) เพื่อทำหน้าที่ให้พลังงานส่วนต่าง ๆ ของวงจร

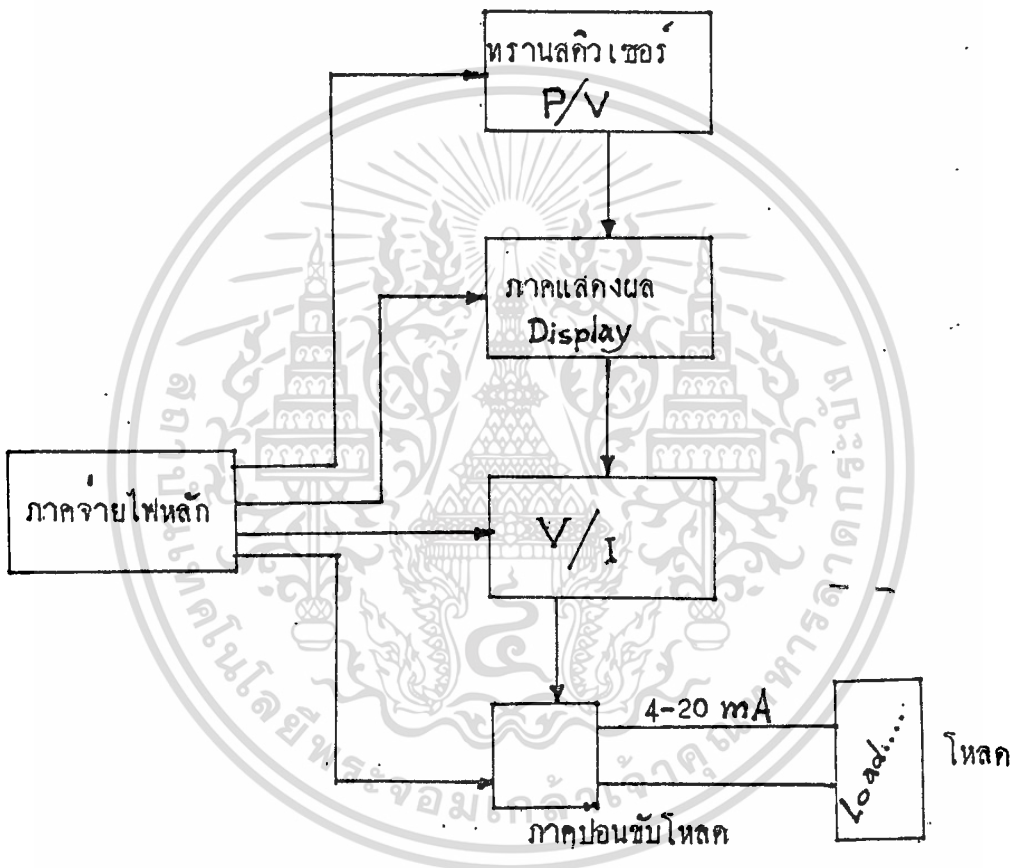


## การออกแบบสร้างและทดสอบเครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นกระแส

## 3.1 ข้อกำหนดในการออกแบบเครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นกระแส

ตั้งได้กล่าวแล้วว่าจุดประสงค์ของการสร้างเครื่องแปลงสัญญาณ ความดันเป็นกระแสเพื่อใช้เป็นสื่อในการเรียนการสอนด้านเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม และการควบคุมกระบวนการผลิตซึ่งได้ออกแบบให้ได้สัญญาณเอาท์พุทที่ 4-20 มิลลิแอมป์ ซึ่งเป็นสัญญาณควบคุมมาตรฐานตามที่กำหนดเพื่อที่จะไม่ป้อนให้กับอุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย (Final element) เช่น คอนโทรลวาล์ว หรืออื่นๆ ทางด้านรับสัญญาณ เข้า เป็นการวัดสัญญาณความดันซึ่งเป็นความดันในระบบการควบคุมเป็นความดันมาตรฐาน 3-15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยใช้บริดจ์สเตรนเกจ เบริดจ์เซอร์เซ็นเซอร์ ( Bridge Strain Gauge Pressure Sensor) เป็นตัวรับสัญญาณนี้เข้ามา ในระบบของการควบคุมใด ๆ นั้นสัญญาณทางด้านกระแสที่ใช้ควบคุมอยู่ในช่วง 4-20 มิลลิแอมป์ ถ้าเป็นทางด้านแรงดันก็จะไม่เกิน 24 โวลท์ แต่เนื่องจากโมดูลนี้สร้างขึ้นเพื่อการศึกษาเพื่อสะดวกในการนำไปใช้เป็นชุดสาธิตเกี่ยวกับการเรียนการสอน และใช้งานได้จริง ทางด้านแรงดันที่ป้อนโหลด 20 โวลท์ ในช่วงกระแส 4-20 มิลลิแอมป์ แหล่งจ่ายไฟหลักจึงได้จัดสร้างรวมไว้ด้วยกันทั้งหมด โดยใช้วงจรไดโอด แรกติไฟย์ (Diode rectifier) แล้วกรองแรงดันและเรกกูเลชัน (Regulation) ให้ได้ค่าแรงดันคงที่ แล้วป้อนให้กับภาคต่าง ๆ

3.2 บล็อกไดอะแกรมของเครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นกระแส ประกอบด้วยภาคต่าง ๆ คือ ภาคจ่ายไฟหลัก ทำหน้าที่จ่ายไฟให้กับภาคต่าง ๆ ของวงจร ภาคทรานสดิวเซอร์ (P/V) ทำหน้าที่แปลงสัญญาณความดันมาตรฐานเป็นแรงดันไฟฟ้า ภาคแสดงผล ทำหน้าที่แสดงผลการวัดสัญญาณความดันที่ทำการตรวจจับ ภาคเปลี่ยนสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแส (V/I) ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากทรานสดิวเซอร์เป็นกระแส แต่ละภาคออกแบบแต่เดิมมีวงจรแยกออกจากกันโดยสิ้นเชิงและเชื่อมต่อวงจรเข้าหากันโดยใช้สายเคเบิลเพื่อความสะดวกในการแก้ปัญหาเมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้นกับวงจรภาคต่าง ๆ ดังแสดงในรูป 3.1



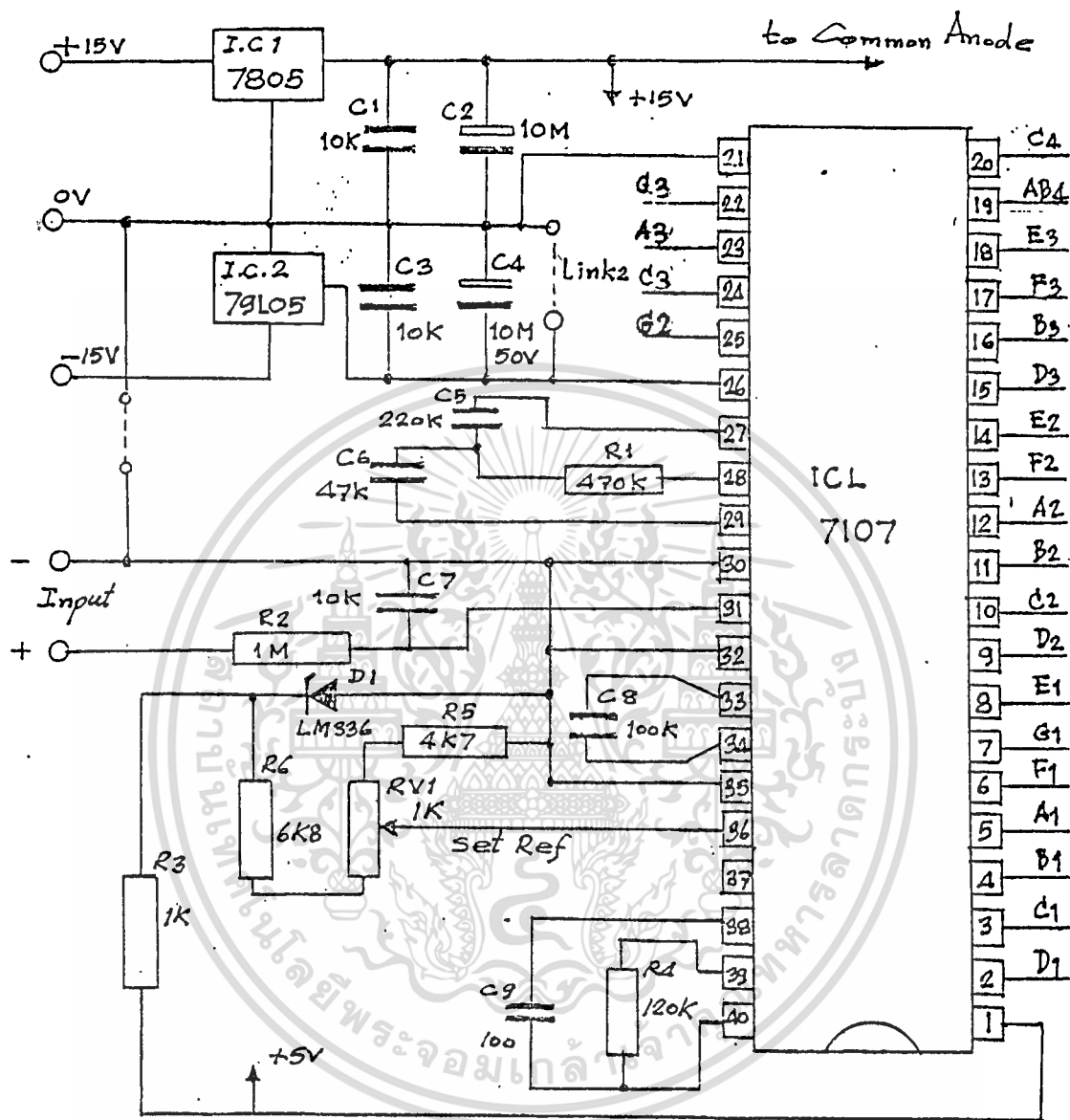
รูปที่ 3-1-1-บล็อกไดอะแกรมเครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.3 ภาคแสดงผลเชิงเลข (Digital Display)

ออกแบบโดยการนำเอา Single Chip 3 1/2 Digit A/D Converters เบอร์ 7107 ของ Intersil ซึ่งมีความสะดวกในการนำอุปกรณ์ร่วมเล็กน้อยมาประกอบเพื่อใช้แสดงผลด้วยตัวเลข 3 1/2 หลัก ด้วย LED ในวงจรจะได้รับการป้อนไฟฟ้า  $\pm 15$  โวลต์ ผ่าน ไอ.ซี เบอร์ 7085 และ 79 L 05 เพื่อนำการเรีกฎเกณฑ์ของเหลือ  $\pm 5$  โวลต์ ทำการนิลเตอร์แล้วป้อนให้กับ Single Chip ตัวนี้ จะเห็นว่ามันคือดิจิตอลโวลท์มิเตอร์นั่นเองซึ่งรับแรงดันได้ 0-2 โวลต์ จึงสามารถป้อนเข้ากับภาคแสดงผลได้โดยตรง โดยเลื่อนจุดตนิยมมายังหลักหลักที่ 3 R4 และ C8 มีหน้าที่รักษาเสถียรภาพการทำงานของ ไอ.ซี R2 และ R7 ถูกจัดเป็นวงจรโลว์พาสฟิลเตอร์ (Low Pass Filter) เพื่อกลั่นกรองเอาสัญญาณอินพุตกราวด์ (Ground) ไอ.ซีตัวนี้เป็นไอ.ซีที่ต้องการแรงดันทั้งไปบวกและลบ

การปรับแต่ง จะเริ่มด้วยการปรับแต่งดิจิตอลโวลท์มิเตอร์ให้มีความเที่ยงตรงสูงสุดสังเกตดูจากวงจรในรูปที่ 3.2 เราจะพบว่าจุดที่เราต้องทำการปรับแต่งกันอยู่อย่างละเอียดที่สุดคือ RV, 1 กิโลโอห์ม 15 รอบเฟืองจุดเดียว ขั้นตอนแรกในการเริ่มปรับใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่มีลักษณะค่อนข้างคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงต่างง่าย ๆ หรือแบบที่ไม่มีรีปเปิลกันเอง และแหล่งจ่ายไฟฟ้านี้จะต้องสามารถปรับค่าระดับแรงดันได้อย่างต่อเนื่อง ในช่วง 0-2 โวลต์ การป้อนไฟเข้าดิจิตอลโวลท์มิเตอร์ในตอนเริ่มแรกนี้ จะเห็นว่าที่จอแสดงผลจะแสดงตัวเลขเปลี่ยนไปเปลี่ยนมาไม่แน่นอน ทดลองปรับเครื่องจ่ายไฟที่ค่าต่าง ๆ เช่น 1.5 โวลต์ ภาคแสดงผลนี้จะแสดงค่า 1,500 ถ้าไม่ตรงให้ปรับค่าความต้านทานปรับค่าตัวเดียวที่มีอยู่ในวงจรมีค่าได้ 1,500 ถ้าปรับขั้วอินพุตข้อต่อกันจะเห็นว่าผลที่แสดงออกมาจะเป็น 0000 แต่ถ้าเราป้อนกลับขั้ว มันจะแสดงเครื่องหมาย - (ลบ) ออกมาข้างหน้า ทดลองป้อนค่าอื่น ๆ หลาย ๆ ค่า เพื่อความแม่นยำ

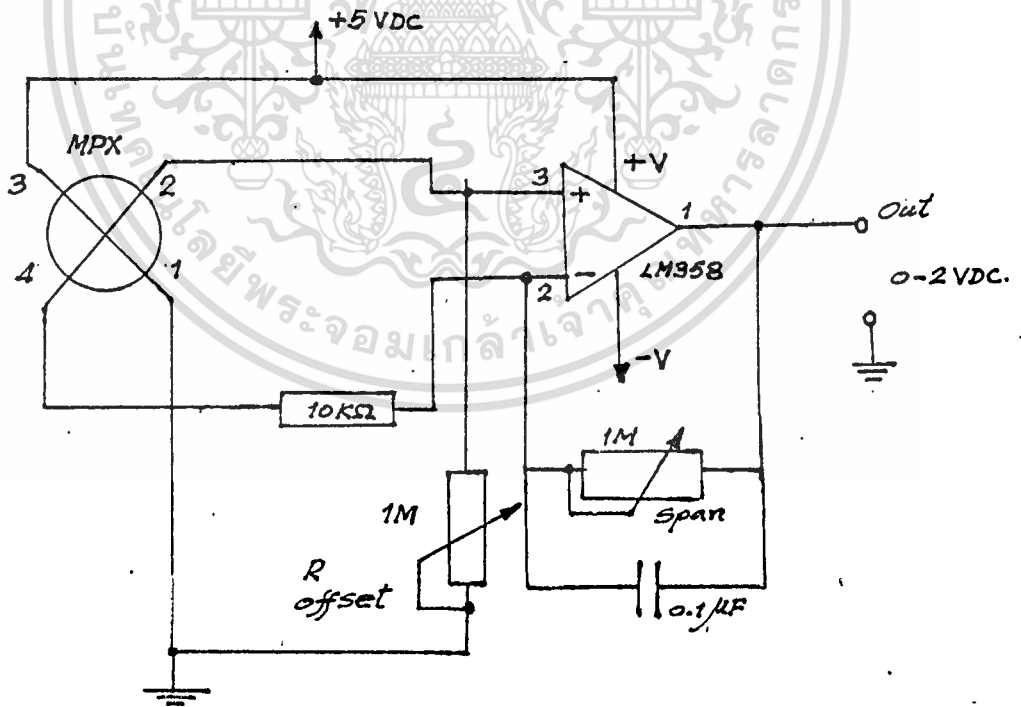


รูปที่ 3.2 ภาคแปลงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.4 ภาคทรานสดิวเซอร์

ในภาคนี้จะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณความดันมาตามธรรมชาติในระบบสัญญาณควบคุม เปลี่ยนเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า จากวงจรในรูปที่ 3.3 จะเห็นว่ามีการป้อนแรงดันให้กับวงจรมีค่า  $\pm 5$  โวลต์ ผ่าน Bridge Strain Gauge Pressure Sensors MPX 100 ของ MONTOROLA ซึ่งมีสามารถรับสัญญาณได้ 0-15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่ง บริดจ์ สเตรนเกจเพรสเชอร์เซ็นเซอร์เซ็นเซอร์นี้ มันจะบรรจุอยู่ในแพคเกจ และนำสัญญาณความดันที่ต้องการวัด มาป้อนเข้ากับรูของพอร์ท ซึ่งมีอยู่ 2 รู ซึ่งเราจะปล่อยให้ว่างไว้รูหนึ่ง เพื่อเทียบกับความดันบรรยากาศ เมื่อมีสัญญาณความดันกระทำให้ค่าของบริดจ์ สเตรนเกจ เปลี่ยนค่าตามหลักการของมัน จากนั้นนำค่าสัญญาณไฟฟ้าที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความดันนี้ไปขยายด้วย Op - Amp โดยใช้ ไอ.ซี ออปแอมป์เบอร์ LM 358 ซึ่งเป็น Linear Op-Amp จะได้แรงดันเอาต์พุตออกมา 0-2 โวลต์ ในการปรับแต่งเราสามารถปรับแต่งโดยการปรับ R Off set และ R span โดยใช้แหล่งจ่ายสัญญาณความดันที่สามารถปรับได้อย่างต่อเนื่อง 0-15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กดลองปรับแต่งโดยเริ่มจาก Zero และ Span ของมัน และทดสอบค่าอื่น ๆ ทั้งในทางเพิ่มมากขึ้น 0- 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ให้ได้สัญญาณไฟฟ้าเอาต์พุตเป็น 0-2 โวลต์ และในทางลด 15-0 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ให้ได้สัญญาณไฟฟ้าเอาต์พุต 2-0 โวลต์

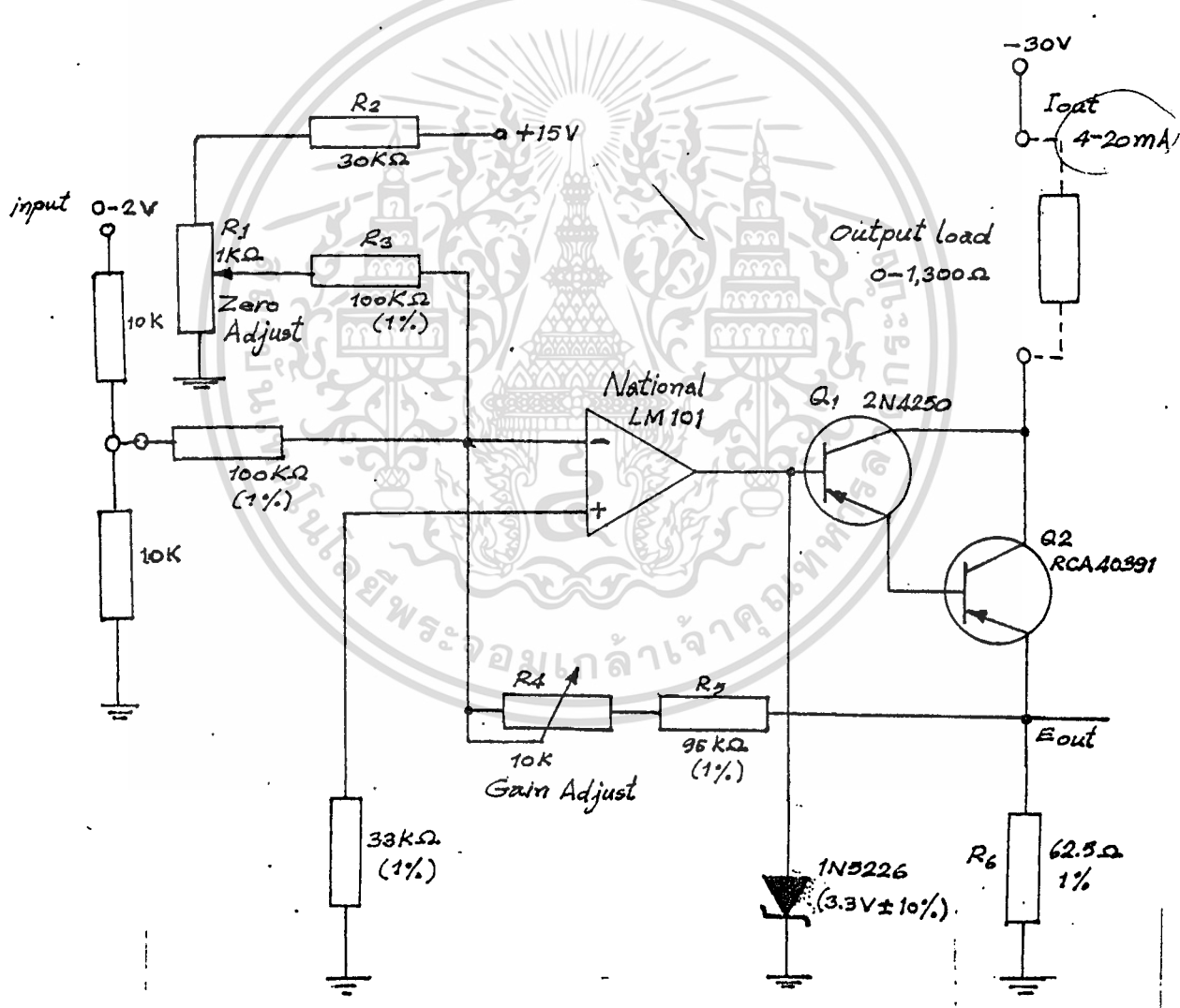


รูปที่ 3.3 วงจรภาคเปลี่ยนสัญญาณความดันเป็นแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ภาคเปลี่ยนสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณกระแส (V/I 4-20 mA)

จะเป็นภาคที่รับเอาสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการขยายแอมป์ ในภาคทรานสดิวเซอร์ มาเพื่อขยายสัญญาณโดยไอ.ซี LM 101 และไปขับ Transistor Q1 และ Q2 ซึ่งต่อกันแบบคาบิลิตัน เพื่อขับโหลดซึ่งเป็น Final Element ซึ่งมีค่าความต้านทาน 0- 1,300 โอห์ม จะได้กระแสเอาท์พุทในช่วง 4-20 มิลลิแอมแปร์ เราสามารถทำการปรับ Zero Adjust โดย R1 และปรับ Gain Adjust ด้วย R4 จากวงจรในรูปที่ 3.4 ออกแบบให้รับแรงดันได้ 0-1 โวลท์ จึงต้องมีวงจรแบ่งแรงดัน (Voltage divider) โดย R dr1 และ R dr2 การปรับแต่งปรับ R1 Zero Adjust เมื่อแรงดันอินพุทมีค่าศูนย์



รูปที่ 3.4 วงจรภาคเปลี่ยนสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณกระแส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.6 ภาคจ่ายไฟหลัก

จะประกอบด้วยภาคจ่ายไฟกระแสตรง 3 ชุด คือ

ก. ดี ซี โวลท์  $\pm 15$  โวลท์สำหรับภาคแสดงผลและภาคแปลงสัญญาณ V/I ออกแบบโดยใช้ไฟ A.C 15 โวลท์ผ่านวงจร Bridge Rectifier CR1 ออกมาเป็นไฟ ดีซี  $\pm 15$  โวลท์ แล้วทำการฟิลเตอร์และเร็กกูเลตด้วยไอซี เบอร์ 7815 ซึ่งเป็นไอซีเร็กกูเรทในทางบวก และไอซีเบอร์ 7915 ซึ่งเป็นไอซีเร็กกูในทางลบ

ข. ดี ซี โวลท์  $\pm 5$  โวลท์ สำหรับภาคทรานสดิวเซอร์

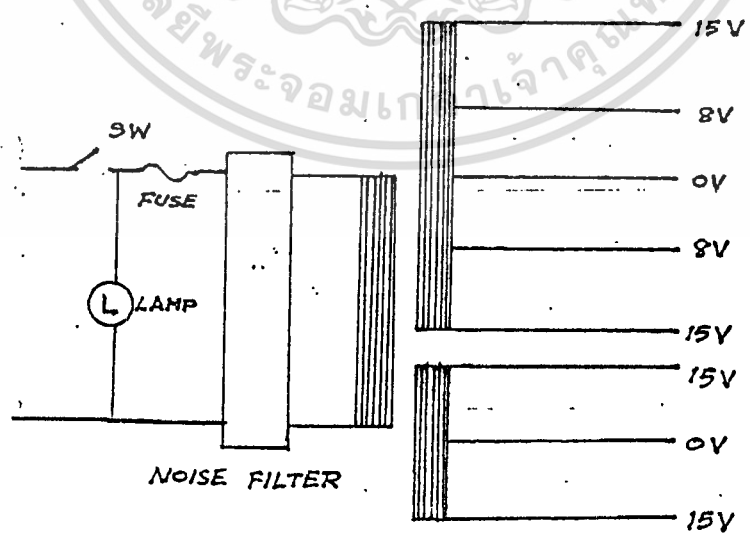
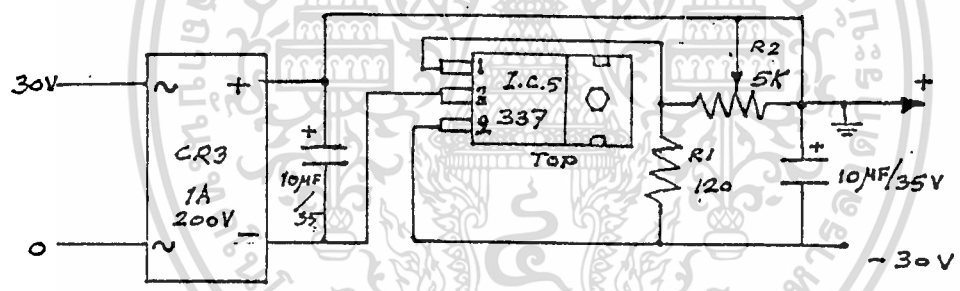
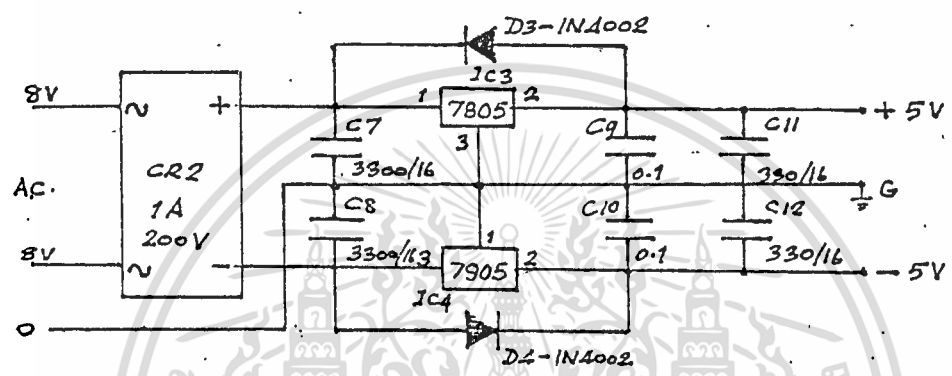
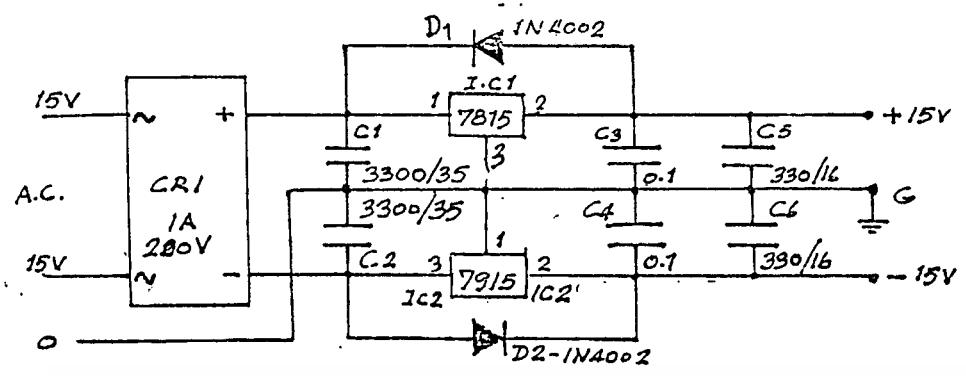
การออกแบบคล้ายกันโดยให้ไฟ A.C โวลท์ผ่านวงจร Bridge Rectifier CR2 จะได้แรงดัน ดี ซี  $\pm 5$  โวลท์ ออกมาทำการฟิลเตอร์ และทำการเร็กกูเลตด้วยไอซี เบอร์ 7805 ซึ่งเป็นไอซีเร็กกูเลทในทางบวก และไอซี เบอร์ 7905 ซึ่งเป็นไอซีเร็กกูเลทในทางลบ

ค. ดี ซี โวลท์  $\pm 30$  โวลท์ สำหรับภาคที่จะป้อนโหลด

เป็นแรงดันซึ่งแยกชุดต่างหากจาก 2 ชุดดังกล่าวโดยป้อนไฟ 30 โวลท์เข้าวงจร Bridge Rectifier CR 3 ทำการฟิลเตอร์ และเร็กกูเลทปรับแรงดันให้ได้ 30 โวลท์ เพื่อป้อนให้กับวงจรต่อไป โดยลงกราวด์ทางด้านบวก (+) ร่วมกับชุดอื่น ๆ

หม้อแปลงที่ใช้จะเป็นแบบเทอร์โรซด์ ก็แยกขดระหว่างด้านไฟเข้าและด้านไฟออก

ตั้งรูป 3.5



รูปที่ 3.5 ภาคจ่ายไฟหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.7 การประกอบวงจร

วงจรในแต่ละส่วนแยกแผ่นพิมพ์วงจรออกจากกันโดยสิ้นเชิง เพื่อความสะดวกในการออกแบบสร้างประกอบวงจร และรวมถึงการตรวจเช็ค และการแก้ไขปัญหาในกรณีที่วงจรมีปัญหาเกิดขึ้น เนื่องจากไม่มีปัญหาทางด้านความถี่ เพราะเป็นด้านสัญญาณอนาล็อกธรรมดา ซึ่งจัดวางเรียงแผ่นพิมพ์วงจรทั้งหมดในแนวนอน เพื่อความสะดวกในการยึดติดกับกล่อง สายเชื่อมโยงระหว่างวงจรแต่ละวงจร ใช้ Connector และสายเคเบิลธรรมดา เพื่อความสะดวก ใช้ NBC JACK ที่จุดเชื่อมต่อวงจร วงจรออกมาขับโหลด ซึ่งมีสัญญาณกระแส 4-20 มิลลิแอมป์ ทำให้จุดต่อไปใช้งานเกิดความกระชับแน่น



## บทที่ 4

### การทดลองและผลการทดลอง

การทดลองตรวจสอบการทำงานของเครื่องแปลงสัญญาณความดันเป็นกระแส นั้น ดังได้กล่าวมาแล้วว่าได้ทำการแยกสร้างออกจากกันโดยสิ้นเชิง เมื่อความสะดวกในการตรวจสอบการทำงานของภาคต่าง ๆ ทีละวงจร ซึ่งได้แยกทำการตรวจสอบดังนี้

ภาคจ่ายไฟหลัก ทดสอบโดยการจ่ายโหลด ทั้งภาคแสดงผล ภาคแปลงแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแส และภาคเปลี่ยนสัญญาณความดันเป็นแรงดันไฟฟ้า และทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ค่าต่าง ๆ จะได้ผลการทดสอบ ดังตารางที่ 4.1 และ ตารางที่ 4.2

ภาคแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้า เป็นสัญญาณกระแส โดยใช้สัญญาณแรงดันมาตรฐานป้อน เข้าตั้งแต่ 0-2 โวลต์ (จากค่าที่น้อยไปหามาก) และตั้งแต่ 2-0 โวลต์ ในการทดสอบนี้ใช้ความต้านทานโหลดที่ 250 โอห์ม จะได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.3 และตารางที่ 4.4

ภาคแสดงผลเชิงเลข ทดสอบโดยการป้อนแรงดันไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายแรงดันมาตรฐาน อ่านค่าที่ได้ แล้วเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้ กับค่าจากดิจิตอลมิเตอร์มาตรฐานจะได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.5

ภาคแปลงสัญญาณความดัน เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า ทดสอบโดยการป้อนสัญญาณความดันมาตรฐานจากการเรียกเลขและปรับความดันได้ แล้วจึงทำการวัดแรงดันเอาท์พุท ซึ่งจะได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.6 และตารางที่ 4.7

จากนั้นจึงนำวงจรภาคต่าง ๆ มาต่อเชื่อมโยงวงจรเข้าด้วยกันแล้วทำการทดสอบอีกครั้งโดยป้อนสัญญาณความดันเข้า ไป แล้วจึงวัดค่าของกระแสทางด้านเอาท์พุทที่ป้อนขับโหลด ซึ่งในการทดลองครั้งนี้ใช้ค่าความต้านทานโหลด 250 โอห์ม ซึ่งเป็นค่ากลาง ๆ ของอุปกรณ์ควบคุมตัวสุดท้ายที่ ๆ ไป เช่น คอลโทรล วาล์ว เป็นต้น ซึ่งจะได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4.8 และตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของภาคจ่ายไฟ  $\pm 15$  โวลต์  
สำหรับภาคแสดงผลและภาคเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าเป็นกระแส

อุณหภูมิ C	Excitations Supply ( Volts)			
	Test 1 (V)	Test 2 (V)	Test 2 (V)	Average ( V)
10	15.049	15.048	15.049	15.0487
20	15.048	15.047	15.048	15.0477
30	15.047	15.046	15.046	15.0463
40	15.046	15.045	15.045	15.0453
50	15.044	15.044	15.044	15.044
60	15.043	15.043	15.043	15.043

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์อุณหภูมิของภาคจ่ายไฟ  $\pm 5$  โวลต์  
สำหรับภาคเปลี่ยนสัญญาณความดันเป็นแรงดันไฟฟ้า

อุณหภูมิ C	Excitations Supply ( Volt)			
	Test 1 (V)	Test 2 (V)	Test 2 (V)	Average (V)
10	5.048	5.048	5.048	5.048
20	5.047	5.047	5.047	5.047
30	5.046	5.046	5.045	5.0457
40	5.045	5.045	5.045	5.045
50	5.044	5.044	5.044	5.044
60	5.045	5.044	5.045	5.044

ตารางที่ 4.3 การทดสอบภาคแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสจากค่าที่น้อยไปหาค่ามาก

แรงดันอินพุต (V)	สัญญาณกระแส (mA) 4 - 20 mA
0.00	0.00
0.25	2.20
0.50	4.20
0.75	7.20
1.00	9.80
1.25	12.00
1.50	14.60
1.75	17.20
2.00	19.20

ตารางที่ 4.4 การทดสอบภาคแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสจากค่ามากไปหาน้อย

แรงดันอินพุต (V)	สัญญาณกระแส (mA)
2.00	20.00
1.75	17.60
1.50	15.00
1.00	12.60
0.75	7.40
0.50	5.20
0.25	2.90
0.00	0.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 การทดสอบภาคแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสจากค่าน้อยไปหาค่ามาก

แรงดันอินพุต (V)	สัญญาณกระแส (mA) 4 - 20 mA
0.00	0.00
0.25	2.20
0.50	4.20
0.75	7.20
1.00	9.80
1.25	12.00
1.50	14.60
1.75	17.20
2.00	19.20

ตารางที่ 4.4 การทดสอบภาคแปลงสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเป็นสัญญาณกระแสจากค่ามากไปหาน้อย

แรงดันอินพุต (V)	สัญญาณกระแส (mA)
2.00	20.00
1.75	17.60
1.50	15.00
1.00	12.60
0.75	7.40
0.50	5.20
0.25	2.90
0.00	0.25

ตารางที่ 4.5 ข้อมูลทดสอบภาคแสดงผลเชิงเลขโดยเปรียบเทียบกับดิจิตอลมิเตอร์

Standard D.C Voltage (V)	DMM Reading (V)	Digital Display Reading (V)
.00	0.0000	0.0000
.01	0.0100	0.0100
.10	0.0995	0.0999
.40	0.3779	0.3779
.60	0.6000	0.6000
1.10	1.1001	1.1001
1.20	1.2001	1.2001
1.30	1.3000	1.3000
1.40	1.4000	1.4001
1.50	1.5001	1.5002
1.60	1.6001	1.6002
1.70	1.7001	1.7002
1.80	1.8001	1.8002
1.90	1.9000	1.9001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 ข้อมูลการทดสอบภาคแปลงสัญญาณความดันเป็นแรงดันไฟฟ้าจากความดันต่ำไปหาความดันสูง

ความดันป้อนเข้า (PSI)	แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (mV)
3	0.13
4	0.28
5	0.43
6	0.57
7	0.71
8	0.80
9	1.00
10	1.10
11	1.32
12	1.48
13	1.66
14	1.92
15	1.99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ข้อมูลการทดสอบภาคแปลงสัญญาณความดันเป็นแรงดันไฟฟ้าจากความดันสูงไปหาความดันต่ำ

ความดันป้อนเข้า (PSI)	แรงดันไฟฟ้าเอาต์พุต (mV)
15	2.00
14	1.88
13	1.72
12	1.58
11	1.43
10	1.28
9	1.13
8	0.98
7	0.82
6	0.67
5	0.50
4	0.34
3	0.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.8 ข้อมูลการทดสอบเมื่อป้อนสัญญาณอินพุต และตรวจสอบสัญญาณกระแสเอาต์พุต ที่ป้อนไหลด จากน้อยไปหามาก

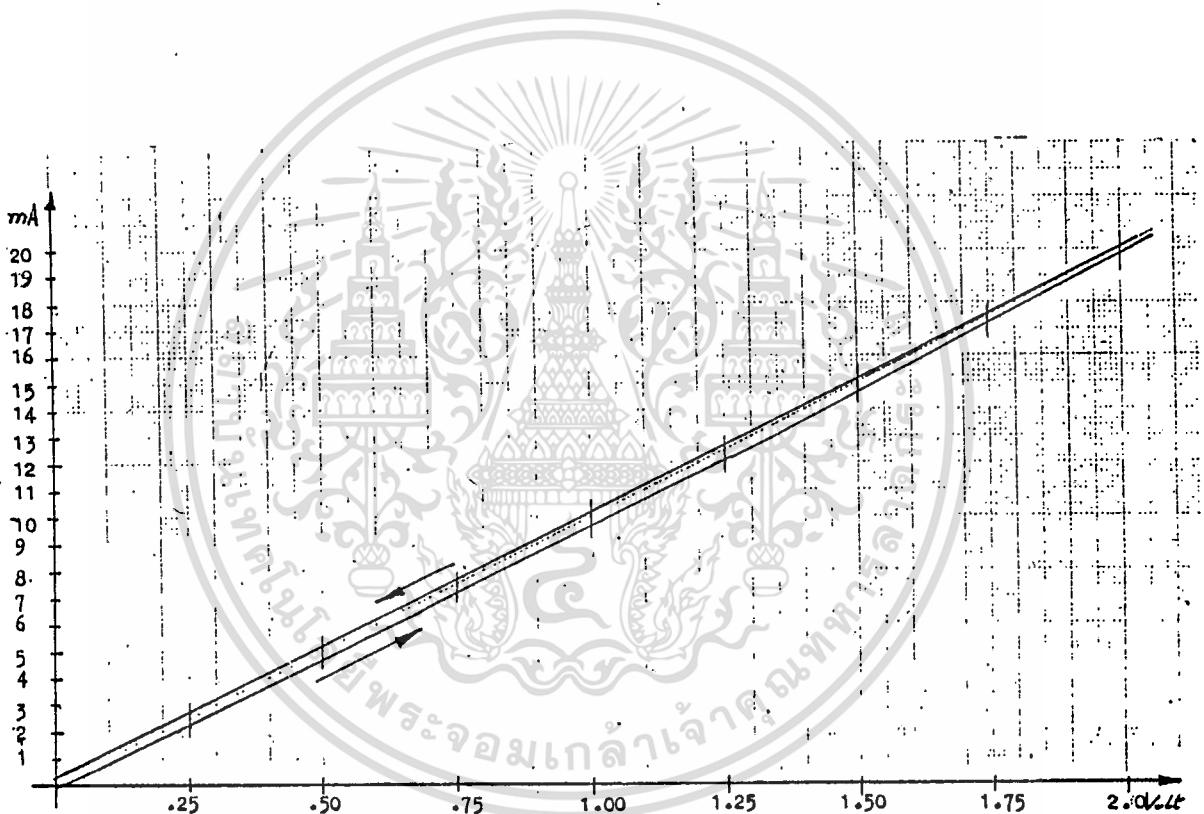
ความดัน (PSI)	กระแส (mA)
3	4.1
4	5.3
5	6.5
6	7.7
7	8.9
8	10.1
9	11.3
10	12.6
11	14.0
12	15.4
13	16.8
14	18.3
15	19.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 ข้อมูลการทดสอบเมื่อป้อนสัญญาณเอ็พท และตรวจสอบสัญญาณกระแสเข้าที่พท ที่ป้อนโหลด

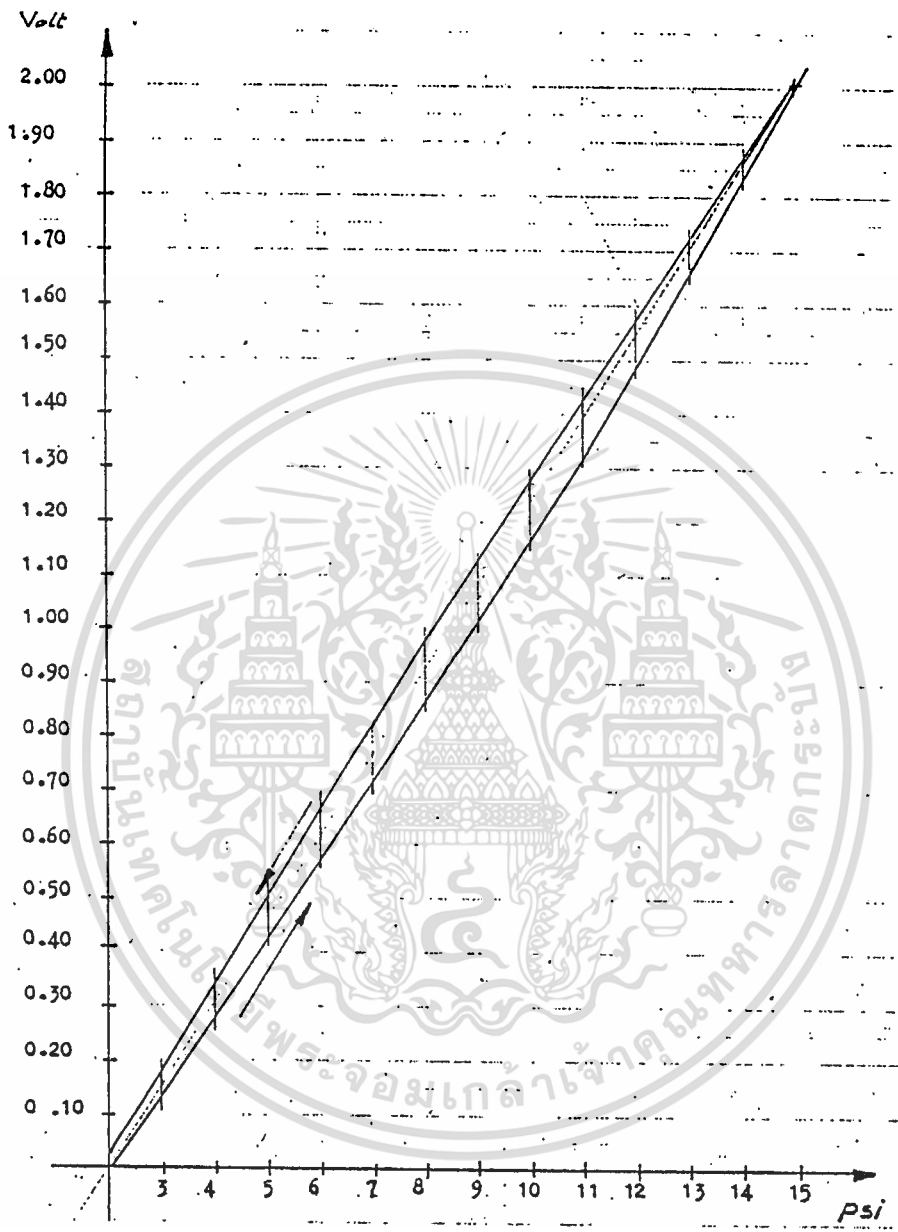
ความดัน (PSI)	กระแส (mA)
15	20.0
14	19.0
13	17.60
12	16.30
11	14.90
10	13.60
9	12.30
8	11.00
7	9.70
6	8.40
5	7.00
4	5.70
3	4.40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



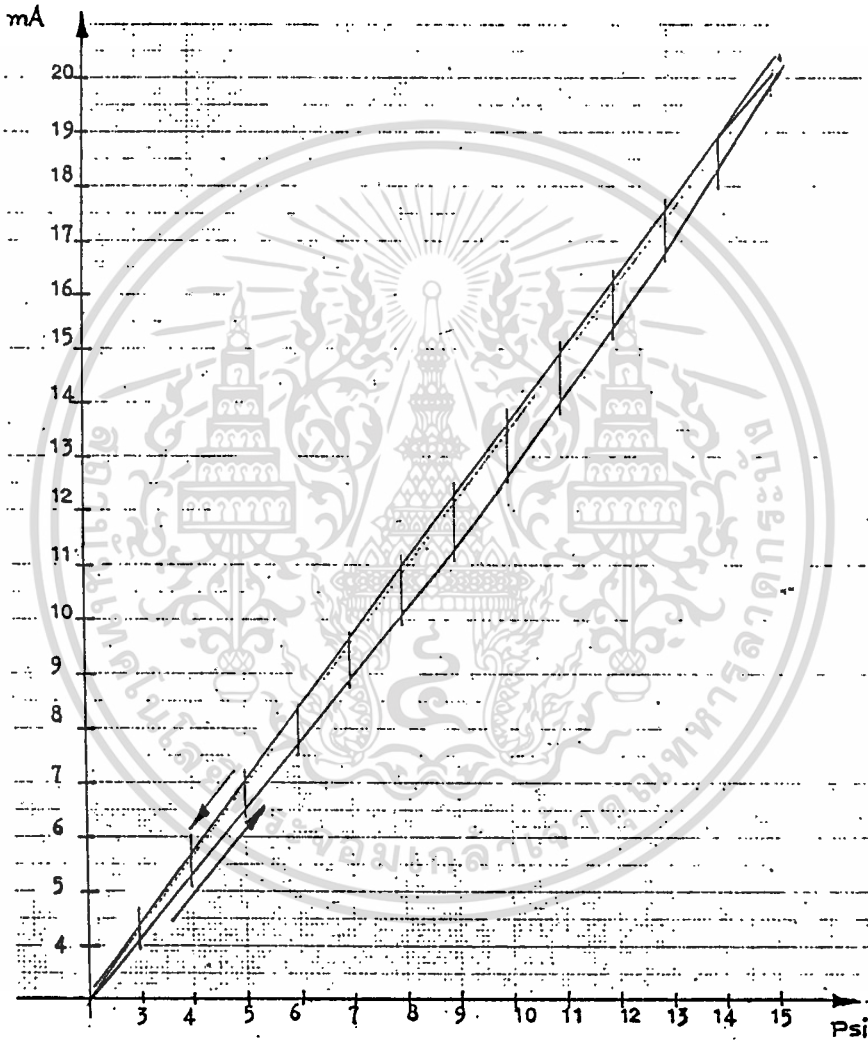
รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ของกระแสเปลี่ยนแปลงค่ากระแสที่ไหลผ่านหลอดเมื่อป้อนแรงดัน  
เข้าที่ภาค  $V/I$  จากตาราง 4.3 และ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงแรงดันเมื่อป้อนสัญญาณความถี่เข้าไป จากตาราง 4.6 และ 4.7.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น. ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น. อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ของค่าการเปลี่ยนแปลงของกระแสเมื่อป้อนความดัน จากตาราง 4.8 และ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทวิจารณ์และสรุป

การออกแบบจัดสร้างโครงการนี้ เป็นการออกแบบเพื่อใช้เป็นสื่อในการเรียนการสอนวิชา เครื่องมือวัดและการควบคุมทางอุตสาหกรรม เป็นลักษณะของโมดูล ที่สามารถนำไปควบคุมอุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายหรือ Final Element ในขบวนการควบคุมโดยขั้นกระแสป้อนให้กับโหลด 4-20 มิลลิแอมแปร์ ประกอบด้วยตัวตรวจจับความดันซึ่งใช้หลักการของสเตรนเกจ มันจะเป็นส่วนที่เปลี่ยนค่าของความดันให้เปลี่ยนเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า แล้วในภาคนี้จะมีการขยายสัญญาณให้สูงขึ้น ในส่วนนี้จะดึงสัญญาณออกไปแสดงผลเป็นเชิงเลข เพื่อแสดงผลออกมาเป็นค่าความดันโดยตรง และที่จุดเดียวกันนี้ จะเป็นสัญญาณที่เปลี่ยนออกมาเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้า จะถูกป้อนเข้าสู่วงจร ในส่วนที่จะแปลงสัญญาณแรงดันเป็นสัญญาณกระแสที่จะนำไปขับ โหลดซึ่งเป็นอุปกรณ์ควบคุมสุดท้าย เช่น คอโรลาแล้วต่อไป

ภาคแสดงผลที่สว่างขึ้นจะแสดงผลเป็นตัวเลข 3 1/2 หลัก ให้ความแม่นยำในการวัดไม่ดีเท่าที่ควร เนื่องจากเป็นการวัดสัญญาณอนาล็อก แล้วเปลี่ยนไปเป็นสัญญาณทางดิจิทัล ทำให้การรบกวนทางด้านการแสดงผล ไม่ดีเท่าที่ควร จึงทำให้หลักสุดท้ายของค่าจากการวัดมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

สำหรับการทดสอบสัญญาณทางด้านภาคตรวจจับความดันและ เปลี่ยนความดัน เป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้านั้น ค่าสัญญาณเอาท์พุทที่ได้ค่อนข้างจะเป็นเชิงเส้นและเป็นไปตามวัตถุประสงค์ เมื่อนำดิจิทัลมิเตอร์มาตรฐานมาตรวจจับสัญญาณเอาท์พุท

ทางด้าน การเปลี่ยนแรงดันเป็นกระแส เมื่อนำสัญญาณอินพุทที่เป็นแรงดันไฟฟ้าจ่ายเข้าไปเพื่อแปลงเป็นกระแสออกมาขับ โหลดนั้นก็ ได้ผล เป็นที่น่าพอใจ โดยปรับตั้งไว้ที่ โหลด 250 โอห์ม ตามค่า โหลดของอุปกรณ์ควบคุมสุดท้ายทั่ว ๆ ไป

ข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อไป

การพัฒนาในขั้นต่อไปของ โมดูลนี้ คือควร จะจัดสร้างให้มีขนาดเล็กกว่านี้ โดยการนำเอาภาคต่าง ๆ ของวงจรลงบนแผ่นพิมพ์วงจรเดียวกัน เพื่อที่จะได้มีความกะทัดรัด สะดวกในการเคลื่อนย้าย และเป็นชุดสาธิตประกอบการเรียนการสอน และควรจะมีการแสดงสัญญาณเอาท์พุทที่ได้เป็น 0-100 เปอร์เซ็นต์ สามารถกำหนดเปอร์เซ็นต์การตั้งค่านั้นได้ ซึ่งอาจจะนำไมโครโปรเซสเซอร์เข้ามาาร่วมด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

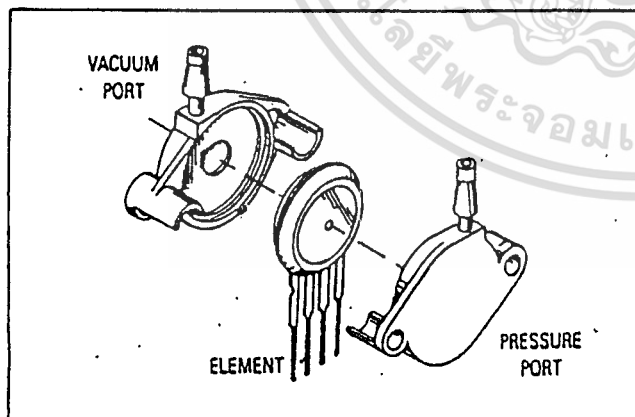
# Interfacing The MPX Series Silicon Pressure Sensors

Prepared by  
Gene Swensen, Sensor Engineering  
Semiconductor Products Sector

## INTRODUCTION

The MPX Series of monolithic, on-chip compensated, silicon pressure sensors offer highly stable performance over the temperature range of  $-40^{\circ}$  to  $125^{\circ}\text{C}$ , providing an ideal solution for users who choose to achieve temperature compensated performance without the cost and burden of part-by-part temperature characterization.

The MPX2000 Series of silicon pressure sensors are temperature compensated, calibrated versions of the standard MPX10, MPX50, MPX100 and MPX200 uncalibrated devices. Designated MPX2010 thru MPX2200 these sensors complement the standard line of pressure ranges of 10 kPa thru 200 kPa. As with their companion devices, the MPX2000 Series sensors are available as unported elements and as ported assemblies suitable for pressure, vacuum and differential pressure measurements. Refer to MPX2010 thru MPX2200 Data Sheets for dimensional and port-configuration suffix information.



MPX2000 Series calibrated, temperature compensated silicon pressure sensors are available as unported elements, vacuum ported, pressure ported, or supplied with two ports for differential measurements.

Figure 1.

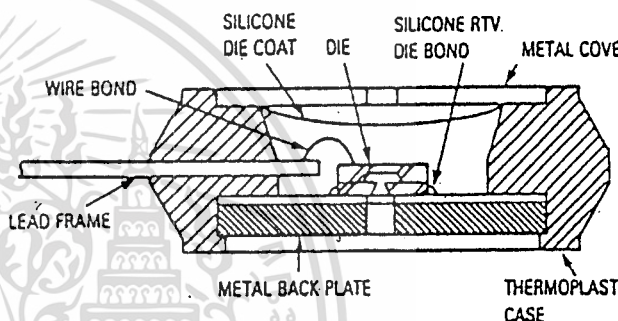


Figure 2 shows the cross section of the Motorola MPX pressure sensor die in the chip carrier package. A silicone gel isolates the die surface and wire bonds from harsh environments, while allowing the pressure signal to be transmitted to the silicon diaphragm.

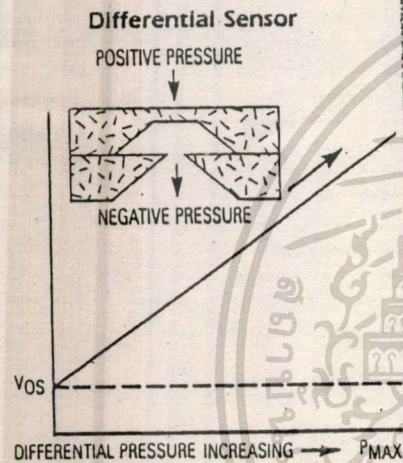
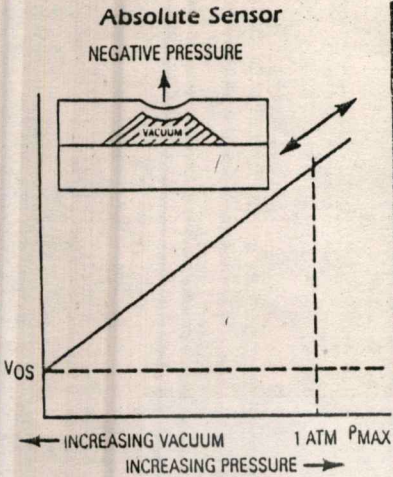
Figure 2. MPX Differential Pressure Sensor Element Cross Section

## ON CHIP CALIBRATION AND COMPENSATION

Calibration and temperature compensation are achieved on-chip with two diffused thermistors and thin-film resistors, all of which are deposited on the periphery of the substrate. Five resistors and both thermistors are laser trimmed to ensure compliance with the published specifications. Resistors  $R_{off1}$  and  $R_{off2}$  in Figure 4 serve as a voltage divider to zero the offset voltage with zero pressure applied. Thermistors  $RT_{Coff1}$  and  $RT_{Coff2}$  are selected to stabilize the initial value of offset over temperature.  $R_{S1}$  equals  $R_{S2}$  to assure symmetry; these values combined with  $R_p$  establish span calibration and compensation over temperature.



MOTOROLA



Motorola pressure sensors support three types of pressure measurements: Absolute Pressure, Differential Pressure and Gage Pressure.

**Absolute Pressure Sensors** measure an external pressure relative to a zero-pressure reference (vacuum) sealed inside the reference chamber of the die during manufacture. This corresponds to a deflection of the diaphragm equal to 14.504 PSI (one atmosphere), generating a quiescent full-scale output for the MPX100A (14.5 PSI) sensor, and a half-scale output for the MPX200A (30 PSI) device. Measurement of external pressure is accomplished by applying a negative pressure to the "Pressure" side of the sensor.

**Differential Pressure Sensors** measure the difference between pressures applied simultaneously to opposite sides of the diaphragm. A positive pressure applied to the "Pressure" side generates the same (positive) output as an equal negative pressure applied to the "Vacuum" side.

**Gage Pressure readings** are a special case of differential measurements in which the pressure applied to the Pressure side is measured against the ambient atmospheric pressure applied to the Vacuum side through the vent hole in the chip of the differential pressure sensor elements.

Motorola sensing elements can withstand pressure inputs as high as four times their rated capacity, although accuracy at pressures exceeding the rated pressure will be reduced. When excessive pressure is reduced, the previous linearity will immediately be restored.

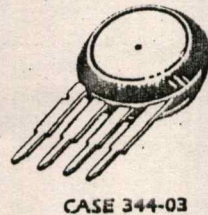
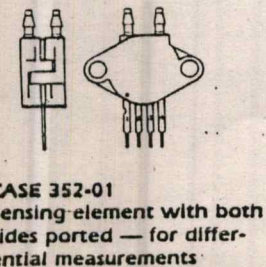
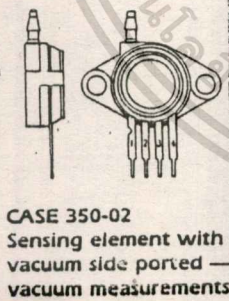
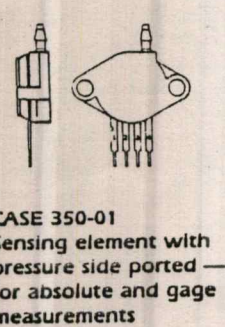
MPX Series silicon pressure sensor elements are available in absolute and differential configurations. Elements are available in the basic chip carrier package or with pressure port fittings which provide mounting ease and a barbed hose connection.

**MPX 2000 Series (Compensated)**

Device Type	Options	Package	Pressure Range			
			0-1.5 PSI	0-7.5 PSI	0-15 PSI	0-30 PSI
Basic Element	Differential	Case 344-03	MPX2010D	MPX2050D	MPX2100D	MPX2200D
	Differential	Case 352-01	MPX2010DP	MPX2050DP	MPX2100DP	MPX2200DP
Ported Element	Gage	Case 350-01	MPX2010GR	MPX2050GR	MPX2100GP	MPX2200GP
	Gage Vacuum	Case 350-02	MPX2010GVP	MPX2050GVP	MPX2100GVP	MPX2200GVP

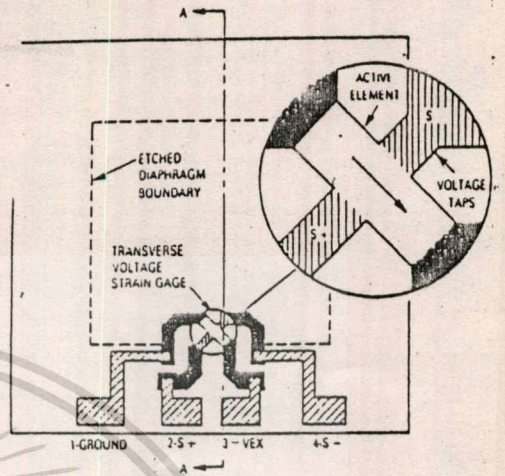
**MPX 1Q/50/100/200 Series (Noncompensated)**

Device Type	Options	Package	Pressure Range			
			0-1.5 PSI	0-7.5 PSI	0-15 PSI	0-30 PSI
Basic Element	Absolute	Case 344-03	—	—	MPX100A	MPX200A
	Differential	Case 344-03	MPX10D	MPX50D	MPX100D	MPX200D
Ported Element	Absolute	Case 350-01	—	—	MPX100AP	MPX200AP
	Differential	Case 352-01	MPX10DP	MPX50DP	MPX100DP	MPX200DP
	Gage	Case 350-01	MPX10GP	MPX50GP	MPX100GP	MPX200GP
	Gage Vacuum	Case 350-02	MPX10GVP	MPX50GVP	MPX100GVP	MPX200GVP

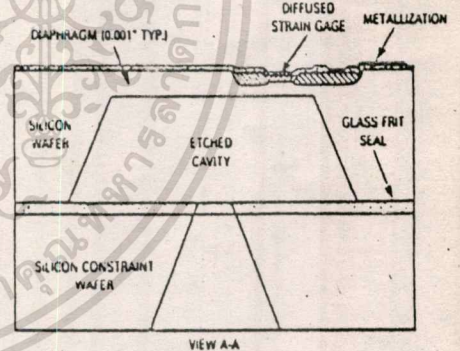


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

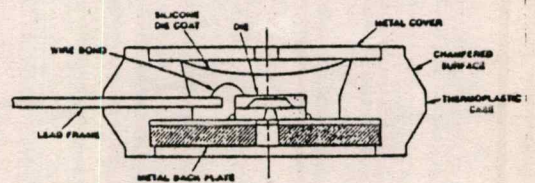
Basic uncompensated sensor element  
— Top View



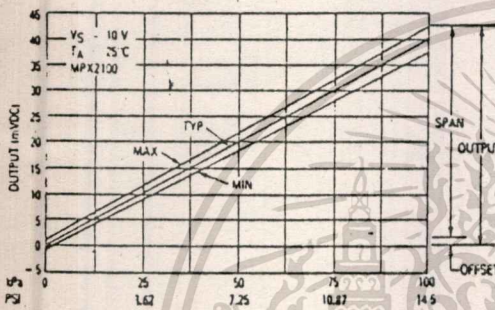
Cross-sectional diagram of differential pressure sensor chip



Cross-section of differential pressure sensor die in its basic package

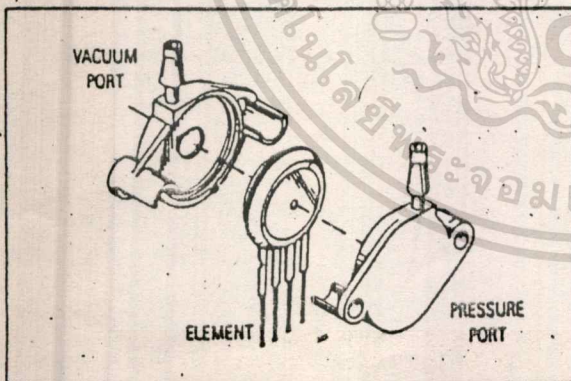


**แรงดันเอาต์พุตกับค่าความดันแตกต่าง**



ลิเนียร์ดีกว่า  $\pm 1$  mV ตลอดช่วงอุณหภูมิจาก -40 ถึง 125°C

**ส่วนประกอบสำหรับการติดตั้ง**



โดยมีตัวอุปกรณ์หลัก ประกอบเข้ากับตัวถังภายนอกที่มีหลายแบบที่เหมาะสมกับงาน

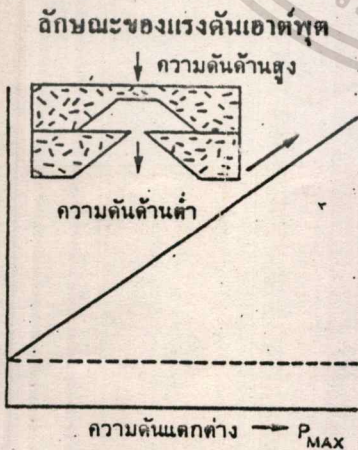
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบชนิดเซยอุดหนุน			
คุณสมบัติ	เบอร์ MPX		
	2050	2051	2101
ช่วงความดัน (PSI)	0 ถึง 7.5		0 ถึง 15
ความดันสูงสุดที่ทนได้ (PSI)	30		60
ช่วงแรงดันเอาต์พุต (mV)	40		40
ค่าคลาดเคลื่อนของช่วงแรงดันเอาต์พุต (mV)	± 1.5	± 2.5	± 2.5
แรงดันออฟเซต (mV)	± 1.0	± 2.0	± 2.0
ความไว (mV/PSI)	5.5		2.75
ความเป็นเชิงเส้น (% สูงสุดของช่วงเอาต์พุต)	± 0.25	± 0.5	± 0.5
ผลของอุณหภูมิต่อช่วงแรงดันเอาต์พุต (%)	± 1.0		± 1.0
ผลของอุณหภูมิต่อแรงดันออฟเซต (mV)	± 1.0		± 1.0

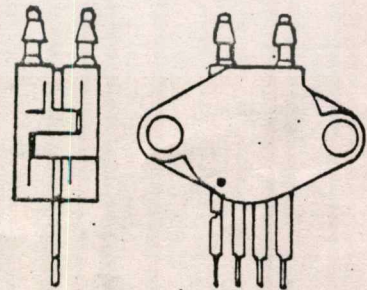
แบบไม่ชนิดเซยอุดหนุน				
คุณสมบัติ	เบอร์ MPX			
	10	12	100	200
ช่วงความดัน (PSI)	0 ถึง 1.5		0 ถึง 15	0 ถึง 30
ความดันสูงสุดที่ทนได้ (PSI)	15		60	
ช่วงแรงดันเอาต์พุต (ค่าสูง/ค่าต่ำสุด)	20/50	45/70	45/90	45/90
ค่าคลาดเคลื่อนของช่วงแรงดันเอาต์พุต (mV)	N/A		N/A	
แรงดันออฟเซต (mV)	35		35	
ความไว (mV/PSI)	24	38	4	2
ความเป็นเชิงเส้น (% สูงสุดของช่วงเอาต์พุต)	± 1.0	0 ถึง +5	± 0.1	± 0.1
สัมประสิทธิ์อุณหภูมิที่ช่วงแรงดันเอาต์พุต (% °C)	-0.19		-0.19	
สัมประสิทธิ์อุณหภูมิที่แรงดันออฟเซต (mV/°C)	± 16		± 15	

\* 14.504 PSI เท่ากับ 1 บรรยากาศ

ทุกรุ่นที่มีจำหน่ายนี้ ใช้วัดความดันในลักษณะความดันแตกต่าง (differential pressure sensing) ซึ่งเป็นผลต่างของความดันที่ปรากฏที่แต่ละด้านของตัวตรวจวัด




ลักษณะภายนอก



A, B, คือช่องสำหรับวัดความดันแต่ละด้าน

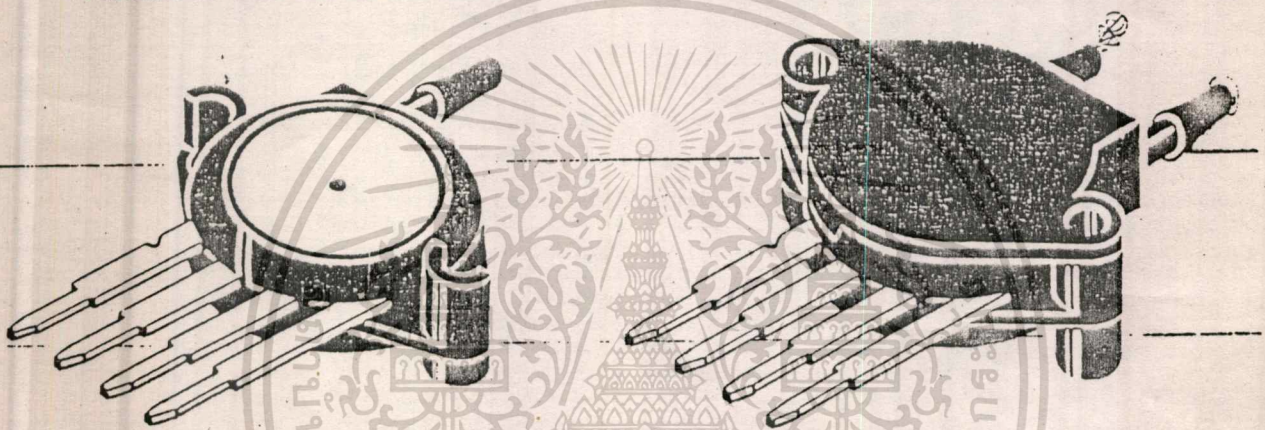
อุปกรณ์ตรวจวัดความดัน  
 แบบโซลิตสเตต  
 (Pressure Sensors)



**MOTOROLA**

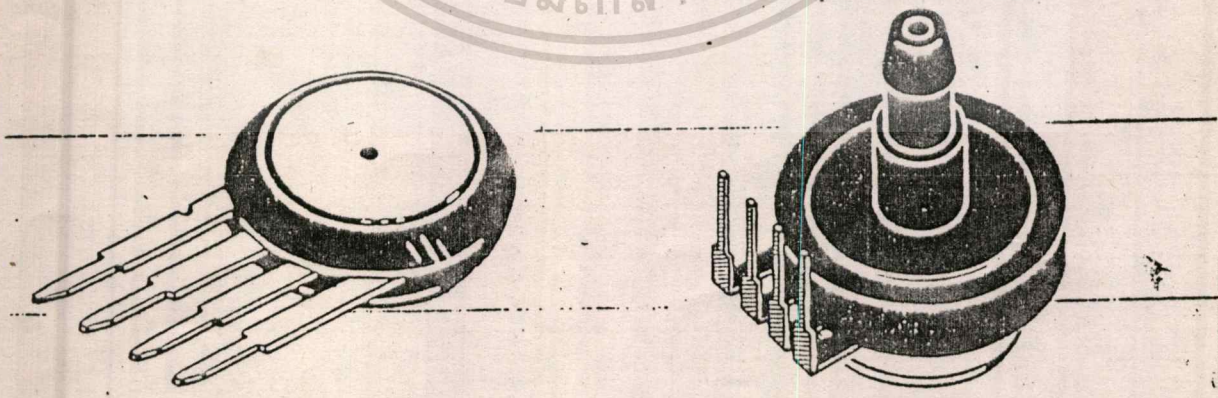
Pressure or Vacuum Side Ported

Pressure and Vacuum Side Ported



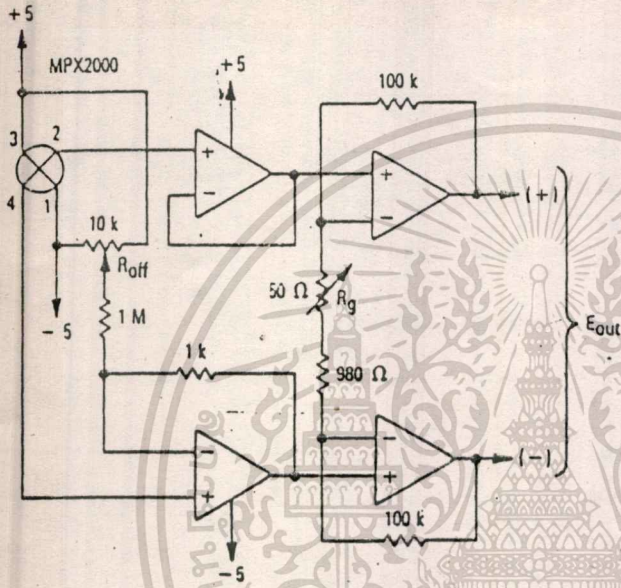
Basic Element

Pressure or Vacuum (Stovepipe) Port  
(consult factory)



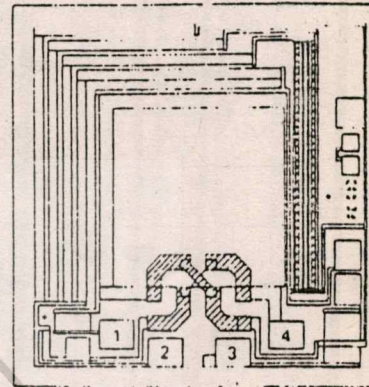
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปวงจรข้างล่างนี้เป็นวงจร  
 การขยายสัญญาณให้กับอุปกรณ์วัดความดัน  
 (Strain Gage )  
 โดยใช้ I.C. Linear # LM.358

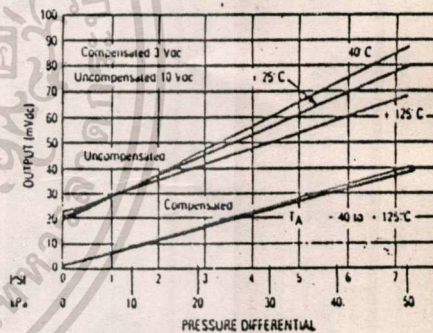


**Precision Pressure-to-Voltage Converter using Quad Op-Amp.**

DVM or  $\mu P$  compatible input. Set SPAN with  $R_g$ , then OFFSET with  $R_{off}$ . Differential output is  $\pm 8$  Vdc with full-scale pressure (vacuum) applied.

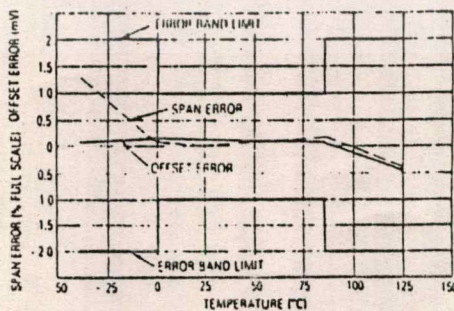


Fully compensated pressure sensor chip adds two diffused thermistors and ten thin-film resistors to the basic chip. Differences in performance are given in the graph below.



Output voltage versus pressure differential as a function of temperature for compensated and uncompensated pressure sensors, above. Schematic diagram of compensated device, below.

**Temperature Error Band Limit and Typical Span and Offset Errors**



Curves of span and offset errors indicate the accuracy resulting from on-chip compensation and laser trimming.

Characteristic	MPX								
	10	11	12	50	51	52	100	200	201
Pressure Range (PSI)	0 to 1.5			0 to 7.5			0 to 15	0 to 30	
Over Pressure (PSI Max)	15			30			60		
Full Scale Span (Min/Max)	20/50	30/60	45/70	45/90	30/60	30/90	45/90	45/90	
Span Limit (mV)	N/A			N/A			N/A	N/A	
Offset (mV Max)	35			35			35	35	
Sensitivity (mV/PSI-Typ)	24	34	38	8	6	8	4	2	
Linearity (% FS. Max)	$\pm 1.0$	$-0.5$ to $+3.0$	$0$ to $+5$	$\pm 0.1$	$\pm 0.1$	$\pm 0.5$	$\pm 0.1$	$\pm 0.1$	$\pm 0.2$
Temperature Coefficient FS. Span (%/°C) (TYP)	-0.19			-0.19			-0.19	-0.19	
Temperature Coefficient Offset ( $\mu$ V/°C) (TYP)	$\pm 15$			$\pm 15$			$\pm 15$	$\pm 15$	

### พิกัดของสเตรนเกจ

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการ  
อื่น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Characteristic	MPX							
	2010	2011	2050	2051	2100	2101	2200	2201
Pressure Range (PSI)	0 to 15		0 to 75		0 to 15		0 to 30	
Over Pressure (PSI Max)	15		30		60		60	
Full Scale Span (mV typ)	25		40		40		40	
Span Limit (mV)	±1.0	±2.0	±1.5	±2.5	±1.5	±2.5	±1.5	±2.5
Offset (mV Max)	±1.0	±2.0	±1.0	±2.0	±1.0	±2.0	±1.0	±2.0
Sensitivity (mV/PSI-Typ)	17		5.5		2.75		1.38	
Linearity (% of F.S. Max)	±1.0	±2.0	±0.25	±0.5	±0.25	±0.5	±0.25	±0.5
Temperature Effect on Full Scale Span (%) (MAX)*	±1.0		±1.0		±1.0		±1.0	
Temperature Effect on Offset (mV) (MAX)*	±1.0		±1.0		±1.0		±1.0	

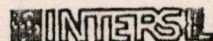
\*TA = 0°C to 85°C.

พิทักษ์เทคโนโลยี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ  
 ผู้ใช้ควรปฏิบัติตามเงื่อนไขที่ห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



# ICL7106/ICL7107



## ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Supply Voltage	
ICL7106, $V^+$ to $V^-$ .....	15V
ICL7107, $V^+$ to GND .....	+6V
ICL7107, $V^-$ to GND .....	-9V
Analog Input Voltage (either input) (Note 1) .....	$V^+$ to $V^-$
Reference Input Voltage (either input) .....	$V^+$ to $V^-$
Clock Input	
ICL7106 .....	TEST to $V^+$
ICL7107 .....	GND to $V^+$

## Power Dissipation (Note 2)

Ceramic Package .....	1000mW
Plastic Package .....	800mW
Operating Temperature .....	0°C to +70°C
Storage Temperature .....	-85°C to +160°C
Lead Temperature (Soldering, 60 sec) .....	300°C

Stresses above those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Note 1: Input voltages may exceed the supply voltages provided the input current is limited to  $\pm 100\mu\text{A}$ .  
 Note 2: Dissipation rating assumes device is mounted with all leads soldered to printed circuit board.

## ELECTRICAL CHARACTERISTICS (Note 3)

CHARACTERISTICS	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Zero Input Reading	$V_{IN} = 0.0V$ Full Scale = 200.0mV	-000.0	$\pm 000.0$	+000.0	Digital Reading
Ratiometric Reading	$V_{IN} = V_{REF}$ $V_{REF} = 100mV$	999	999/1000	1000	Digital Reading
Rollover Error (Difference in reading for equal positive and negative reading near Full Scale)	$-V_{IN} = +V_{IN} = 200.0mV$	-1	$\pm 2$	+1	Counts
Linearity (Max. deviation from best straight line fit)	Full scale = 200mV or full scale = 2.000V	-1	$\pm 2$	+1	Counts
Common Mode Rejection Ratio (Note 4)	$V_{CM} = \pm 1V$ , $V_{IN} = 0V$ Full Scale = 200.0mV		50		$\mu V/V$
Noise (Pk-Pk value not exceeded 95% of time)	$V_{IN} = 0V$ Full Scale = 200.0mV		15		$\mu V$
Leakage Current   Input	$V_{IN} = 0$		1	10	$\mu A$
Zero Reading Drift	$V_{IN} = 0$ $0^\circ < T_A < 70^\circ C$		0.2	1	$\mu V/^\circ C$
Scale Factor Temperature Coefficient	$V_{IN} = 199.0mV$ $0^\circ < T_A < 70^\circ C$ (Ext. Ref. 0ppm/ $^\circ C$ )		1	5	ppm/ $^\circ C$
$V^+$ Supply Current (Does not include LED current for 7107)	$V_{IN} = 0$		0.8	1.8	mA
$V^-$ Supply Current (7107 only)			0.6	1.8	mA
Analog Common Voltage (With respect to Pos. Supply)	25k $\Omega$ between Common & Pos. Supply	2.4	2.8	3.2	V
Temp. Coeff. of Analog Common (With respect to Pos. Supply)	25k $\Omega$ between Common & Pos. Supply		80		ppm/ $^\circ C$
7106 ONLY Pk-Pk Segment Drive Voltage, Pk-Pk Backplane Drive Voltage (Note 5)	$V^+$ to $V^- = 9V$	4	5	8	V
7107 ONLY Segment Sinking Current (Except Pin 19) (Pin 19 only)	$V^- = 5.0V$ Segment voltage = 3V	5	8.0		mA
		10	16		mA

3: Unless otherwise noted, specifications apply to both the 7106 and 7107 at  $T_A = 25^\circ C$ ,  $f_{clock} = 48kHz$ . 7106 is tested in the circuit of Figure 1. 7107 is tested in the circuit of Figure 2.

4: Refer to "Differential Input" discussion.

5: Back plane drive is in phase with segment drive for 'off' segment, 180° out of phase for 'on' segments. Frequency is 20 times conversion rate. Average DC component is less than 50mV.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ICL7106/ICL7107 TEST CIRCUITS

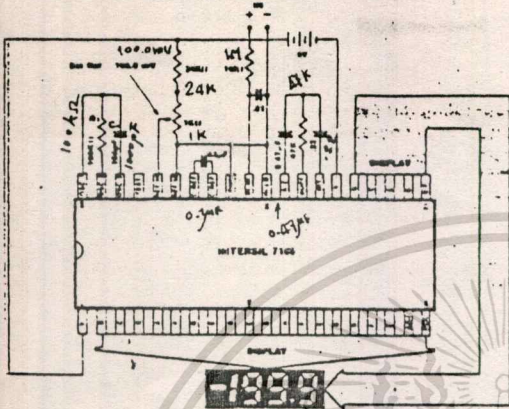
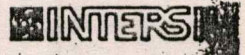


Figure 1: 7106

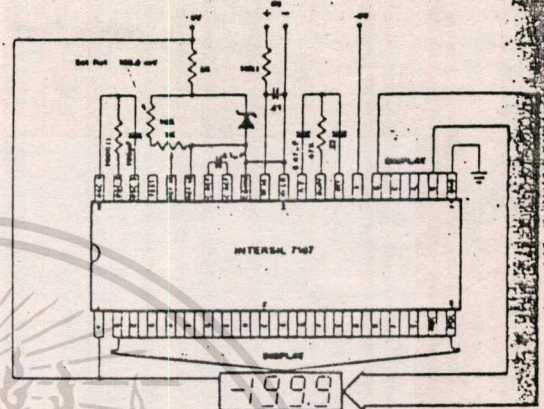


Figure 2: 7107

## DETAILED DESCRIPTION ANALOG SECTION

Figure 3 shows the Block Diagram of the Analog Section for the ICL7106 and 7107. Each measurement cycle is divided

into three phases. They are (1) auto-zero (A-Z), (2) signal integrate (INT) and (3) de-integrate (DE).

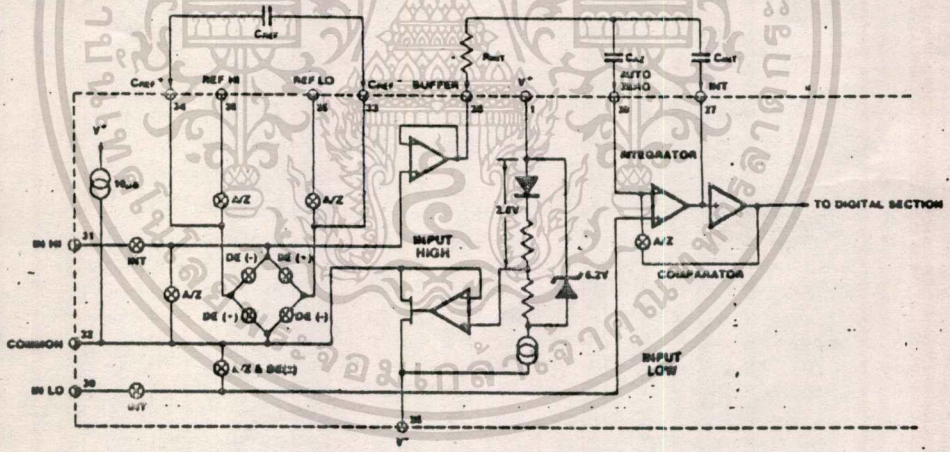


Figure 3: Analog Section of 7106/7107

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

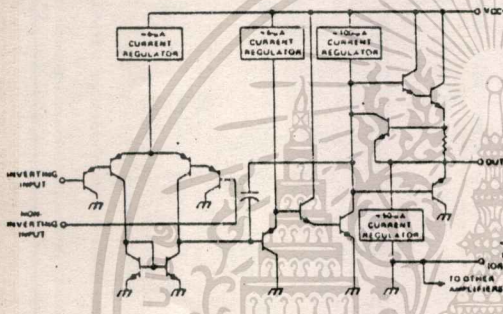
**LINEAR INTEGRATED CIRCUITS**

**TYPES LM158, LM258, LM358  
DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS**

BULLETIN NO. DL-S 12413, JUNE 1976 - REVISED OCTOBER 1979

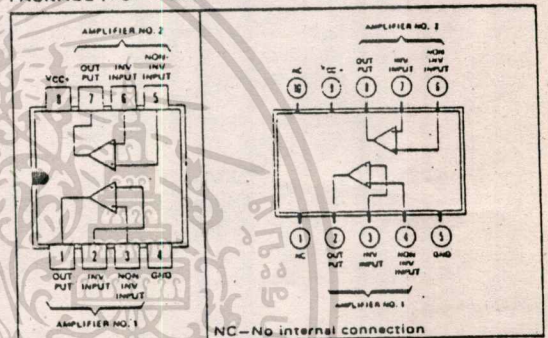
- Wide Range of Supply Voltages  
Single Supply . . . 3 V to 30 V  
or Dual Supplies
- Low Supply Current Drain  
Independent of Supply Voltage  
. . . 0.5 mA Typ
- Common-Mode Input Voltage  
Range Includes Ground Allowing  
Direct Sensing near Ground
- Low Input Bias and Offset Parameters  
Input Offset Voltage . . . 2 mV Typ  
Input Offset Current . . . 3 nA Typ (LM158)  
Input Bias Current . . . 45 nA Typ
- Differential Input Voltage Range  
Equal to Maximum-Rated  
Supply Voltage . . .  $\pm 32$  V
- Open-Loop Differential Voltage  
Amplification . . . 100 V/mV Typ
- Internal Frequency Compensation

schematic (each amplifier)



JG OR P  
DUAL-IN-LINE  
PACKAGE (TOP VIEW)

U  
FLAT PACKAGE  
(TOP VIEW)



description

These devices consist of two independent, high-gain, frequency-compensated operational amplifiers that were designed specifically to operate from a single supply over a wide range of voltages. Operation from split supplies is also possible so long as the difference between the two supplies is 3 volts to 30 volts and Pin 4 is at least 1.5 volts more positive than the input common-mode voltage. The low supply current drain is independent of the magnitude of the supply voltage.

Applications include transducer amplifiers, d-c amplification blocks, and all the conventional operational amplifier circuits that now can be more easily implemented in single-supply-voltage systems.

**absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)**

Supply voltage, $V_{CC}$ (see Note 1)	32 V
Differential input voltage (see Note 2)	$\pm 32$ V
Input voltage range (either input)	-0.3 V to 32 V
Duration of output short-circuit (one amplifier) to ground at (or below) 25°C free-air temperature ( $V_{CC} \leq 15$ V) (see Note 3)	unlimited
Continuous total dissipation at (or below) 25°C free-air temperature (see Note 4):	
LM258JG, LM358JG	825 mW
LM158JG, LM258P, LM358P	900 mW
LM158U, LM258U, LM358U	675 mW
Operating free-air temperature range:	
LM158	-55°C to 125°C
LM258	-25°C to 85°C
LM358	0°C to 70°C
Storage temperature range	-65°C to 150°C
Lead temperature 1/16 inch (1,6 mm) from case for 60 seconds: JG or U package	300°C
Lead temperature 1/16 inch (1,6 mm) from case for 10 seconds: P package	260°C

- NOTES: 1. All voltage values, except differential voltages, are with respect to the network ground terminal.  
 2. Differential voltages are at the noninverting input terminal with respect to the inverting input terminal.  
 3. Short circuits from outputs to  $V_{CC}$  can cause excessive heating and eventual destruction.  
 4. For operation above 25°C free-air temperature, refer to Dissipation Derating Table. In the JG package, LM158 chips are alloy-mounted; LM258 and LM358 chips are glass-mounted.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## TYPES LM158, LM258, LM358 DUAL OPERATIONAL AMPLIFIERS

electrical characteristics at specified free-air temperature,  $V_{CC} = 5\text{ V}$  (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS†	LM158, LM258			LM358			UNIT	
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
$V_{IO}$	Input offset voltage $V_O = 1.4\text{ V}$ , $V_{CC} = 5\text{ V to }30\text{ V}$	25°C		2	5	2		7	mV
		Full range					7	9	
$\alpha V_{IO}$	Average temperature coefficient of input offset voltage	Full range		7			7		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
$I_{IO}$	Input offset current $V_O = 1.4\text{ V}$	25°C		3	30	5		50	nA
		Full range		100			150		
$\alpha I_{IO}$	Average temperature coefficient of input offset current	Full range		10			10		$\mu\text{A}/^\circ\text{C}$
$I_{IB}$	Input bias current $V_O = 1.4\text{ V}$ , See Note 5	25°C		-45	-150	-45		-250	nA
		Full range		-300			-500		
$V_{ICR}$	Common-mode input voltage range $V_{CC} = 30\text{ V}$	25°C		0 to $V_{CC}-1.5$		0 to $V_{CC}-1.5$		V	
		Full range		0 to $V_{CC}-2$		0 to $V_{CC}-2$			
$V_{OH}$	High-level output voltage $V_{CC} = 30\text{ V}$ , $R_L = 2\text{ k}\Omega$	Full range		26			26		V
	$V_{CC} = 30\text{ V}$ , $R_L > 10\text{ k}\Omega$	Full range		27	28	27		28	
$V_{OL}$	Low-level output voltage $R_L \leq 10\text{ k}\Omega$	Full range		5	20	5		20	mV
$V_{OPP}$	Maximum peak-to-peak output voltage swing $R_L = 2\text{ k}\Omega$	25°C		$V_{CC}-1.5$			$V_{CC}-1.5$		V
$A_{VD}$	Large-signal differential voltage amplification $V_{CC} = 15\text{ V}$ , $V_O = 1\text{ V to }11\text{ V}$ , $R_L > 2\text{ k}\Omega$	25°C		50	100	25		100	V/mV
		Full range		25			15		
CMRR	Common-mode rejection ratio $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$	25°C		70	85	70		85	dB
$k_{SVR}^*$	Supply voltage rejection ratio $R_S \leq 10\text{ k}\Omega$	25°C		65	100	65		100	dB
$V_{O1}/V_{O2}$	Channel separation $f = 1\text{ kHz to }20\text{ kHz}$	25°C		120			120		dB
$I_O$	Output current $V_{CC} = 15\text{ V}$ , $V_{ID} = 1\text{ V}$ , $V_O = 0\text{ V}$	25°C		-20	-40	-20		-40	mA
		Full range		-10	-20	-10		-20	
		25°C		10	20	10		20	$\mu\text{A}$
		Full range		5	8	5		8	
$I_{CC}$	Supply current (two amplifiers) No load, No signal	25°C		0.7			0.7		mA
		Full range		1.2			1.2		

$$*k_{SVR} = \Delta V_{CC} / \Delta V_{IO}$$

† All characteristics are specified under open-loop conditions. Full range is  $-55^\circ\text{C}$  to  $125^\circ\text{C}$  for LM158,  $-25^\circ\text{C}$  to  $85^\circ\text{C}$  for LM258, and  $0^\circ\text{C}$  to  $70^\circ\text{C}$  for LM358.

NOTE 5: The direction of the bias current is out of the device due to the P-N-P input stage. This current is essentially constant, regardless of the state of the output, so no loading change is presented to the input lines.

DISSIPATION DERATING TABLE

PACKAGE	POWER RATING	DERATING FACTOR	ABOVE $T_A$
JG (Alloy-Mounted Chip)	900 mW	8.4 mW/ $^\circ\text{C}$	43°C
JG (Glass-Mounted Chip)	825 mW	6.6 mW/ $^\circ\text{C}$	25°C
P	900 mW	8.0 mW/ $^\circ\text{C}$	37°C
U	675 mW	5.4 mW/ $^\circ\text{C}$	25°C

Also see Dissipation Derating Curves, Section 2.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM101



# Operational Amplifiers

## LM101 operational amplifier general description

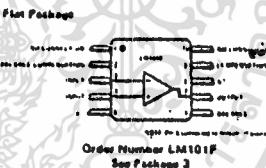
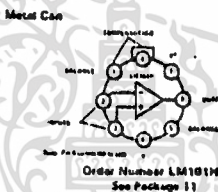
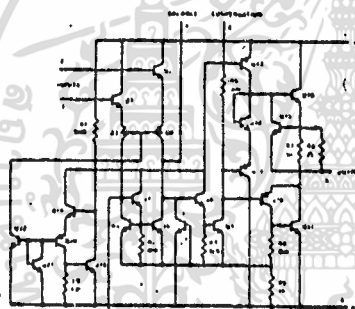
The LM101 is a general-purpose operational amplifier built on a single silicon chip. The resulting close-match and tight thermal coupling gives low offset and temperature drift as well as fast recovery from thermal transients. In addition, the device features:

- Frequency compensation with a single 30 pF capacitor
- Operation from ±5V to ±20V
- Low current drain: 1.8 mA at ±20V
- Continuous short circuit protection
- Operation as a comparator with differential inputs as high as ±30V

- No latch-up when common mode range is exceeded
- Same pin configuration as the LM709:

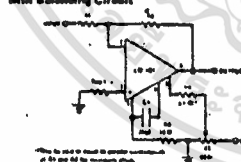
The unity gain compensation specified makes the circuit stable for all feedback configurations, even with capacitive loads. However, it is possible to optimize compensation for best high frequency performance at any gain. As a comparator, the output can be clamped at any desired level to make it compatible with logic circuits. Further, the low power dissipation permits high-voltage operation and simplifies packaging in full-temperature-range systems.

## schematic\*\* and connection diagrams

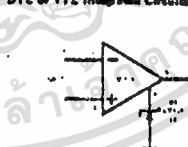


## typical applications\*\*

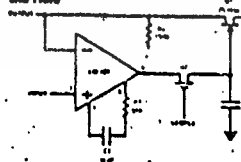
### Inverting Amplifier with Balancing Circuit



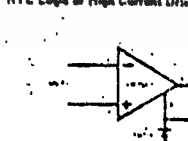
### Voltage Comparator for Driving DTL or TTL Integrated Circuits



### Low Drift Sample and Hold



### Voltage Comparator for Driving RTL Logic or High Current Drivers



\*\*Pin connections shown are for metal can.

Courtesy National Semiconductor Corp.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM101

**absolute maximum ratings**

Supply Voltage	122V
Power Dissipation (Note 1)	500 mW
Differential Input Voltage	±130V
Input Voltage (Note 2)	±15V
Output Short-Circuit Duration (Note 3)	Indefinite
Operating Temperature Range	-65°C to +125°C
Storage Temperature Range	-65°C to +150°C
Lead Temperature (Soldering, 60 sec)	300°C

**electrical characteristics (note 4)**

PARAMETER	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Input Offset Voltage	$T_A = 25^\circ\text{C}, R_S \leq 10\text{k}\Omega$		1.0	5.0	mV
Input Offset Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		40	200	nA
Input Bias Current	$T_A = 25^\circ\text{C}$		120	500	nA
Input Resistance	$T_A = 25^\circ\text{C}$	300	800		k $\Omega$
Supply Current	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 20\text{V}$		1.8	3.0	mA
Large Signal Voltage Gain	$T_A = 25^\circ\text{C}, V_S = \pm 15\text{V}$ $V_{OUT} = \pm 10\text{V}, R_L \geq 2\text{k}\Omega$	60	180		V/mV
Input Offset Voltage	$R_S \leq 10\text{k}\Omega$			6.0	mV
Average Temperature Coefficient of Input Offset Voltage	$R_S \leq 50\text{k}\Omega$		3.0		$\mu\text{V}/^\circ\text{C}$
Input Offset Current	$T_A = +125^\circ\text{C}$ $T_A = -65^\circ\text{C}$		10 100	200 500	nA
Input Bias Current	$T_A = -65^\circ\text{C}$		0.28	1.5	$\mu\text{A}$
Supply Current	$T_A = +125^\circ\text{C}, V_S = \pm 20\text{V}$		1.7	2.5	mA
Large Signal Voltage Gain	$V_S = \pm 15\text{V}, V_{OUT} = \pm 10\text{V}$ $R_L \geq 2\text{k}\Omega$	25			V/mV
Output Voltage Swing	$V_S = \pm 15\text{V}, R_L = 10\text{k}\Omega$ $R_L = 2\text{k}\Omega$	±12 ±10	±14 ±13		V V
Input Voltage Range	$V_S = \pm 15\text{V}$	±12			V
Common Mode Rejection Ratio	$R_S \leq 10\text{k}\Omega$	70	90		dB
Supply Voltage Rejection Ratio	$R_S \leq 10\text{k}\Omega$	70	90		dB

Note 1: For operation at elevated temperatures, the average power dissipation must be limited to 150 C maximum junction temperature and a thermal resistance of 150 C/W must be assumed for 45 C/W and less for the full range of temperatures. For the full package, the dissipation is limited to a thermal resistance of 125 C/W when mounted on a 1.5 sq in. PCB. Power dissipation must be limited to 0.01 W/cm<sup>2</sup> (note 2) unless a special package is used.

Note 2: For supply voltages less than ±15V, the absolute maximum output current is limited by the output stage.

Note 3: Output current limit is not specified for case temperatures up to 125 C and ambient temperatures up to 150 C.

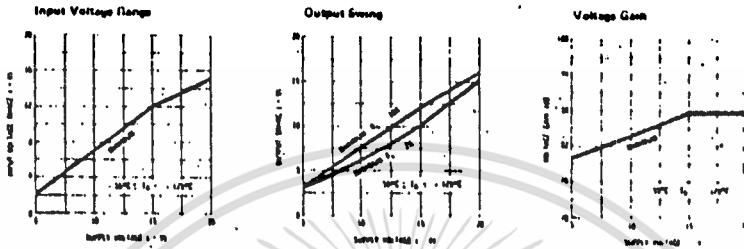
Note 4: Input/output capacitance must be ≤ 50 pF.  $T_A = 25^\circ\text{C}$ .  $V_S = \pm 20\text{V}$  and  $R_L = 2\text{k}\Omega$  unless otherwise specified.

Courtesy National Semiconductor Corp.

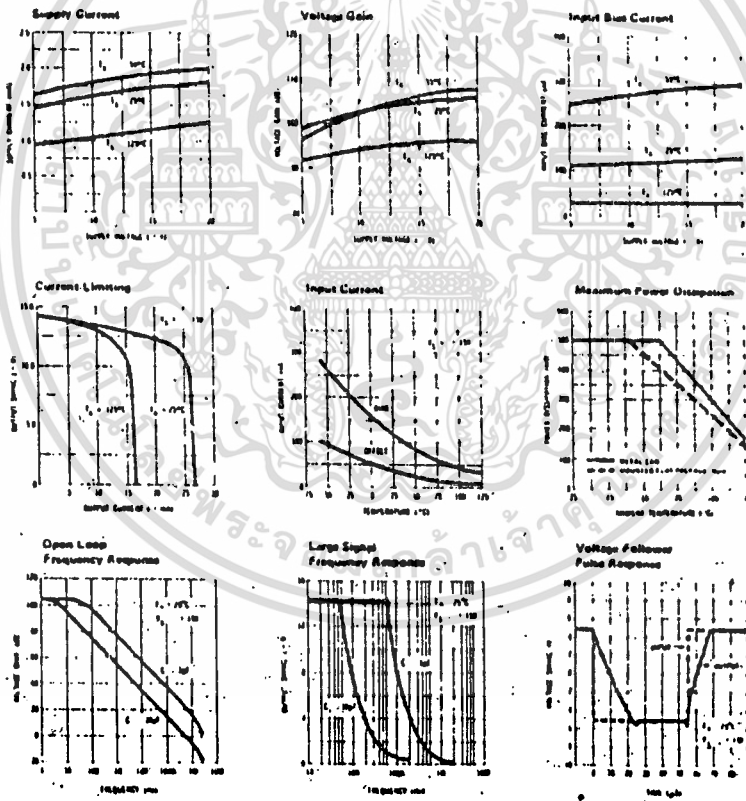
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LM101

guaranteed performance characteristics



typical performance characteristics

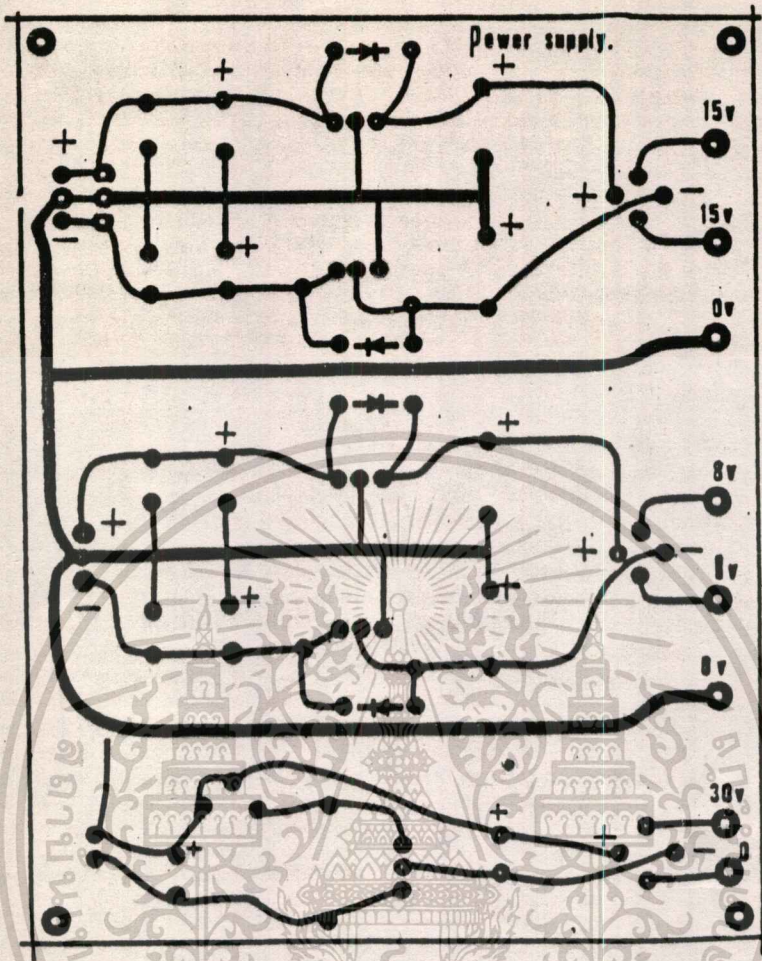


Courtesy-National Semiconductor Corp.

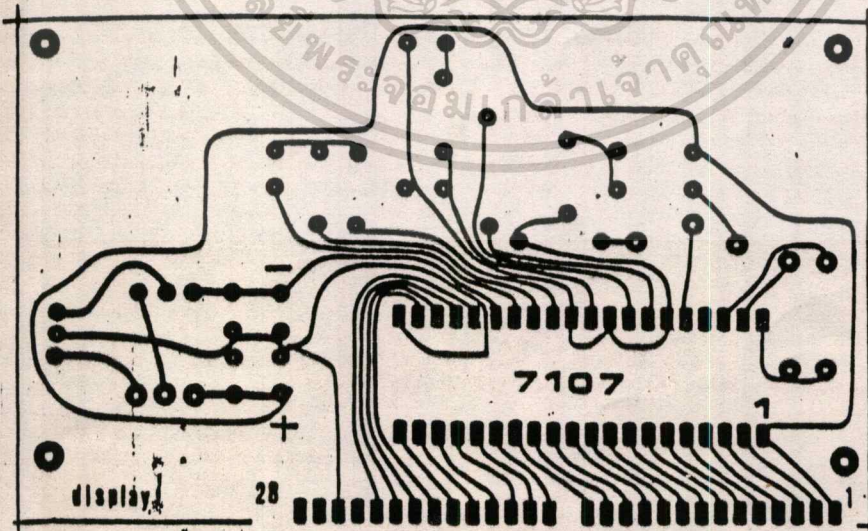
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

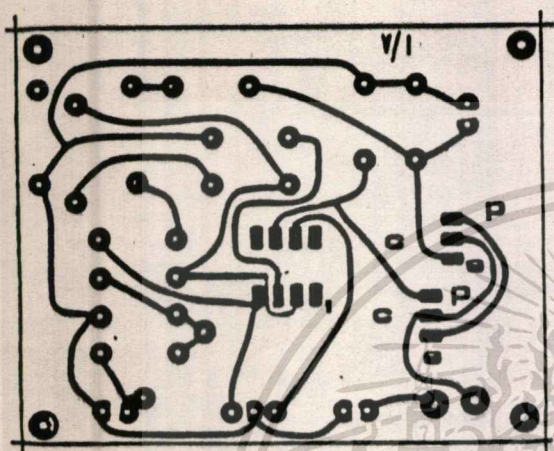


รูปที่ ๑ แสดงลายวงจรของภาคกรายไฟหลัก

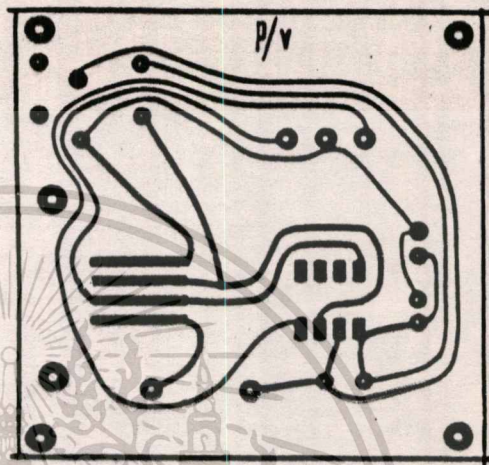


รูปที่ ๒ แสดงลายวงจรวงจรภาคแสดงผล

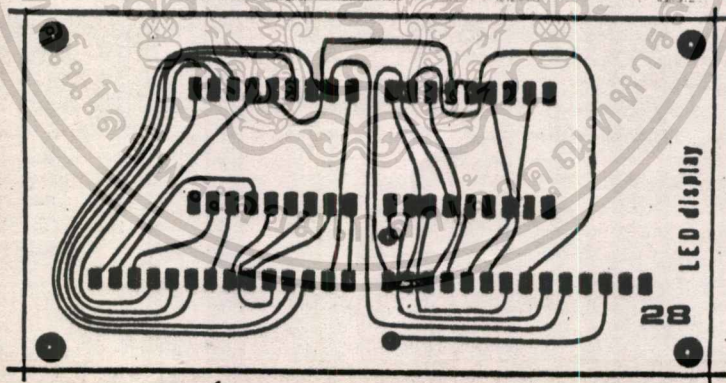
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ แสดงลายวงจรของภาค เปลี่ยนแรงดันเป็นสัญญาณกระแส

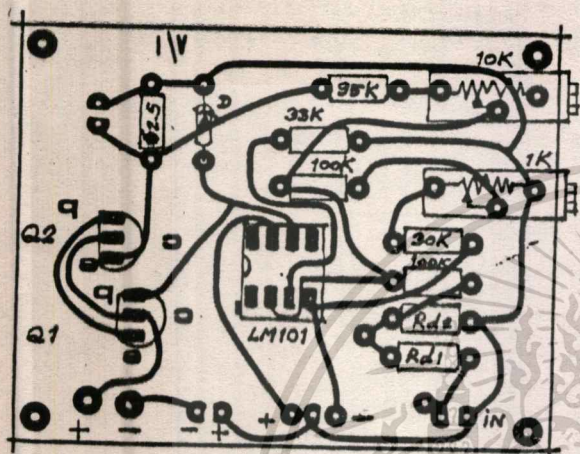


รูปที่ แสดงลายวงจรของภาคสัญญาณ ความดันเป็นแรงดันไฟฟ้า

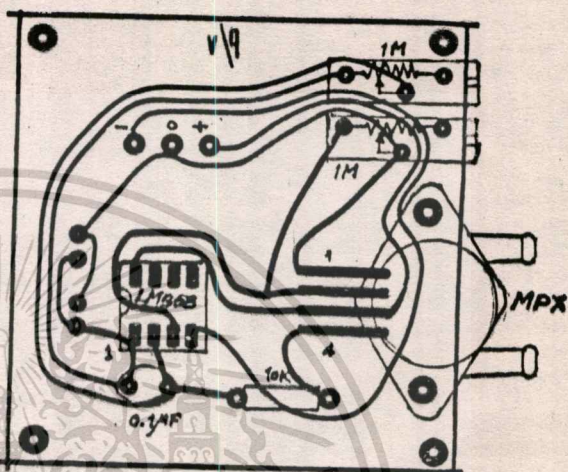


รูปที่ แสดงลายวงจรภาคแสดงผลเป็นตัวเลข

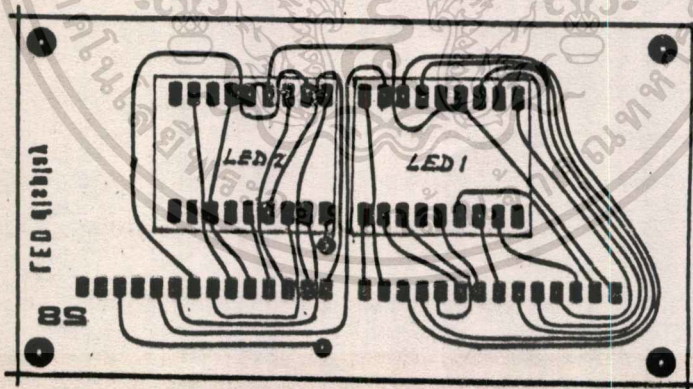
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



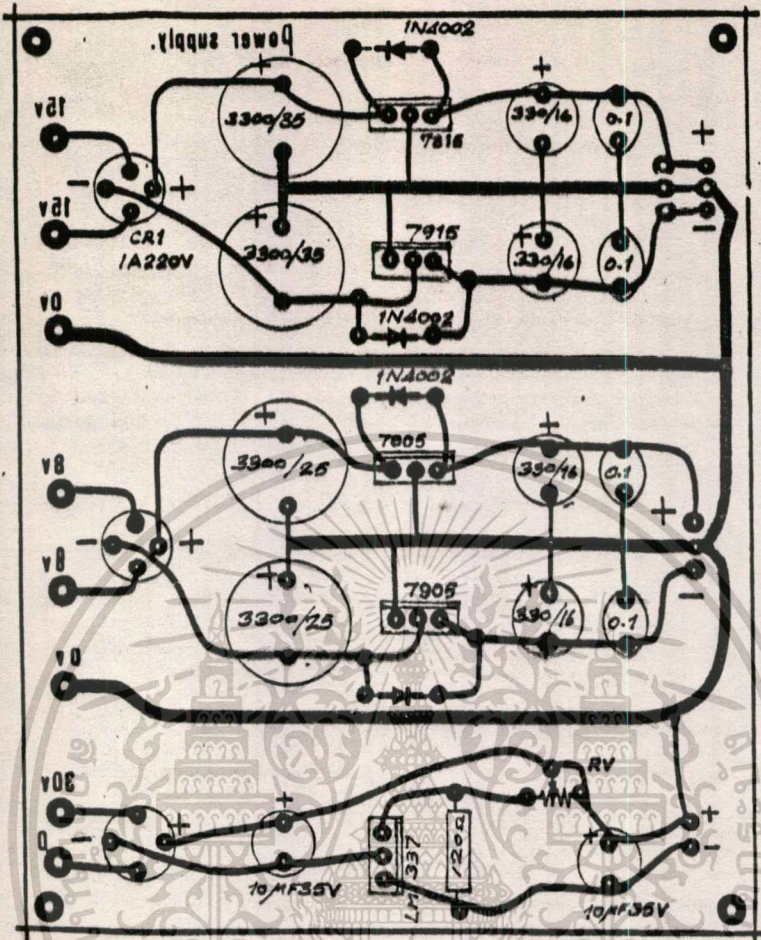
รูปที่ 1 แสดงการลงอุปกรณ์ของภาค  
เปลี่ยนแรงดันเป็นสัญญาณกระแส



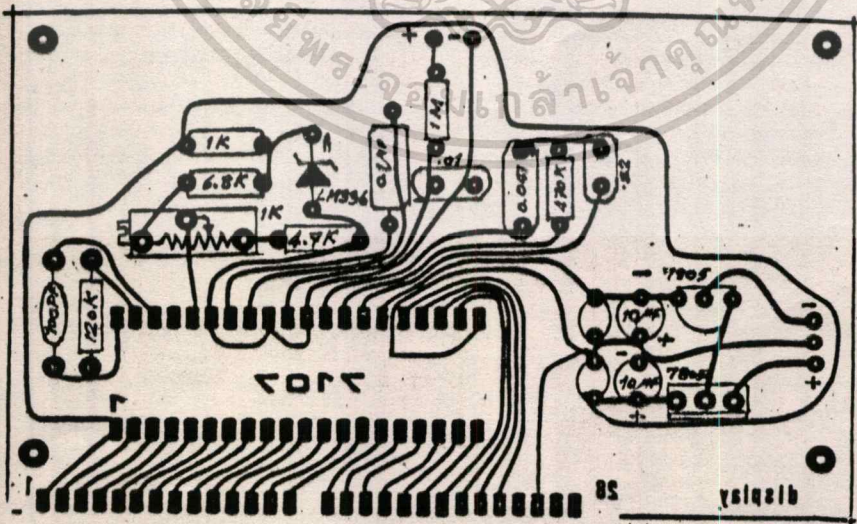
รูปที่ 2 แสดงการลงอุปกรณ์ของภาคสัญญาณ  
ความถี่เป็นแรงดันไฟฟ้า



รูปที่ 3 แสดงการลงอุปกรณ์ภาคแสดงผลเป็นตัวเลข



รูปที่ แสดงการลงอุปกรณ์ภาคจ่ายไฟหลัก



รูปที่ แสดงการลงอุปกรณ์วงจรภาคแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### กิตติกรรมประกาศ

โครงการปริญญาโท การออกแบบและจัดสร้างเครื่องแปลงสัญญาณความถี่ เป็นสัญญาณ กระแสนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เพราะได้รับการแนะนำและคำปรึกษาจาก อาจารย์ ชาติ ตีรสุวรรณวัฒน์ อาจารย์ วิชา กิษย์สุวรรณพร อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ และ ร.ศ. กิตติ ตรีเพชรฐ กวีหน้าภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม รวมถึงผู้แต่งตำราท่านอื่น ๆ ที่คณะผู้จัดทำได้นำมาใช้เป็นหนังสืออ้างอิง ในการออกแบบและจัดสร้างโครงการในครั้งนี้ ทาง คณะผู้จัดทำโครงการปริญญาโท ขอขอบพระคุณบุคคลทุกท่านที่กล่าวถึงแล้วข้างต้น



## หนังสืออ้างอิง

1. กิตติ ตีระเศรษฐ "อุปกรณ์วัดและความคุมในระบบวาล์ว" สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง 2527
2. กิตติ ตีระเศรษฐ "ทรานสดิวเซอร์" สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
3. สมศักดิ์ กิตติวุฒิเศรษฐ "หลักการและการใช้งานเครื่องมือวัดอุตสาหกรรม" สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น) 2527
4. ไพฑูรย์ วิเศษการ "เครื่องซึ่งนำหนักแบบอิเล็กทรอนิกส์" วิทยานันท์ วม. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 2527 130 หน้า ถ่ายเอกสาร
5. W.D Copp " Electronic Instrumentation and Measurement Techniques 2 nd edition Prentice Hall Inc New York 1978



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้